



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ**  
**ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ & ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**  
**Π.Μ.Σ. ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ**  
**ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**«ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΤΥΡΙΩΝ**  
**ΤΥΡΟΓΑΛΑΚΤΟΣ»**



Ευφροσύνη Ε. Καλομοίρη

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Γ. Στοφόρος

Αθήνα  
Ιούνιος 2019

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**«Μελέτη της διεργασίας της ξήρανσης τυριών τυρογάλακτος»**

**“Study of the process of whey cheeses drying”**

**Ευφροσύνη Ε. Καλομοίρη**

**Επιβλέπων καθηγητής: Νικόλαος Γ. Στοφόρος**

**Εξεταστική Επιτροπή**

**Αν. Καθηγητής Θεόφιλος Μασούρας**

**Επ. Καθηγήτρια Αικατερίνη Μοσχοπούλου**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Μηχανικής και Επεξεργασίας Τροφίμων του τμήματος Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου, του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υπεύθυνο καθηγητή μου κο. Νικόλαο Στοφόρο για την ευκαιρία που μου έδωσε με την ανάθεση της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής διατριβής να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο, για την πολύτιμη καθοδήγησή του και τις συμβουλές του όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Για την ολοκλήρωση της διατριβής αυτής οφείλω και ένα μεγάλο ευχαριστώ στα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, τον κο. Θεόφιλο Μασούρα και την κα. Αικατερίνη Μοσχοπούλου, οι οποίοι μου προσέφεραν απλόχερα τις γνώσεις και την εμπειρία χρόνων επάνω στο αντικείμενό τους.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κο. Μανώλη Αναγνωσταρά μέλος ΕΔΙΠ του Εργαστηρίου Μηχανικής & Επεξεργασίας Τροφίμων για τη βοήθεια, τις συμβουλές και την ενθάρρυνση που μου πρόσφερε κατά τη διεξαγωγή της μεταπτυχιακής διατριβής.

Ευχαριστώ, ακόμα τους Καθηγητές, τους Υποψήφιους Διδάκτορες και τους συμφοιτητές μου στο Εργαστήριο Μηχανικής & Επεξεργασίας Τροφίμων του τμήματος Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου για τη συνεργασία μας και το φιλικό κλίμα σε όλη τη διάρκεια της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου και τους φίλους μου για τη συμπαράσταση και την κατανόηση που έδειξαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου διατριβής και ιδιαίτερα το τελευταίο διάστημα της συγγραφής της.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι αλλαγές στο σύγχρονο τρόπο ζωής συνδέονται με τις διατροφικές συνήθειες των καταναλωτών και καθορίζουν τη ζήτηση για νέα τρόφιμα, βασισμένα σε παραδοσιακά υγιεινά προϊόντα, τα οποία να εξασφαλίζουν περισσότερα οφέλη για την υγεία. Τα τελευταία χρόνια, η βιομηχανία τροφίμων βρίσκεται σε μια συνεχή αναζήτηση για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη νέων, λειτουργικών και καινοτόμων προϊόντων, προκειμένου να ανταποκριθεί στις σύγχρονες και ολοένα αυξανόμενες καταναλωτικές ανάγκες και απαιτήσεις, για προϊόντα με ανώτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Η ερευνητική κοινότητα έρχεται να συνεισφέρει σε αυτήν την προσπάθεια διερευνώντας την ανάπτυξη νέων διεργασιών ή τη βελτιστοποίηση διεργασιών και προϊόντων. Για την παραγωγή του «Ξηρού Ανθότυρου» και τη διάθεση του στο καταναλωτικό κοινό, μία βασική διεργασία είναι αυτή της ξήρανσης ή αλλιώς μερικής αφυδάτωσής του, η οποία προκύπτει με αλάτισμα των τυροκεφαλών και παραμονή τους σε αιώρηση σε καλά αεριζόμενα δωμάτια, μέχρις ότου η τελική τους υγρασία σε υγρή βάση φτάσει περίπου στο 40%. Μια πρόκληση είναι η ανάπτυξη προϊόντων Ξηρού Ανθότυρου με βελτιωμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά, ενώ ταυτόχρονα θα πρέπει να εξασφαλίζεται η σταθερότητα του προϊόντος και η μακρά διάρκεια ζωής του.

Στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής ήταν η βελτιστοποίηση της διεργασίας της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα σε δείγματα Ανθότυρου, για την παραγωγή τυριών με ανώτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Επίσης, πραγματοποιήθηκε η μελέτη και η ανάλυση παραμέτρων (θερμοκρασία ξήρανσης, χρόνος ξήρανσης, μέγεθος τυριών) που επηρεάζουν τη διεργασία της ξήρανσης και η διερεύνηση της κινητικής της ξήρανσης του Ανθότυρου.

Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε το Ανθότυρο «Ανθοτυράκι Αμφιλοχίας» της εταιρείας ΤΥΡΟΚ. ΑΜ. (ΜΠΟΥΤΣΩΛΗΣ) Α.Β.Ε.Ε. για τη μελέτη της κινητικής της ξήρανσης. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε στο θερμοκρασιακό εύρος 25-65°C, σε δείγματα σφαιρικού σχήματος, ακτίνας 0.02 m. Στα δείγματα αυτά πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός της μεταβολής της εναπομένουσας υγρασίας τους, σε ξηρή και υγρή βάση, της μεταβολής της ενεργότητας νερού ( $a_w$ ) και της ολικής μεταβολής του χρώματος. Παράλληλα, μελετήθηκε η επίδραση της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα, στους 25°C, στα φυσικοχημικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά ολόκληρων κεφαλιών Ανθότυρου. Στα κεφάλια αυτά προσδιορίστηκε η απώλεια υγρασίας και η εναπομένουσα υγρασία τους, σε ξηρή και υγρή βάση, μετά την ολοκλήρωση της ξήρανσης. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός της μεταβολής της ενεργότητας του νερού ( $a_w$ ), του

χρώματος και της σκληρότητας των τυροκεφαλών. Επίσης, προσδιορίστηκαν η γενική σύσταση των κεφαλιών Ανθότυρου και ο βαθμός συρρίκνωσής τους. Για τη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν κεφάλια Ανθότυρου σχήματος κόλουρου κώνου και κυλινδρικά κεφάλια της εταιρείας Λουκάς & Υιός Ο.Ε.

Σε ό,τι αφορά στη μελέτη της κινητικής της ξήρανσης, από τον προσδιορισμό της υγρασίας, σε ξηρή και υγρή βάση, παρατηρήθηκε ότι η θερμοκρασία είχε σημαντική επίδραση στο ρυθμό της ξήρανσης των δειγμάτων και μάλιστα, αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού ξήρανσης. Παρόμοια συμπεριφορά παρουσίασε και η ενεργότητα του νερού ( $a_w$ ) των δειγμάτων Ανθότυρου, καθώς υψηλότερες θερμοκρασίες ξήρανσης οδήγησαν σε μεγαλύτερο ρυθμό ελάττωσής της. Η ολική μεταβολή του χρώματος αυξήθηκε σημαντικά με την πάροδο του χρόνου ξήρανσης και με την αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης, με αποτέλεσμα τον κιτρινισμό του Ανθότυρου. Από τον προσδιορισμό των συντελεστών διάχυσης της υγρασίας διαπιστώθηκε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση του συντελεστή διάχυσης στο θερμοκρασιακό εύρος 25-65°C. Επιπλέον, ο προσδιορισμός των παραμέτρων της σχέσης του Arrhenius,  $E_a$  (kJ/mol) και  $D_{ref}$  (m<sup>2</sup>/s), κατέστησε εφικτό τον προσδιορισμό του συντελεστή διάχυσης της υγρασίας του συγκεκριμένου τροφίμου σε κάθε θερμοκρασία ξήρανσης. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε υπολογιστική προσέγγιση της υγρασίας ισορροπίας για κάθε θερμοκρασία ξήρανσης. Για τις τιμές της υγρασίας ισορροπίας που προσεγγίστηκαν υπολογιστικά, προσδιορίστηκαν οι αντίστοιχοι συντελεστές διάχυσης και στη συνέχεια οι παράμετροι της σχέσης του Arrhenius,  $E_a$  (kJ/mol) και  $D_{ref}$  (m<sup>2</sup>/s). Η προσέγγιση αυτή ήταν ικανοποιητική, καθώς οι τιμές που προέκυψαν για την υγρασία ισορροπίας και τον συντελεστή διάχυσης, σε κάθε θερμοκρασία ξήρανσης, και οι τιμές των παραμέτρων της σχέσης του Arrhenius ήταν παραπλήσιες με αυτές που προέκυψαν για τις τιμές της υγρασίας ισορροπίας οι οποίες προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο προσδιορισμού των περιεχόμενων στο Ανθότυρο ολικών στερεών.

Όσον αφορά τη μελέτη της επίδρασης της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα, στους 25°C, στα φυσικοχημικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά ολόκληρων κεφαλιών Ανθότυρου, από τον προσδιορισμό της απώλειας υγρασίας διαπιστώθηκε ότι η ξήρανση των κεφαλιών σχήματος κόλουρου κώνου, αρχικού βάρους 1300-1400 g, για 120 h οδήγησε σε ίσο ποσοστό απώλειας υγρασίας με την ξήρανση των κυλινδρικών κεφαλιών, αρχικού βάρους 450-550 g, για 72 h. Για τους συγκεκριμένους χρόνους ξήρανσης, η υγρασία των τυροκεφαλών, σε ξηρή και υγρή βάση, μειώθηκε σημαντικά. Η ενεργότητα του νερού ( $a_w$ )

των δειγμάτων Ανθότυρου παρουσίασε μεγαλύτερη μείωση στα κεφάλια σχήματος κόλουρου κώνου συγκριτικά με τα κυλινδρικά, καθώς ήταν μεγαλύτερος ο χρόνος ξήρανσης και ο όγκος του νερού που απομακρύνθηκε. Από τον προσδιορισμό της ολικής μεταβολής του χρώματος διαπιστώθηκε ότι ο μεγαλύτερος χρόνος επεξεργασίας οδήγησε σε μεγαλύτερη μεταβολή του χρώματος του Ανθότυρου, καθώς αυτό υπέστη κιτρινισμό. Οι αναλύσεις υφής οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η σκληρότητα όλων των δειγμάτων αυξήθηκε μετά την ολοκλήρωση της ξήρανσης. Από τον προσδιορισμό της γενικής σύστασης του Ανθότυρου διαπιστώθηκε ότι η ξήρανσή του σε ρεύμα αέρα οδήγησε σε μείωση της περιεχόμενης υγρασίας του σε υγρή βάση, ενώ αυξήθηκε η περιεκτικότητά του σε λίπος, πρωτεΐνη και αλάτι. Τέλος, ο μεγαλύτερος χρόνος ξήρανσης και ο μεγαλύτερος όγκος του νερού που απομακρύνθηκε από τα κεφάλια Ανθότυρου σχήματος κόλουρου κώνου συνέβαλαν στο μεγαλύτερο ποσοστό συρρίκνωσής τους, συγκριτικά με τα κυλινδρικά κεφάλια.

Συμπερασματικά, η μελέτη αυτή έδειξε ότι ο συνδυασμός των επιλεγμένων παραμέτρων (θερμοκρασία ξήρανσης, χρόνος ξήρανσης, μέγεθος τυριών) μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή Ξηρού Ανθότυρου με βελτιωμένα φυσικοχημικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά. Πιο συγκεκριμένα, η ξήρανση σε ρεύμα αέρα στους 25°C των τυροκεφαλών σχήματος κόλουρου κώνου, αρχικού βάρους 1300-1400 g, για 120 h (5 d) και των κυλινδρικών κεφαλιών, αρχικού βάρους 450-550 g, για 72 h (3 d) οδήγησε στην παραγωγή προϊόντων Ξηρού Ανθότυρου με χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία και αποδεκτά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Η υγρασία σε υγρή βάση των τυροκεφαλών σχήματος κόλουρου κώνου, ύστερα από την ξήρανσή τους, ήταν ίση με 50.66% και των κυλινδρικών κεφαλιών ήταν ίση με 43.94%. Για την κάθε θερμοκρασία ξήρανσης των σφαιρικών δειγμάτων Ανθότυρου (25, 45 και 65°C) προσδιορίστηκε ο συντελεστής διάχυσης της υγρασίας, ίσος με  $6.079 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $1.388 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  και  $1.621 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  αντίστοιχα. Σύμφωνα με αυτά τα αποτελέσματα επιβεβαιώνεται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του συντελεστή διάχυσης στο θερμοκρασιακό εύρος 25-65°C.

**Λέξεις κλειδιά:** Ανθότυρο, ξήρανση σε ρεύμα αέρα, παράμετροι ξήρανσης σε ρεύμα αέρα, συντελεστής διάχυσης της υγρασίας, φυσικοχημικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά

# STUDY OF THE PROCESS OF WHEY CHEESES DRYING

## ABSTRACT

Most changes in the modern lifestyle are commonly associated with consumers eating habits and thus determine the demand for new food products, based on traditional healthy products, which can result in physiological benefits. In recent years, food industry is in a constant search for the design and development of new, functional and innovative products to meet the current (and growing) consumer need for products with superior quality features and longer shelf life.

The research community contributes to this effort either by developing new products and processes, or by optimizing old ones. For the production of "Dry Anthotyros", which is a Greek whey cheese, and for its availability to consumers, a basic process is that of drying or partially dehydrating it, which results by salting the cheese heads and letting them remain hung to well ventilated rooms until the final moisture on wet basis decreases to less than 40%. One challenge is the development of Dry Anthotyros products with improved quality characteristics, while ensuring product stability and long-time preservation.

The aim of this thesis was to optimize the process of air-drying of Anthotyros, for the production of cheeses with superior qualitative characteristics. The study and the analysis of parameters (drying temperature, drying time, cheese size) affecting the drying process and the study of the kinetics of Anthotyros drying were also carried out.

In this work, Anthotyros "Anthotyraiki Amfilochias" of the company TYROK. AM. (BOUTSOLIS) S.A. was used for the study of the kinetics of drying. The study was carried out in the temperature range 25-65°C, in samples of spherical shape, with a radius of 0.02 m. The determination of the residual moisture, on dry and wet basis, and the change of water activity ( $a_w$ ) and color were also carried out. At the same time, the effect of air-drying, at 25°C, on the physicochemical and qualitative characteristics of truncated cone shaped Anthotyros and cylindrical shaped Anthotyros were studied. The moisture loss and the residual moisture, on dry and wet basis, were determined after the drying process was completed. Subsequently, the determination of the change of water activity ( $a_w$ ), color and hardness of these cheeses were carried out. The general composition of Anthotyros cheeses and their shrinkage percentage were also determined. For this study, truncated cone shaped Anthotyros and cylindrical shaped Anthotyros of Lucas & Son Co. were used.

Regarding the study of the kinetics of Anthotyros drying, in samples of spherical shape, the determination of moisture, on dry and wet basis, showed that temperature had a

significant effect on the drying rate of the samples, and more specifically, the increase of the drying temperature resulted in the increase of the drying rate. The water activity ( $a_w$ ) of the Anthotyros samples showed similar behavior, as higher drying temperatures led to higher rate of decrease of the samples' water activity. The total color change increased significantly over the drying time and the increase of the drying temperature, resulting in the Anthotyros being yellowish. The determination of the coefficients of diffusion showed that the increase of the drying temperature resulted in the increase of the coefficient of diffusion in the temperature range of 25-65°C. In addition, the determination of the Arrhenius parameters,  $E_a$  (kJ/mol) and  $D_{ref}$  ( $m^2/s$ ), made it possible to determine the coefficient of diffusion of moisture of this specific food,  $D$  ( $m^2/s$ ), at any drying temperature. In addition, a calculation approach of the equilibrium moisture was carried out for each drying temperature. For these equilibrium moisture values, the coefficients of diffusion and the Arrhenius parameters were also calculated. This approach was satisfactory as the values obtained for the equilibrium moisture, the coefficient of diffusion, at any drying temperature, and the values of the Arrhenius parameters were similar to those obtained for the equilibrium moisture values determined by the method of determination of the total solids content in Anthotyros.

Concerning the study of the effect of air drying at 25°C on the physicochemical and qualitative characteristics of truncated cone shaped Anthotyros and cylindrical shaped Anthotyros it was found that the drying of the truncated cone shaped Anthotyros initially weighted 1300-1400 g, for 120 h led to the same percentage of moisture loss as the drying of the cylindrical shaped Anthotyros, initially weighted 450-550 g, for 72 h. For these specific drying times, the moisture content of Anthotyros, on dry and wet basis, decreased significantly. The water activity ( $a_w$ ) of the Anthotyros showed a larger reduction in the truncated cone shaped heads as compared to the cylindrical ones, because of the longest drying time and the largest volume of the removed water. From the determination of the total color change, it was found that the longer processing time led to a greater change in the color of the Anthotyros, as it suffered yellowing. The texture analysis revealed that the hardness of all samples increased after the air-drying was complete. The determination of the general composition of Anthotyros showed that the process of air-drying led to a decrease in the moisture content of the samples on wet basis, while their content in fat, protein and salt were increased. Finally, the longer drying time and the larger volume of the water removed from the truncated cone shaped Anthotyros contributed to higher shrinkage percentage as compared to the cylindrical heads.



In conclusion, this study showed that the combination of the selected parameters (drying temperature, drying time, cheese size and shape) could lead to the production of Dry Anthotyros with superior quality characteristics. More specifically, air drying at 25°C of the truncated cone shaped Anthotyros, of an initial weight of 1300-1400 g for 120 hours (5 d), and of the cylindrical shaped Anthotyros, of an initial weight of 450-550 g, for 72 hours (3 d), led to the production of Dry Anthotyros products with low moisture content and acceptable quality characteristics. After drying, the moisture content of the truncated cone shaped Anthotyros was 50.66% and the moisture content of cylindrical shaped Anthotyros was 43.94%. The coefficient of diffusion was determined for each drying temperature of the spherical samples of Anthotyros (25, 45 and 65°C), equal to  $6.08 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $1.39 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  and  $1.62 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  respectively. According to these results, it is confirmed that the increase in temperature resulted in an increase of the coefficient of diffusion in the temperature range of 25-65°C.

**Key words: Anthotyros, air-drying, air-drying parameters, coefficient of moisture diffusion, physicochemical and qualitative characteristics**

## Περιεχόμενα

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	ii
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	1
<b>1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ</b> .....	3
1.1 Ο ορός γάλακτος.....	3
1.1.1 Ορισμός ορού γάλακτος.....	3
1.1.2 Σύσταση ορού γάλακτος .....	3
1.2 Τα τυριά τυρογάλακτος και η μεταποίησή τους .....	4
1.2.1 Ορισμός τυριών τυρογάλακτος και ισχύουσα διεθνής νομοθεσία.....	4
1.2.2 Ισχύουσα νομοθεσία για τα ελληνικά τυριά τυρογάλακτος.....	5
1.2.3 Τα τυριά τυρογάλακτος που παράγονται στην Ελλάδα .....	6
1.2.4 Σύσταση ελληνικών τυριών τυρογάλακτος.....	10
1.2.5 Παραγωγική διαδικασία Ανθότυρου.....	11
1.3 Ξήρανση.....	13
1.3.1 Ξήρανση τροφίμων .....	14
1.3.2 Μέθοδοι ξήρανσης .....	15
1.3.3 Μαθηματική μοντελοποίηση της ξήρανσης.....	18
<b>2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ</b> .....	24
2.1 Γενική περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας.....	24
2.2 Μέθοδοι προσδιορισμού φυσικοχημικών και ποιοτικών παραμέτρων .....	26
2.2.1 Προσδιορισμός της υγρασίας σε ξηρή και υγρή βάση.....	26
2.2.2 Προσδιορισμός της ενεργότητας νερού ( $a_w$ ).....	27
2.2.3 Προσδιορισμός του χρώματος .....	28
2.2.4 Προσδιορισμός της υφής.....	30
2.2.5 Προσδιορισμός της γενικής σύστασης του Ανθότυρου .....	30

2.2.6	Προσδιορισμός της συρρίκνωσης .....	31
<b>3.</b>	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....</b>	<b>33</b>
3.1	Μελέτη της κινητικής της ξήρανσης του Ανθότυρου.....	33
3.1.1	Προσδιορισμός της υγρασίας σε ξηρή και υγρή βάση.....	33
3.1.2	Προσδιορισμός της ενεργότητας νερού ( $a_w$ ).....	35
3.1.3	Προσδιορισμός της μεταβολής του χρώματος .....	36
3.1.4	Προσδιορισμός του συντελεστή διάχυσης της υγρασίας κατά τη ξήρανση Ανθότυρου .....	38
3.1.5	Υπολογιστική προσέγγιση της υγρασίας ισορροπίας .....	42
3.1.6	Σύγκριση της μεθόδου προσδιορισμού της υγρασίας ισορροπίας μέσω του προσδιορισμού των περιεχόμενων ολικών στερεών (ISO 5534, IDF 4, 2004) και της υπολογιστικής προσέγγισής της. ....	48
3.2	Ξήρανση κεφαλιών Ανθότυρου .....	53
3.2.1	Προσδιορισμός της απώλειας υγρασίας και της υγρασίας σε ξηρή και υγρή βάση .....	53
3.2.2	Προσδιορισμός της ενεργότητας νερού ( $a_w$ ).....	54
3.2.3	Προσδιορισμός της μεταβολής του χρώματος .....	54
3.2.4	Προσδιορισμός της μεταβολής της σκληρότητας .....	55
3.2.5	Προσδιορισμός της γενικής σύστασης.....	57
3.2.6	Προσδιορισμός της συρρίκνωσης .....	59
<b>4.</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>61</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>65</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ελληνικά τυριά τυρογάλακτος παράγονται μέσω της πήξης των πρωτεϊνών του ορού γάλακτος, ενός παραπροϊόντος τυροκόμησης γνωστό ως τυρόγαλα (whey), με επιβολή θερμότητας. Τα ελληνικά τυριά τυρογάλακτος είναι ως επί το πλείστον μαλακά τυριά με πολύ περιορισμένη διάρκεια ζωής. Η σύσταση του ορού γάλακτος είναι σημαντική για την απόδοση και την ποιότητα των τυριών τυρογάλακτος. Στην Ελλάδα, η ετήσια παραγωγή τυριών τυρογάλακτος ανέρχεται στους 15000 τόνους (Μασούρας, 2017). Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, τα ελληνικά τυριά τυρογάλακτος είναι τα εξής: η Μυζήθρα (νωπή ή ξηρή), ο Ανθότυρος (νωπός ή ξηρός), το Μανούρι και η Ξυνομυζήθρα Κρήτης.

Οι αλλαγές στον τρόπο ζωής επηρεάζουν άμεσα τις διατροφικές συνήθειες και προκαλούν τη ζήτηση νέων καινοτόμων τροφίμων από τον καταναλωτή, με ανώτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Έτσι, η βιομηχανία τροφίμων βρίσκεται σε μια συνεχή αναζήτηση καινοτόμων προϊόντων προκειμένου να εκσυγχρονιστεί έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις σύγχρονες και ολοένα αυξανόμενες διατροφικές ανάγκες του καταναλωτή. Ο τομέας των τυριών τυρογάλακτος μπορεί να γίνει πιο ανταγωνιστικός λαμβάνοντας σοβαρά υπόψη του το σύγχρονο ενδιαφέρον των καταναλωτών για νέα φυσικά προϊόντα με παραδοσιακό χαρακτήρα, ανώτερη ποιότητα και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Τα προϊόντα αυτά είναι σημαντικό να ανταποκρίνονται στις σύγχρονες απαιτήσεις και προτιμήσεις του καταναλωτικού κοινού.

Στα πλαίσια αυτής της μεταπτυχιακής διατριβής μελετήθηκε η βελτιστοποίηση της διεργασίας της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα σε τυριά τυρογάλακτος, και πιο συγκεκριμένα σε Ανθότυρο, για την παραγωγή προϊόντων με βελτιωμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Η διεργασία της ξήρανσης των τυριών αυτών λειτουργεί επίσης και ως μέθοδος συντήρησης, με σκοπό την επιμήκυνση του χρόνου ζωής τους.

Η ξήρανση των τυριών έχει μελετηθεί ελάχιστα στη διεθνή βιβλιογραφία. Η ίδια έχει μελετηθεί σε προγενέστερη διπλωματική εργασία της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Κουμανδράκη, 2017). Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η ξήρανση δειγμάτων Φέτας σε σχήμα πλάκας. Τα δείγματα Φέτας ξηράθηκαν μέχρι να σταθεροποιηθεί το βάρος τους σε θερμοκρασίες 40, 55 και 67°C. Για την κάθε θερμοκρασία ξήρανσης προσδιορίστηκε ο συντελεστής διάχυσης, ο οποίος ήταν ίσος με  $6.26 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $1.16 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  και  $1.90 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  αντίστοιχα (Κουμανδράκη, 2017).

Επιπλέον, έχει μελετηθεί η ξήρανση αποβουτυρωμένου τυριού κυλινδρικού σχήματος με πάχος 2 mm και διάμετρο από 10 mm έως 15 mm. Τα δείγματα αυτά ξηράθηκαν στους 43°C και στους 52°C και οι συντελεστές διάχυσης προσδιορίστηκαν ότι ήταν ίσοι με  $4.24 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  και  $4.71 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  αντίστοιχα (Pinho et al., 2017).

Η ξήρανση του τυριού «Qula», ενός γαλακτοκομικού προϊόντος, το οποίο παράγεται παραδοσιακά στη βορειοδυτική Κίνα από γάλα γιακ, μελετήθηκε στη Σχολή Επιστήμης και Μηχανικής Τροφίμων, του Γεωπονικού Πανεπιστημίου της Κανσού στην Κίνα. Δείγματα τυριού διαφορετικού πάχους (6, 8, 10, 12, 14 και 16 mm) ξηράθηκαν σε ρεύμα αέρα υπό διάφορες θερμοκρασίες ξήρανσης (30, 35, 40, 45, 50 και 55°C), και υπό διαφορετικές ταχύτητες αέρα (20, 40, 60, 80 και 100 m/min). Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η σειρά σπουδαιότητας μεταξύ των τριών παραγόντων ήταν: θερμοκρασία ξήρανσης > ταχύτητα αέρα > πάχος δείγματος (Jun et al., 2014).

Η αφυδάτωση του Ανθότυρου έχει μελετηθεί σε προγενέστερη πτυχιακή μελέτη του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (Θειακός, 2008). Σε αυτή την πτυχιακή εργασία μελετήθηκε η αφυδάτωση δειγμάτων Ανθότυρου σχήματος πλάκας διαφορετικού πάχους (2, 3, 4 cm), σε διάφορες θερμοκρασίες ξήρανσης (10, 15 και 20°C) και υπό διαφορετικές ταχύτητες αέρα (0, 1.25 και 2 m/s). Από τη μελέτη αυτή διαπιστώθηκε ότι τα δείγματα με μικρότερο πάχος έχαναν με γρηγορότερο ρυθμό υγρασία από τα δείγματα με μεγαλύτερο πάχος, λόγω της μικρότερης απόστασης που είχε να διανύσει το νερό μέχρι την επιφάνεια όπου ο αέρας προσέπιπτε σε αυτήν και η υγρασία μεταφερόταν από το προϊόν στον αέρα και απομακρυνόταν. Επίσης παρατηρήθηκε ότι η αύξηση της ταχύτητας του αέρα και της θερμοκρασίας ξήρανσης οδήγησαν σε αύξηση του ρυθμού ξήρανσης. Ο συντελεστής διάχυσης της υγρασίας για τα δείγματα διαφορετικού πάχους κυμάνθηκε από  $4 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  έως  $11.2 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ . Ο συντελεστής διάχυσης της υγρασίας για την ξήρανση των δειγμάτων στους 10°C υπολογίστηκε ότι ήταν ίσος με  $3.8 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  και για την ξήρανση στους 20°C ήταν ίσος με  $7.4 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ . Επομένως, διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής διάχυσης της υγρασίας ήταν μεγαλύτερος σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες (Θειακός, 2008).

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής ήταν η βελτιστοποίηση της διεργασίας της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα σε δείγματα Ανθότυρου, για την παραγωγή τυριών με ανώτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Επίσης, πραγματοποιήθηκε η μελέτη και η ανάλυση παραμέτρων (θερμοκρασία ξήρανσης, χρόνος ξήρανσης, μέγεθος τυριών) που επηρεάζουν τη διεργασία της ξήρανσης και η διερεύνηση της κινητικής της ξήρανσης του Ανθότυρου.

## **1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ**

### **1.1 Ο ορός γάλακτος**

Ο ορός γάλακτος είναι το υδάτινο μέρος του γάλακτος το οποίο απομένει, μετά την πήξη του γάλακτος και την απομάκρυνση του τυροπήγματος, κατά τη διεργασία της τυροκόμησης. Ο ορός γάλακτος, ή αλλιώς τυρόγαλο, είναι ένα σημαντικό παραπροϊόν της γαλακτοκομικής βιομηχανίας, το οποίο παράγεται σε συνεχώς αυξανόμενες ποσότητες (Peters, 2006; Kaminarides et al., 2013).

#### **1.1.1 Ορισμός ορού γάλατος**

Σύμφωνα με τον κώδικα αρχών των διεθνών οργανισμών FAO/WHO (Codex Alimentarius, 1995), ορός γάλακτος (ή τυρόγαλο) είναι το ρευστό γαλακτοκομικό προϊόν που λαμβάνεται κατά τη διάρκεια παρασκευής των τυριών, της καζεΐνης ή παρόμοιων προϊόντων με διαχωρισμό από το τυρόπηγμα, αφού ολοκληρωθεί η πήξη του γάλακτος ή/και των προϊόντων που λαμβάνονται από το γάλα. Η πήξη επιτυγχάνεται μέσω της δράσης, κυρίως, ενζύμων τύπου πυτιάς.

#### **1.1.2 Σύσταση ορού γάλακτος**

Ο ορός γάλακτος χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παρασκευή τυριών τυρογάλακτος. Συνεπώς, η σύστασή του είναι πολύ σημαντική για την απόδοση και την ποιότητα των τυριών τυρογάλακτος και διαμορφώνεται από τον τύπο τυριού από τον οποίο προέρχεται (Moschoroulou and Moatsou, 2016). Ο ορός γάλακτος αποτελείται από 92-95% (w/w) νερό και 5-8% (w/w) ξηρά ουσία, από την οποία περίπου το 60-80% είναι λακτόζη, το 10-20% πρωτεΐνες και το υπόλοιπο είναι ανόργανα συστατικά, βιταμίνες, λίπος, γαλακτικό οξύ και ιχνοστοιχεία (Gonzalez, 1996).

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται η μέση σύσταση του τυρογάλακτος ελληνικών τυριών πρόβειου και αγελαδινού γάλακτος, σύμφωνα με στοιχεία του Εργαστηρίου Γαλακτοκομίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (Ανυφαντάκης, 2004). Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά, προκύπτει ότι, για το ίδιο τυρί, το πρόβειο τυρόγαλο είναι πλουσιότερο σε πρωτεΐνες και λίπος από το αγελαδινό. Επιπλέον, παρατηρείται ότι στην περίπτωση των σκληρών τυριών μεταφέρεται περισσότερο λίπος στο τυρόγαλο από ότι στην περίπτωση των μαλακών τυριών.

**Πίνακας 1.** Σύσταση του ορού γάλακτος ελληνικών τυριών πρόβειου και αγελαδινού γάλακτος (Ανυφαντάκης, 2004).

Συστατικά (%)	Φέτα Πρόβειο	Τελεμές Αγελαδινό	Γραβιέρα Πρόβειο	Γραβιέρα Αγελαδινό	Κεφαλοτύρι Πρόβειο	Κεφαλοτύρι Αγελαδινό
<b>Ξηρή Ουσία</b>	7.87	6.44	8.74	6.90	8.10	6.55
<b>Νερό</b>	92.13	93.56	91.23	93.10	91.90	93.45
<b>Λίπος</b>	0.39	0.32	1.26	0.60	0.80	0.40
<b>Πρωτεΐνες</b>	1.61	0.82	1.52	0.90	1.55	0.80
<b>Λακτόζη</b>	5.33	4.80	5.27	4.90	5.25	4.85
<b>Γαλακτικό Οξύ</b>	0.14	0.12	0.14	0.12	0.14	0.11
<b>Ανόργανα Άλατα</b>	0.60	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

Στην Ελλάδα τα τυριά τυρογάλακτος παράγονται από τυρόγαλα, που προέρχεται από την παραγωγή μαλακών τυριών (Φέτα) και σκληρών τυριών (Κεφαλοτύρι ή Γραβιέρα), πρόβειου – αιγοπρόβειου γάλακτος. Αυτό οφείλεται κυρίως στην υψηλή περιεκτικότητα των συγκεκριμένων ορών γάλακτος σε πρωτεΐνη και λίπος, αλλά και στην οικονομική σημασία αυτών των μηρυκαστικών στην περιοχή της Μεσογείου.

## 1.2 Τα τυριά τυρογάλακτος και η μεταποίησή τους

Η παραγωγή τυριών τυρογάλακτος βασίζεται στη μετουσίωση και στην πήξη των υδατοδιαλυτών πρωτεϊνών του ορού γάλακτος, όταν αυτός θερμαίνεται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από τους 85°C (Pearce, 1989). Για να ενισχυθεί η περιεκτικότητα αυτών των τυριών σε πρωτεΐνες και λίπη, είναι συνηθισμένη η συμπλήρωση του ορού γάλακτος με διάφορες συγκεντρώσεις αγελαδινού, πρόβειου ή κατσικίσιου γάλακτος πριν από τη θέρμανση (Kandarakis, 1986).

### 1.2.1 Ορισμός τυριών τυρογάλακτος και ισχύουσα διεθνής νομοθεσία

Σύμφωνα με τον «Codex Alimentarius» (Codex Alimentarius, 1971) τα τυριά τυρογάλακτος είναι στερεά, ημιστερεά ή μαλακά προϊόντα τα οποία παράγονται, είτε με τη συμπύκνωση του ορού γάλακτος και τον σχηματισμό του συμπυκνωμένου προϊόντος, είτε με την πήξη των πρωτεϊνών του ορού γάλακτος με θέρμανση, με ή χωρίς την προσθήκη οξέος. Η διεργασία μπορεί επίσης να περιλαμβάνει την προσθήκη γάλακτος, κρέμας

γάλακτος ή άλλων πρώτων υλών προέλευσης γάλακτος, πριν ή μετά τη συμπύκνωση ή την πήξη.

Το τυρί τυρογάλακτος, που λαμβάνεται με τη συμπύκνωση του ορού γάλακτος, παράγεται με εξάτμιση, με θέρμανση, του ορού γάλακτος, ή του μίγματος ορού γάλακτος με γάλα, ή με κρέμα γάλακτος ή με άλλες πρώτες ύλες που προέρχονται από γάλα, σε συγκέντρωση που επιτρέπει στο τελικό τυρί να αποκτήσει σταθερό σχήμα. Λόγω της σχετικά υψηλής περιεκτικότητάς τους σε λακτόζη, αυτά τα τυριά είναι συνήθως κίτρινα ή καφέ και έχουν γλυκιά ή καραμελωμένη γεύση.

Το τυρί τυρογάλακτος, που λαμβάνεται με την πήξη των πρωτεϊνών του ορού γάλακτος, παράγεται μέσω της μετουσίωσης των πρωτεϊνών του ορού γάλακτος, ή του μίγματος ορού γάλακτος με γάλα, ή με κρέμα γάλακτος, με ή χωρίς προσθήκη οξέος, λόγω της παροχής θερμότητας. Αυτά τα τυριά τυρογάλακτος έχουν σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε λακτόζη και λευκό έως κιτρινωπό χρώμα. Τα προϊόντα, τα οποία λαμβάνονται μέσω της πήξης των πρωτεϊνών του ορού γάλακτος, μπορούν είτε να ωριμάσουν είτε όχι.

### 1.2.2 Ισχύουσα νομοθεσία για τα ελληνικά τυριά τυρογάλακτος

Σύμφωνα με το Υπουργείο Δικαιοσύνης, Διαφάνειας και Ανθρωπίνων Δικαιωμάτων, ως τυριά τυρογάλακτος χαρακτηρίζονται τα τυριά, τα οποία λαμβάνονται με ισχυρή θέρμανση τυρογάλακτος (με ή χωρίς οξίνιση) και με ή χωρίς προσθήκη γάλακτος (πρόσγαλα) ή γάλακτος και κρέμας γάλακτος (αφρόγαλα) ή βρώσιμου χλωριούχου νατρίου (αλάτι), τα οποία μπορούν να διατεθούν ή νωπά (φρέσκα), ή με μερική αφυδάτωση (ξερά) ή κατόπιν ωρίμανσης (ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ, 2014). Η υγρασία των τυριών τυρογάλακτος δεν υπερβαίνει το 70%. Τα τυριά τυρογάλακτος, ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε υγρασία και λίπος, επιτρέπεται να διατίθενται στην κατανάλωση στις εξής ποιότητες: Εξαιρετική ποιότητα, Πρώτη ποιότητα, Δεύτερη ποιότητα και Μερικώς αποβουτυρωμένα (Πίνακας 2).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, αναγνωρίζοντας τη διαφορετικότητα του κάθε κράτους μέλους αναφορικά με τα έθιμα και τις παραδόσεις του, καθώς και κάποια παραδοσιακά προϊόντα διατροφής, εξέδωσε τον Κανονισμό (ΕΕ) 1151/2012 βάσει του οποίου προστατεύονται οι ονομασίες των προϊόντων και τροφίμων συγκεκριμένων γεωγραφικών περιοχών.



**Πίνακας 2.** Ποιότητες τυριών τυρογάλακτος (ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ, 2014).

	<b>Μέγιστη Υγρασία</b>	<b>Λίπος υπολογισμένο σε ξηρή ουσία τουλάχιστο</b>
<b>Εξαιρετική ποιότητα</b>	60%	70%
<b>Πρώτη ποιότητα</b>	65%	65%
<b>Δεύτερη ποιότητα</b>	70%	50%
<b>Μερικώς αποβουτυρωμένα</b>	70%	33.3% (συμπυκνωμένου) – 50% (ή 10% σε τυρί ως έχει)

Σύμφωνα με τον κανονισμό αυτό, ως «Προστατευόμενη Ονομασία Προέλευσης» (Π.Ο.Π.) νοείται η ονομασία που ταυτοποιεί ένα προϊόν, το οποίο κατάγεται από συγκεκριμένο τόπο, περιοχή ή, σε εξαιρετικές περιπτώσεις, χώρα, του οποίου η ποιότητα ή τα χαρακτηριστικά οφείλονται κυρίως ή αποκλειστικά στο ιδιαίτερο γεωγραφικό περιβάλλον που συμπεριλαμβάνει τους εγγενείς φυσικούς και ανθρώπινους παράγοντες και του οποίου όλα τα στάδια της παραγωγής εκτελούνται εντός της οριοθετημένης γεωγραφικής περιοχής (Κανονισμός (ΕΕ) 1151/2012).

Η Ελλάδα έχει κατοχυρώσει 21 είδη τυριών ως Προστατευόμενες Ονομασίες Προέλευσης, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται και 2 τυριά τυρογάλακτος, το Μανούρι και η Ξυνομυζήθρα Κρήτης. Τα συγκεκριμένα τυριά διέπονται από ορισμένες κοινές προδιαγραφές, καθώς παρασκευάζονται με παραδοσιακό τρόπο από γάλα που προέρχεται από φυλές προβάτων και αιγών που εκτρέφονται στην οριοθετημένη περιοχή και των οποίων η διατροφή στηρίζεται στη χλωρίδα της συγκεκριμένης περιοχής. Η παρασκευή και η ωρίμανση των τυριών γίνεται σε ειδικές εγκαταστάσεις εντός της οριοθετημένης περιοχής, ενώ πραγματοποιούνται ειδικοί έλεγχοι ώστε να κατοχυρώνονται οι προδιαγραφές και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των τυριών (Δημόπουλος, 2013).

### 1.2.3 Τα τυριά τυρογάλακτος που παράγονται στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, η ετήσια παραγωγή τυριών τυρογάλακτος ανέρχεται στους 15000 τόνους (Μασούρας, 2017). Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, τα ελληνικά τυριά τυρογάλακτος είναι τα εξής: η Μυζήθρα (νωπή ή ξηρή), ο Ανθότυρος (νωπός ή ξηρός), το Μανούρι και η Ξυνομυζήθρα Κρήτης. Αυτά τα τυριά καταναλώνονται συνήθως νωπά μέσα σε λίγες ημέρες ή εβδομάδες από την παραγωγή τους.

### 1.2.3.1 Μυζήθρα

Το πιο ευρέως παραγόμενο τυρί τυρογάλακτος στην Ελλάδα είναι η Μυζήθρα (Σχήμα 1), ένα τυρί το οποίο παρασκευάζεται από αγελαδινό, πρόβειο ή κατσικίσιο τυρόγαλα ή από μίγμα τους, με ή χωρίς προσθήκη αγελαδινού, πρόβειου ή κατσικίσιου γάλακτος ή κρέμας τους. Η Μυζήθρα διατίθεται στο εμπόριο είτε ως νωπή, είτε ως ξηρή. Η ξηρή μυζήθρα παράγεται από τη νωπή μυζήθρα με αλάτισμα και ωρίμανσή της. Αφού ολοκληρωθεί το αλάτισμα των τυροκεφαλών, οι ίδιες παραμένουν κρεμασμένες σε καλά αεριζόμενους θαλάμους, έως ότου η υγρασία μειωθεί σε λιγότερο του 40% (Moschoroulou and Moatsou, 2016). Η ωρίμανση και η ξήρανση της Μυζήθρας διαρκεί τουλάχιστον 60 ημέρες και κατά τη διάρκεια αυτή πρέπει οι τυροκεφαλές να καθαρίζονται περιοδικά από τις μούχλες, που αναπτύσσονται στις επιφάνειες τους (Θειακός, 2008).

Όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της Μυζήθρας, σε νωπή κατάσταση, η ίδια πρέπει να περιέχει μέγιστη υγρασία 70% και ελάχιστη λιποπεριεκτικότητα επί ξηρού 50%, ενώ σε ξηρή κατάσταση, πρέπει να περιέχει μέγιστη υγρασία 40% και ελάχιστη λιποπεριεκτικότητα επί ξηρού 50%. Η νωπή Μυζήθρα είναι μαλακό τυρί, ενώ η ξηρή Μυζήθρα είναι σκληρό τυρί. Τα τυροτεμάχια Μυζήθρας έχουν συμπαγή δομή, χωρίς οπές, σφαιρικό ή κόλουρου κώνου σχήμα και λευκό έως υπόλευκο χρώμα (ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ, 2014).



Σχήμα 1. Μυζήθρα

### 1.2.3.2 Ανθότυρος

Ο Ανθότυρος παρασκευάζεται σε ολόκληρο τον ελλαδικό χώρο από τυρόγαλα πρόβειου ή αίγειου γάλακτος ή μιγμάτων τους, στο οποίο μπορεί να προστεθεί πρόβειο ή αίγειο γάλα ή κρέμα τους. Το τυρί αυτό διατίθεται είτε ως νωπό, είτε ως ξηρό (Σχήμα 2) (Papademas et al., 2018). Η τεχνολογία παρασκευής του είναι ίδια με αυτή της Μυζήθρας, με την μόνη διαφορά ότι ο Ανθότυρος παρασκευάζεται από πρόβειο ή αίγειο τυρόγαλο, το οποίο προέρχεται από την παρασκευή σκληρών τυριών και είναι πιο πλούσιο σε λιπαρά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο Ανθότυρος να έχει πιο ευχάριστα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά από τη Μυζήθρα (Anifantakis, 1991).

Τα βασικά χαρακτηριστικά αυτού του τυριού είναι ότι ο νωπός Ανθότυρος είναι μαλακό τυρί και πρέπει να περιέχει μέγιστη υγρασία έως 70%, ενώ ο ξηρός Ανθότυρος είναι σκληρό τυρί, με μέγιστη υγρασία έως 40%. Η ελάχιστη λιποπεριεκτικότητα και των δύο τυριών πρέπει να είναι 65% επί ξηρού. Τα τυριά αυτά έχουν συμπαγή δομή, χωρίς οπές, και σφαιρικό ή κόλουρου κώνου σχήμα. Ο νωπός Ανθότυρος έχει λευκό έως υπόλευκο χρώμα, ενώ ο ξηρός Ανθότυρος έχει υπόλευκο χρώμα (ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ, 2014).



Σχήμα 2. Ανθότυρος, (α) Νωπός, (β) Ξηρός

### 1.2.3.3 Μανούρι

Η ονομασία «Μανούρι» αναγνωρίζεται ως Προστατευόμενη Ονομασία Προέλευσης για το τυρί τυρογάλακτος που παράγεται με παραδοσιακό τρόπο στις περιοχές της Θεσσαλίας, Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας. Το Μανούρι (Σχήμα 3) παρασκευάζεται

αποκλειστικά από τυρόγαλα πρόβειου ή αίγειου γάλακτος ή μιγμάτων τους, στο οποίο μπορεί να προστεθεί πρόβειο ή αίγιο γάλα ή κρέμα τους.

Όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του Μανουριού, το τυρί αυτό πρέπει να περιέχει μέγιστη υγρασία έως 60% και ελάχιστη λιποπεριεκτικότητα επί ξηρού 70%. Το Μανούρι είναι μαλακό τυρί με συμπαγή δομή, χωρίς οπές και έχει κυλινδρικό σχήμα και λευκό χρώμα (ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ, 2014).



**Σχήμα 3.** Μανούρι

#### 1.2.3.4 Ξυνομυζήθρα Κρήτης

Η ονομασία «Ξυνομυζήθρα Κρήτης» αναγνωρίζεται ως Προστατευόμενη Ονομασία Προέλευσης για το τυρί τυρογάλακτος που παράγεται παραδοσιακά στην Κρήτη, από γάλα πρόβειο ή αίγιο ή μίγμα αυτών. Πιο συγκεκριμένα, το γάλα το οποίο χρησιμοποιείται για την παρασκευή του τυριού «Ξυνομυζήθρα Κρήτης» πρέπει να προέρχεται αποκλειστικά από την περιοχή Κρήτης, που οριοθετείται από τα διοικητικά όρια των Νομών Χανίων, Ρεθύμνης, Ηρακλείου και Λασιθίου.

Η Ξυνομυζήθρα Κρήτης (Σχήμα 4) πρέπει να περιέχει μέγιστη υγρασία 55% κατά βάρος και ελάχιστη λιποπεριεκτικότητα επί ξηρού 45%. Η ίδια είναι μαλακό τυρί, ακαθόριστου σχήματος, με κοκκώδη έως αλοιφώδη υφή. Η Ξυνομυζήθρα Κρήτης έχει λευκό έως υπόλευκο χρώμα, ενώ δεν υπάρχουν οπές στη μάζα της (ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ, 2014).



**Σχήμα 4.** Ξυνομυζήθρα Κρήτης

#### 1.2.4 Σύσταση ελληνικών τυριών τυρογάλακτος

Η σύσταση κάποιων εκ των προαναφερθέντων τυριών τυρογάλακτος παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.

**Πίνακας 3.** Μέση σύσταση ελληνικών τυριών τυρογάλακτος, εκφρασμένη επί τοις % επί της μάζας του τυριού (Moschoroulou and Moatsou, 2016).

Τυρί	Υγρασία	Λίπος	Λίπος επί ξηρής ουσίας	Πρωτεΐνες	Τέφρα
<b>Μυζήθρα</b>	74,62	3,0	11,82	14,63	4,14
<b>Ξηρή Μυζήθρα</b>	36,82	20,92	33,2	24,42	10,94
<b>Ανθότυρος</b>	67,54	13,88	42,75	12,42	1,75
<b>Μανούρι</b>	45,28	41,75	76,53	11,04	2,05

Σύμφωνα με τον Ανυφαντάκη (2004) η τυπική σύσταση των ελληνικών τυριών τυρογάλακτος παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.

**Πίνακας 4.** Τυπική σύσταση ελληνικών τυριών τυρογάλακτος (Ανυφαντάκης, 2004).

Τυρί	Λίπος	Πρωτεΐνες	Λακτόζη	Άλατα	Νερό
<b>Μυζήθρα χωρίς πρόσγαλα</b>	10-12	12-14	3,5	1,5	70-71
<b>Μυζήθρα με πρόσγαλα</b>	15-19	12-13	3,5	1,5	64-66
<b>Ανθότυρος</b>	20-26	10-12	3	1,5	60-64
<b>Μανούρι</b>	33-37	10-11	2,5	1,5	48-52

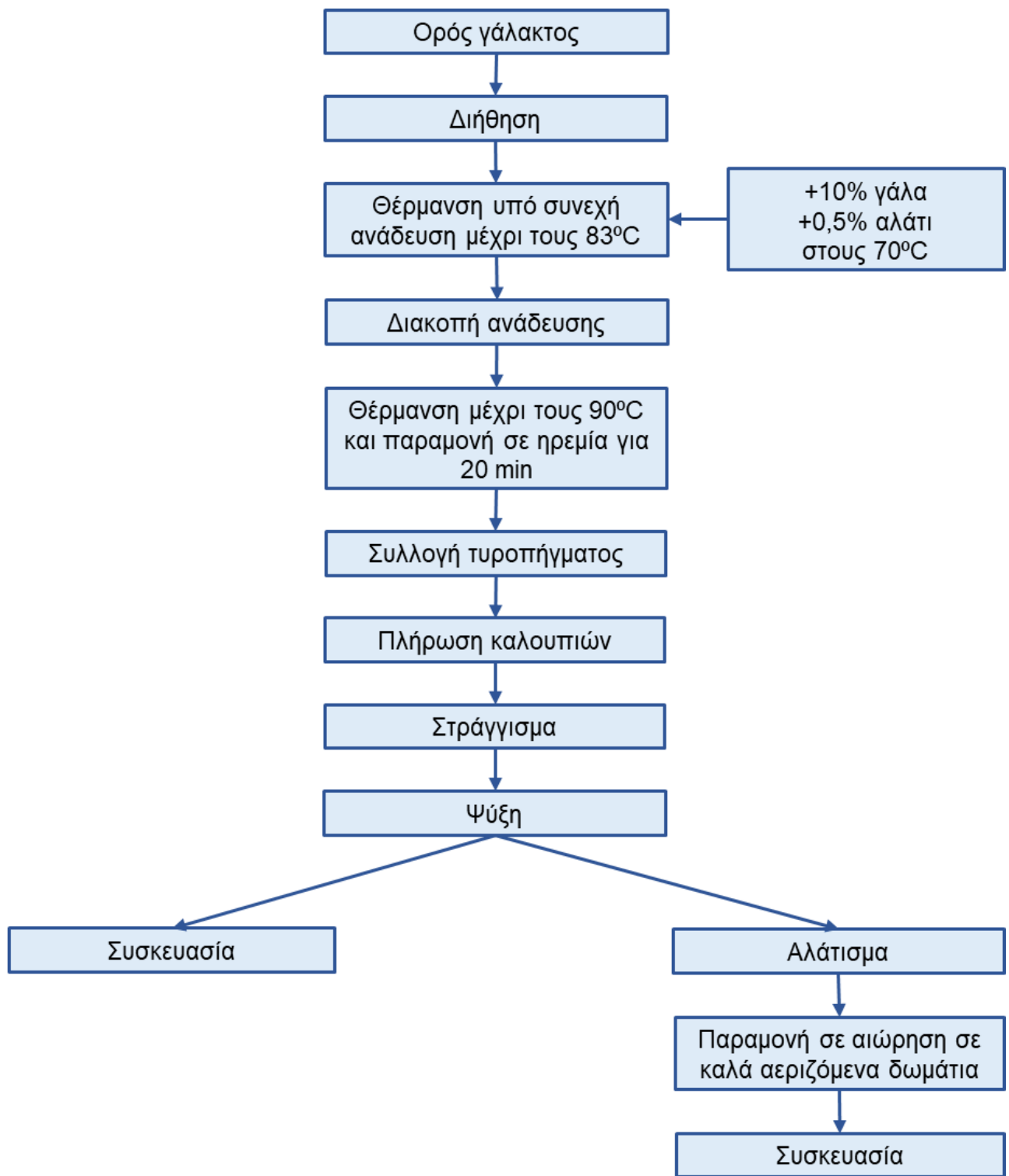
Από τους Πίνακες 3 και 4 προκύπτει ότι τα ελληνικά τυριά τυρογάλακτος διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους στην περιεκτικότητά τους σε λίπος και υγρασία. Πιο πλούσιο σε λίπος είναι το Μανούρι, ακολουθεί ο Ανθότυρος και πιο λίγο λίπος περιέχεται στη Μυζήθρα. Το αντίθετο ισχύει για την περιεχόμενη υγρασία των τυριών αυτών, καθώς μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε υγρασία παρατηρείται στη Μυζήθρα, ακολουθεί ο Ανθότυρος και λιγότερη υγρασία περιέχεται στο Μανούρι. Οι διαφορές αυτές στη σύσταση των ελληνικών τυριών τυρογάλακτος οφείλονται στη σύσταση του ορού γάλακτος ο οποίος χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή τους, καθώς όπως προαναφέρθηκε, η σύστασή του είναι πολύ σημαντική για την απόδοση και την ποιότητα αυτών των τυριών (Moschoroulou and Moatsou, 2016). Επίσης, σημαντικό ρόλο στη σύσταση των τυριών παίζει και η προσθήκη, ή μη, γάλακτος (πρόσγαλα) ή γάλακτος και κρέμας γάλακτος (αφρόγαλα) στον ορό γάλακτος κατά την διαδικασία της παραγωγής τους.

#### 1.2.5 Παραγωγική διαδικασία Ανθότυρου

Προκειμένου να φτάσει ο Ανθότυρος στους τελικούς καταναλωτές, ο ορός γάλακτος και ο Ανθότυρος περνάνε από διάφορα στάδια επεξεργασίας. Στόχος της επεξεργασίας αυτής είναι να διατεθεί τελικά στην αγορά ένα προϊόν ασφαλές και ταυτόχρονα ποιοτικό. Τα στάδια παραγωγής του Ανθότυρου παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.

Αρχικά, ο ορός γάλακτος πρόβειου και/ή αίγειου γάλακτος, που προέρχεται από τυροκόμηση σκληρών τυριών και προορίζεται για την παρασκευή Ανθότυρου, υποβάλλεται σε διήθηση προκειμένου να απομακρυνθούν τυχόν κόκκοι πήγματος. Ακολουθεί θέρμανση του ορού γάλακτος υπό συνεχή ανάδευση μέχρι τους 83°C. Μόλις η θερμοκρασία του ορού γάλακτος φθάσει στους 70°C περίπου, προστίθενται πρόβειο ή αίγειο γάλα σε αναλογία μέχρι 10% και 0,5% αλάτι (βρώσιμο χλωριούχο νάτριο).

Στους 80°C περίπου, εμφανίζονται οι πρώτες νιφάδες εξαιτίας της αλλοδομής των πρωτεϊνών του ορού. Στο σημείο αυτό, ξεκινάει η επιβράδυνση του ρυθμού ανάδευσης μέχρι πλήρους διακοπής αυτής, ενώ παράλληλα το σύστημα τυριού-ορού γάλακτος θερμαίνεται μέχρι τους 90°C, όπου και αφήνεται για 20 min, προκειμένου να ολοκληρωθεί η συσσωμάτωση των πρωτεϊνών.



Νωπός Ανθότυρος

Ξηρός Ανθότυρος

**Σχήμα 5.** Διάγραμμα ροής παραγωγής νωπού και ξηρού Ανθότυρου.

Στη συνέχεια το τυρόπηγμα συλλέγεται επιφανειακά με τη βοήθεια διάτρητης σπάτουλας και μεταφέρεται σε καλούπια ανοξείδωτου χάλυβα για να στραγγίσει. Η αποστράγγιση του τυριού Ανθότυρος πραγματοποιείται σε 3-4 ώρες σε θερμοκρασία δωματίου. Αφού ολοκληρωθεί η αποστράγγιση του τυριού, στη συνέχεια ακολουθεί ψύξη του στους 4°C, η οποία διαρκεί όλη τη νύχτα.

Την επόμενη μέρα τα τυριά συσκευάζονται υπό κενό και μπορούν να καταναλωθούν άμεσα, ως νωπός Ανθότυρος. Επίσης, το τυρί αυτό μπορεί να διατεθεί στην αγορά και ως ξηρός Ανθότυρος, ύστερα από μερική αφυδάτωσή του. Η μερική αφυδάτωση του Ανθότυρου προκύπτει με αλάτισμα των τυροκεφαλών, έπειτα από την ολονύχτια ψύξη τους, και παραμονή τους σε αιώρηση σε καλά αεριζόμενα δωμάτια, μέχρις ότου η τελική τους υγρασία σε υγρή βάση φτάσει περίπου στο 40%. Αφού ολοκληρωθεί η μερική αφυδάτωση των τυριών, ακολουθεί η συσκευασία τους και η διάθεσή τους στην αγορά. Ο ξηρός Ανθότυρος μπορεί να καταναλωθεί είτε ως επιτραπέζιο τυρί, είτε ως τυρί για τρίψιμο (Papademas et al., 2018).

### 1.3 Ξήρανση

Η ξήρανση ή αφυδάτωση είναι μια διεργασία, η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ως η καρδιά των λειτουργιών επεξεργασίας σε πολλές βιομηχανίες (Dehnad et al., 2016). Αυτή η διεργασία έχει ποικίλες εφαρμογές στην παραγωγή τροφίμων, ξύλου και χαρτιού, κλωστοϋφαντουργικών, φαρμακευτικών, χημικών και βιολογικών υλικών (Defraeye, 2014; Malekjani and Jafari, 2018). Όμως, τα τρόφιμα και η γεωργία αποτελούν τους κυρίαρχους τομείς όσον αφορά στην κρίσιμη σημασία της ξήρανσης σε αυτές τις βιομηχανίες (Mujumdar, 2010). Πολυάριθμα προϊόντα διατροφής συντηρούνται με ξήρανση, όπως δημητριακά, θαλάσσια προϊόντα, προϊόντα κρέατος, γαλακτοκομικά προϊόντα, καθώς και φρούτα και λαχανικά (Jangam, 2011; Sabarez, 2016).

Ως ξήρανση ή αφυδάτωση ορίζεται η διεργασία απομάκρυνσης ενός υγρού (κυρίως ύδατος) από στερεά σώματα (κυρίως τρόφιμα), προκειμένου να μειωθεί το περιεχόμενο του διαθέσιμου υγρού σε μία αποδεκτή-επιθυμητή τιμή. Η ίδια πραγματοποιείται με ταυτόχρονη μεταφορά θερμότητας και μάζας μεταξύ στερεών σωμάτων και αδρανών αερίων ή κενού, κατά την οποία υπάρχει μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία των στερεών από μια αρχική τιμή σε μια τελική (Κροκίδα κ.α., 2003).

Κατά τη διεργασία της ξήρανσης εκδηλώνονται φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας και μάζας. Η θερμότητα μεταδίδεται λόγω υφισταμένης διαφοράς θερμοκρασίας και η μετάδοση γίνεται από την περιοχή υψηλής θερμοκρασίας προς την περιοχή χαμηλής



θερμοκρασίας. Ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας είναι ανάλογος της διαφοράς θερμοκρασίας και παράλληλα εξαρτάται και από εξωτερικές συνθήκες, όπως η υγρασία αέρα, ο ρυθμός ροής του αέρα στην επιφάνεια έκθεσης και η πίεση (Γιαννιώτης, 2011). Όσον αφορά στη μεταφορά μάζας, κατά την ξήρανση πραγματοποιείται διάχυση της περιεχόμενης υγρασίας του στερεού από το εσωτερικό του προς την επιφάνειά του, λόγω της διαφοράς συγκέντρωσης του νερού στο εσωτερικό και στην επιφάνεια του στερεού. Η μεταφορά μάζας του νερού εξαρτάται από τη φύση του στερεού και τη θερμοκρασία ξήρανσης. Επομένως, ο ρυθμός απομάκρυνσης του νερού από το στερεό (ρυθμός ξήρανσης) επηρεάζεται από παράγοντες που συνδέονται με τις συνθήκες ξήρανσης, με τη φύση του στερεού και με το σχεδιασμό του εξοπλισμού ξήρανσης (ξηραντήρας) (Κουμανδράκη, 2017).

### 1.3.1 Ξήρανση τροφίμων

Η απομάκρυνση της υγρασίας από ένα τρόφιμο είναι μία από τις παλαιότερες μεθόδους συντήρησης. Ο κύριος σκοπός της ξήρανσης ενός τροφίμου είναι να αναστείλει την ανάπτυξη των παθογόνων και αλλοιογόνων μικροοργανισμών, να μειώσει την ενζυμική δραστηριότητα και να ελαχιστοποιήσει την ταχύτητα των χημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται στο εσωτερικό του τροφίμου. Παράλληλα, πρέπει το τρόφιμο να διατηρεί τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά και τη θρεπτική του αξία (Bahmani et al., 2016; Jafari, Ghalegi Ghalehoei, & Dehnad, 2017; Malekjani and Jafari, 2018). Επιπλέον, η ξήρανση μειώνει σημαντικά τη μάζα και τον όγκο του προϊόντος, διευκολύνοντας έτσι την μεταφορά και την αποθήκευσή του. Η μείωση του όγκου του αποξηραμένου προϊόντος οφείλεται στην απομάκρυνση του περιεχόμενου νερού. Η συρρίκνωση είναι ένα συνηθισμένο φαινόμενο, το οποίο συνοδεύει την αφυδάτωση ενός προϊόντος (Σέμπου, 2014). Συχνά, η αφυδάτωση ενός τροφίμου οδηγεί σε ένα προϊόν, το οποίο είναι πιο βολικό για καταναλωτική χρήση (Singh and Heldman, 2014).

Η αφυδάτωση των τροφίμων αποτελεί πρόκληση, καθώς λόγω της δομής τους, η απομάκρυνση της υγρασίας πρέπει να πραγματοποιείται με τέτοιο τρόπο, ο οποίος θα είναι ο λιγότερο καταστρεπτικός για την ποιότητά τους. Αυτό σημαίνει ότι η διεργασία της ξήρανσης πρέπει να οδηγεί στην παραγωγή ενός αφυδατωμένου προϊόντος, το οποίο να μπορεί να επιστραφεί περίπου στην αρχική του ποιότητα ύστερα από ενυδάτωση (Singh and Heldman, 2014).

Η ξήρανση των περισσότερων τροφίμων γίνεται με θέρμανση. Επομένως, η ίδια αποτελεί διεργασία στην οποία πραγματοποιούνται μεταφορά μάζας (νερού) από το τρόφιμο προς το περιβάλλον και μεταφορά θερμότητας από το μέσο θέρμανσης προς το τρόφιμο. Η ξήρανση των τροφίμων πραγματοποιείται σε ξηραντήρες διαφόρων τύπων, στους οποίους ο μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας προς το προϊόν και μεταφοράς μάζας από το προϊόν, διαφέρει (Ταούκης και Ωραιοπούλου, 2009).

Για να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα για αφυδατωμένα τρόφιμα, με καθορισμένη φυσική δομή, η διεργασία πρέπει να παρέχει τη βέλτιστη μεταφορά θερμότητας και μάζας μέσα στο προϊόν. Ο σχεδιασμός αυτών των διεργασιών απαιτεί προσεκτική ανάλυση των φαινομένων μεταφοράς θερμότητας και μάζας μέσα στη δομή του προϊόντος. Μόνο μέσω της ανάλυσης και της κατανόησης των φαινομένων μεταφοράς μπορεί να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση και η βέλτιστη ποιότητα (Singh and Heldman, 2014).

Στην επεξεργασία τροφίμων, η ξήρανση θεωρείται ως μία από τις πιο κρίσιμες πρακτικές που εφαρμόζεται σε διαφορετικούς τύπους προϊόντων διατροφής, τα οποία κυμαίνονται από γεωργικά προϊόντα χαμηλής υγρασίας (π.χ. ρύζι, καλαμπόκι και σιτάρι) έως ενδιάμεσης υγρασίας (π.χ. ζυμαρικά, τσάι και καφές) και προϊόντα υψηλής υγρασίας (γαλακτοκομικά προϊόντα, φρούτα και λαχανικά) (Jafari, Azizi, Mirzaei and Dehnad, 2016; Jafari, Ghanbari, Ganje and Dehnad, 2016; Azizi, Jafari, Mirzaei and Dehnad, 2017).

### 1.3.2 Μέθοδοι ξήρανσης

Σε βιομηχανική κλίμακα, η ξήρανση των τροφίμων μπορεί να πραγματοποιηθεί με ποικίλες διεργασίες ξήρανσης. Κάποιες από αυτές είναι η ξήρανση υπό κατάψυξη, η ξήρανση σε ρεύμα αέρα, η ξήρανση υπό κενό, η ξήρανση με υπερήχους, η ξήρανση με τη βοήθεια μικροκυμάτων, η ξήρανση σε υπερκρίσιμες συνθήκες, το τηγάνισμα, η ξήρανση με ψεκασμό, η ξήρανση χαμηλής πίεσης υπέρθερμου ατμού, κτλ. ή και ο συνδυασμός τους (Alemrajabi et al., 2012; Chakraborty et al., 2011; Dev and Raghavan, 2012; Ferrari et al., 2012; Huang and Zhang, 2012; Huang et al., 2009; Jangam, 2011; Mounir et al., 2012; Zhang et al., 2010). Στόχος όλων των προαναφερθέντων μεθόδων είναι η παραγωγή αφυδατωμένων προϊόντων υψηλής διατροφικής αξίας και λειτουργικότητας (Saravacos, 1967).

Οι διάφορες μέθοδοι ξήρανσης επηρεάζουν, εκτός από τα δομικά χαρακτηριστικά, και άλλες φυσικές, βιολογικές ή χημικές ιδιότητες, όπως είναι η δράση των ενζύμων, η

ανάπτυξη των μικροοργανισμών, η τραγανότητα, η σκληρότητα, το χρώμα, τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά κ.λπ., οι οποίες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ποιότητα, τις ιδιότητες και τη σταθερότητα των τροφίμων (Barbosa-Canovas and Vega-Mercado, 1996). Επιπλέον, οι διάφορες παράμετροι της κάθε μεθόδου ξήρανσης επηρεάζουν το μηχανισμό μεταφοράς υγρασίας και το ρυθμό ξήρανσης και, κατά συνέπεια, τις τελικές ιδιότητες των προϊόντων (Οικονομοπούλου, 2014).

Επομένως, η επιλογή της μεθόδου, ή ο συνδυασμός αυτών, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι: τα χαρακτηριστικά των φρέσκων προϊόντων (φυσικές ιδιότητες, περιεχόμενη υγρασία κ.λπ.), το επιθυμητό τελικό επίπεδο υγρασίας, η ποιότητα και οι ιδιότητες των τελικών προϊόντων, η τελική χρήση των προϊόντων, οι οικονομικές απαιτήσεις και η ενεργειακή κατανάλωση. Καθοριστική σημασία για την επιλογή της μεθόδου ξήρανσης, ή του συνδυασμού αυτών, και των συνθηκών που θα εφαρμοστούν σε κάθε διεργασία ξήρανσης έχουν η ποιότητα και η τελική χρήση των προϊόντων διατροφής (Koc et al., 2008; Rewthong et al., 2011).

#### 1.3.2.1 Ξήρανση σε ρεύμα αέρα

Η μερική αφυδάτωση του Ανθότυρου, όπως αυτή πραγματοποιείται παραδοσιακά, προκύπτει με αλάτισμα των τυροκεφαλών και παραμονή τους σε αιώρηση σε καλά αεριζόμενα δωμάτια, μέχρις ότου η τελική τους υγρασία σε υγρή βάση φτάσει περίπου στο 40% (Moschoroulou and Moatsou, 2016). Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής ήταν η προσομοίωση του παραδοσιακού τρόπου της μερικής αφυδάτωσης του Ανθότυρου, προκειμένου να μελετηθεί η βελτιστοποίηση της διεργασίας της ξήρανσής του. Επομένως, στην εργασία αυτή μελετήθηκε η διεργασία της ξήρανσης του Ανθότυρου σε ρεύμα αέρα, η οποία πραγματοποιήθηκε σε ξηραντήρα κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες.

Η ξήρανση σε ρεύμα αέρα είναι μία διεργασία ταυτόχρονης μεταφοράς θερμότητας, μάζας και ορμής. Στη μέθοδο αυτή εκδηλώνονται δύο φαινόμενα, η θέρμανση του προϊόντος και η μείωση της περιεχόμενης υγρασίας του (Barbosa-Canovas and Vega-Mercado, 1996). Η μείωση της υγρασίας επιτυγχάνεται με την εφαρμογή θερμότητας με ταυτόχρονη ροή αέρα, η οποία παρέχει την απαιτούμενη λανθάνουσα θερμότητα για την εξάτμιση του νερού και απομακρύνει τον παραγόμενο ατμό (Κροκίδα, 1999).

Τα τρόφιμα τα οποία αφυδατώνονται με ξήρανση σε ρεύμα αέρα χαρακτηρίζονται από μεγάλη συρρίκνωση εξαιτίας της διάχυσης του νερού από το κέντρο προς την επιφάνεια του τροφίμου που συμβαίνει εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών. Σε χαμηλές θερμοκρασίες ξήρανσης, ο ρυθμός διάχυσης του νερού από το εσωτερικό προς την

επιφάνεια του υλικού είναι ίσος με το ρυθμό εξάτμισης από την επιφάνεια (Οικονομοπούλου, 2014). Σε υψηλότερες θερμοκρασίες, η υγρασία από την επιφάνεια εξατμίζεται πολύ γρήγορα οδηγώντας στην ανάπτυξη μιας άκαμπτης και σκληρής στρώσης στην επιφάνεια του τροφίμου (επιφανειακή σκλήρυνση). Η στρώση αυτή αποτελεί εμπόδιο στη μεταφορά του νερού στην επιφάνεια και μείωση του ρυθμού ξήρανσης (Γιαννιώτης, 2014).

Η αφυδάτωση των τροφίμων με ξήρανση σε ρεύμα αέρα πραγματοποιείται σε ξηραντήρες που λειτουργούν σε ατμοσφαιρική πίεση. Σε έναν ξηραντήρα ρεύματος αέρα, ο αέρας θερμαίνεται σε εναλλάκτη θερμότητας και ανακυκλοφορεί με τη βοήθεια ανεμιστήρα. Ο θερμός αέρας μεταδίδει στο προϊόν θερμότητα με συναγωγή (Γιαννιώτης, 2014). Παράλληλα, πραγματοποιείται μεταφορά μάζας με διάχυση του περιεχόμενου νερού προς την επιφάνεια του τροφίμου, λόγω διαφοράς συγκέντρωσης του νερού μεταξύ επιφανείας και εσωτερικού (Γιαννιώτης, 2000).

Η ξήρανση σε ρεύμα αέρα είναι μία από τις οικονομικότερες μεθόδους για την αφυδάτωση τροφίμων. Χρησιμοποιείται ευρέως σε βιομηχανική κλίμακα και απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες και μεγάλους χρόνους λειτουργίας.

Η ξήρανση σε ρεύμα αέρα είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος αφυδάτωσης στη βιομηχανία τροφίμων. Οδηγεί στην παραγωγή προϊόντων με αυξημένη διάρκεια ζωής, αλλά η ποιότητά τους είναι χαμηλή σε σύγκριση με το αρχικό τρόφιμο. Τα προϊόντα υφίστανται συρρίκνωση, μεταβολή χρώματος, μειωμένη ικανότητα ενυδάτωσης, αλλά και χημικές μεταβολές (Οικονομοπούλου, 2014).

#### 1.3.2.1.1 Παράμετροι της διεργασίας της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα

Η κινητική της διεργασίας της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του τροφίμου και από τις συνθήκες που χρησιμοποιούνται στο ξηραντήρα. Οι βασικότερες παράμετροι που επιδρούν στη διεργασία της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα είναι η θερμοκρασία, η ταχύτητα του αέρα, το μέγεθος του τροφίμου, η υγρασία του αέρα, ή ο συνδυασμός τους.

Η μεταφορά θερμότητας από το περιβάλλοντα αέρα στο τρόφιμο οφείλεται στη διαφορά της μεταξύ τους θερμοκρασίας. Πιο συγκεκριμένα, αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε αύξηση της μεταφοράς θερμότητας και μάζας και επομένως σε μείωση του χρόνου ξήρανσης (Krokida et al., 2004). Παράλληλα, η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσει σε υποβάθμιση των ποιοτικών και διατροφικών χαρακτηριστικών των

τροφίμων (Praveen Kumar et al., 2005). Επομένως, η τελική ποιότητα του προϊόντος είναι αυτή που καθορίζει τη θερμοκρασία λειτουργίας του ξηραντήρα (Οικονομοπούλου, 2014).

Η αυξημένη ταχύτητα του αέρα κατά τη διάρκεια της ξήρανσης οδηγεί σε αύξηση των συντελεστών μεταφοράς θερμότητας και μάζας μεταξύ του τροφίμου και του θερμού ρεύματος αέρα. Αυτό έχει τελικά σαν αποτέλεσμα, η αύξηση της ταχύτητας του αέρα να οδηγεί σε μείωση του απαιτούμενου χρόνου ξήρανσης (Kaya et al., 2007).

Κατά τη διάρκεια της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα, η υγρασία του τροφίμου μεταφέρεται από το εσωτερικό του προς την εξωτερική του επιφάνεια. Επομένως, το μέγεθος του τροφίμου (πάχος) επιδρά αρνητικά στη διάχυση της υγρασίας, με αποτέλεσμα μεγαλύτερο πάχος τροφίμου να απαιτεί μεγαλύτερο χρόνο ξήρανσης (Krokida et al., 2004).

Η μείωση της υγρασίας του αέρα, ειδικότερα σε υψηλότερες θερμοκρασίες ξήρανσης, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση του απαιτούμενου χρόνου ξήρανσης. Ωστόσο, η επίδραση της υγρασίας του αέρα είναι λιγότερο σημαντική παράμετρος από την επίδραση της θερμοκρασίας και της ταχύτητας του αέρα (Sturm et al., 2012).

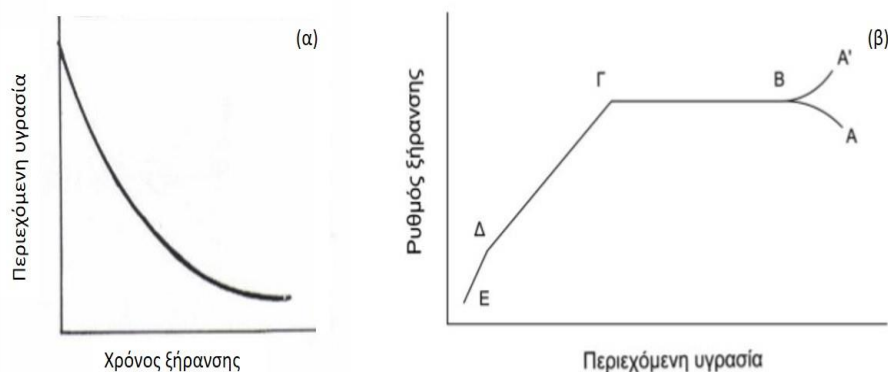
### 1.3.3 Μαθηματική μοντελοποίηση της ξήρανσης

Η συμπεριφορά ενός προϊόντος κατά την ξήρανση μελετάται με πειράματα ξήρανσης τα οποία συνήθως γίνονται σε ένα πειραματικό ξηραντήριο κάτω από σταθερές συνθήκες ταχύτητας, θερμοκρασίας και υγρασίας του αέρα (Γιαννιώτης, 2014).

#### 1.3.3.1 Καμπύλες ξήρανσης – Ρυθμός ξήρανσης

Οι καμπύλες ξήρανσης κατασκευάζονται με βάση πειραματικά δεδομένα υγρασίας-χρόνου που λαμβάνονται κατά την ξήρανση των τροφίμων συνήθως σε ρεύμα αέρα. Κατά την ξήρανση προσδιορίζεται η υγρασία του τροφίμου, εκφρασμένη συνήθως σε ξηρή βάση, σε διάφορες χρονικές στιγμές, και η υγρασία ισορροπίας. Η υγρασία ισορροπίας είναι η ελάχιστη υγρασία στο τρόφιμο, η οποία παραμένει πρακτικά σταθερή από κάποια χρονική στιγμή μέχρι το πέρας της ξήρανσης για τις συγκεκριμένες συνθήκες ξήρανσης (θερμοκρασία, πίεση και σχετική υγρασία αέρα ξήρανσης) (Σέμπου, 2014; Κατσαλήρου, 2017). Με βάση αυτά τα δεδομένα κατασκευάζεται η καμπύλη ξήρανσης με τεταγμένη την υγρασία του τροφίμου ή την ελεύθερη υγρασία αυτού και τεταγμένη το χρόνο ξήρανσης. Με αριθμητική διαφόρηση των πειραματικών δεδομένων προκύπτει ο ρυθμός ξήρανσης δηλαδή η μεταβολή της υγρασίας ως προς το χρόνο ξήρανσης και η καμπύλη του ρυθμού

ξήρανσης δίνει το ρυθμό ξήρανσης ως συνάρτηση της υγρασίας ή της ελεύθερης υγρασίας. Τυπικές μορφές αυτών των καμπυλών δίνονται στο Σχήμα 6.



**Σχήμα 6.** Καμπύλες ξήρανσης (α) και ρυθμού ξήρανσης (β) (Ταούκης και Ωραιοπούλου, 2009).

Στο Σχήμα 6.β φαίνεται ο αρχικός σταθερός ρυθμός ξήρανσης (BΓ) που ακολουθούν τα περισσότερα προϊόντα, ακολουθούμενος από μειωνόμενο ρυθμό ξήρανσης (ΓΕ). Το σημείο Γ, στο οποίο παρατηρείται αυτή η μεταβολή του ρυθμού ξήρανσης, καλείται κρίσιμη περιεκτικότητα σε υγρασία. Η καμπύλη του ρυθμού ξήρανσης μπορεί να εμφανίσει ένα αρχικό τμήμα αυξανόμενου ρυθμού εάν το προϊόν εισέρθει στον ξηραντήρα σε χαμηλή θερμοκρασία. Όσο η υγρασία πλησιάζει προς την υγρασία ισορροπίας του προϊόντος ο ρυθμός ξήρανσης μειώνεται περισσότερο τείνοντας στην τιμή 0 (Ταούκης και Ωραιοπούλου, 2009). Κατά τη διάρκεια της διεργασίας ξήρανσης διακρίνονται τα εξής στάδια (Σχήμα 6.β) (Barbosa-Canovas and Vega-Mercado, 1996; Van Brakel, 1979; Κροκίδα, 1999; Ταούκης και Ωραιοπούλου, 2009):

- Στάδιο προσαρμογής (AB, A'B), κατά το οποίο η επιφάνεια των προϊόντων εξισορροπεί προς τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του αέρα.
- Στάδιο σταθερού ρυθμού (BΓ), κατά το οποίο απομακρύνεται το μη δεσμευμένο νερό. Η επιφάνεια των προϊόντων παραμένει κορεσμένη με νερό, καθώς η διάχυση του νερού από το εσωτερικό προς την επιφάνεια πραγματοποιείται με ρυθμό ίσο ή μεγαλύτερο από το ρυθμό εξάτμισης από την επιφάνεια. Η ροή υγρασίας επηρεάζεται μόνο από τις εξωτερικές συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και ταχύτητας του αέρα, προκαλώντας ένα σταθερό ρυθμό απομάκρυνσης της υγρασίας (Barbosa-Canovas and Vega-Mercado, 1996; Van Brakel, 1979; Κροκίδα, 1999).
- Στάδιο ελαττούμενου ρυθμού (ΓΕ), κατά το οποίο η μεταφορά υγρασίας προς την επιφάνεια του τροφίμου είναι το ελέγχον στάδιο, καθώς η ταχύτητα μεταφοράς της

υγρασίας από το εσωτερικό προς την επιφάνεια των προϊόντων είναι μικρότερη από την ταχύτητα εξάτμισης από την επιφάνεια, και η επιφάνεια δεν είναι πια κορεσμένη με νερό. Ο ρυθμός ξήρανσης μειώνεται καθώς το ποσοστό της κορεσμένης επιφάνειας μειώνεται. Το στάδιο αυτό χωρίζεται περαιτέρω σε δύο φάσεις, στην πρώτη (ΓΔ) η ξήρανση πραγματοποιείται μέχρι να εξαφανιστούν όλες οι υγρές περιοχές από την επιφάνεια, ενώ η δεύτερη (ΔΕ) ξεκινά όταν η επιφάνεια είναι τελείως ξηρή. Κατά την πρώτη φάση του ελαττούμενου ρυθμού, η διάχυση πραγματοποιείται με υψηλότερο ρυθμό, ενώ στη δεύτερη φάση οι συντελεστές διάχυσης είναι αρκετά χαμηλότεροι. Η μεταφορά υγρασίας από το εσωτερικό προς την επιφάνεια του τροφίμου γίνεται με διάφορους μηχανισμούς οι κυριότεροι των οποίων είναι η μοριακή διάχυση και η ροή δια τριχοειδών αγωγών (Ταούκης και Ωραιοπούλου, 2009).

### 1.3.3.2 Μηχανισμός διάχυσης

Κατά την ξήρανση των τροφίμων, η απομάκρυνση του νερού από ένα τρόφιμο επιτυγχάνεται μέσω της εκδήλωσης δύο φαινομένων. Το πρώτο φαινόμενο είναι αυτό της διάχυσης του νερού από το εσωτερικό του τροφίμου μέχρι την επιφάνειά του και το δεύτερο η απομάκρυνση του νερού αυτού, με τη μορφή υδρατμών πλέον, στον αέρα, μέσω του φαινομένου της συναγωγής.

Με τον όρο διάχυση γίνεται αναφορά στην αυθόρμητη ανάμιξη ατόμων ή μορίων εξαιτίας της ελεύθερης κίνησής τους, χωρίς να παρατηρείται απαραίτητα και μακροσκοπική ροή μάζας. Απουσία άλλων μεταβολών (θερμοκρασίας, ηλεκτρικού δυναμικού ή βαρυτικού δυναμικού), τα μόρια ορισμένου χημικού είδους διαχέονται από περιοχές μεγαλύτερης συγκέντρωσης σε περιοχές μικρότερης. Η διάχυση περιγράφεται από τον Νόμο του Fick (Fogler, 2009):

$$J = -D \frac{dC}{dx} \quad (1)$$

όπου:

$J$  η ροή των μορίων, μόρια/m<sup>2</sup>s

$D$  ο συντελεστής διάχυσης, m<sup>2</sup>/s

$dC$  η μεταβολή της συγκέντρωσης του διαχεόμενου συστατικού προς μια διεύθυνση  $x$ , μόρια/m<sup>3</sup>.

Προκειμένου να επιλυθεί ένα πρόβλημα μεταφοράς μάζας πρέπει πρώτα να προσδιοριστεί ο συντελεστής διάχυσης, ο οποίος προσδιορίζεται πειραματικά και εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την πίεση και τη σύσταση του εξεταζόμενου μίγματος (Λυγερού κ.α., 2005).

### 1.3.3.3 Υπολογισμός παραμέτρων της ξήρανσης με χρήση μαθηματικών μοντέλων

Κατά τη διεργασία της ξήρανσης, πραγματοποιείται μεταφορά μάζας με διάχυση σε μη σταθερή κατάσταση, καθώς η συγκέντρωση στο σώμα μεταβάλλεται με το χρόνο. Σε αυτή την περίπτωση, τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας προσεγγίζονται από το 2<sup>ο</sup> νόμο διάχυσης του Fick, ο οποίος περιγράφει τη διάχυση της υγρασίας προς την εξωτερική επιφάνεια του στερεού λόγω διαφοράς συγκέντρωσης. Σε αυτή την περίπτωση η εξίσωση του Fick είναι η ακόλουθη (Γιαννιώτης, 2000; Yanniotis, 2008):

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D \frac{\partial^2 M}{\partial R^2} \quad (2)$$

όπου:

$M$  η υγρασία σε ξηρή βάση, kg νερού/ kg Ξηρής Ουσίας (Ξ.Ο.)

$D$  ο συντελεστής διάχυσης, m<sup>2</sup>/s

$R$  η χαρακτηριστική απόσταση της διάχυσης, m

$t$  ο χρόνος, s.

Οι αρχικές και οι οριακές συνθήκες που εφαρμόζονται στην περίπτωση αυτή για τη λύση της Εξ. (2) και, κατά συνέπεια, για τον προσδιορισμό του συντελεστή διάχυσης κατά τη ξήρανση στερεού σφαιρικού σχήματος είναι οι παρακάτω.

Αρχική Συνθήκη: Η υγρασία είναι ομοιόμορφα κατανομημένη σε όλο το στερεό κατά την έναρξη της περιόδου για την οποία γίνονται οι υπολογισμοί.

$$M(t = 0, r) = M_0 \quad (3)$$

Οριακές Συνθήκες: Η υγρασία στην επιφάνεια του στερεού γίνεται αμέσως ίση με την υγρασία του περιβάλλοντος, (η κύρια αντίσταση στη μεταφορά μάζας είναι στο εσωτερικό του προϊόντος, ενώ η εξωτερική αντίσταση θεωρείται αμελητέα).

$$M(t, r = 0) = M_\infty \quad (4)$$

$$M(t, r = R) = M_\infty \quad (5)$$



Επιπλέον, θεωρείται η παραδοχή ότι ο συντελεστής διάχυσης είναι σταθερός.

Επομένως, η λύση της παραπάνω Εξ. (2) για στερεό σφαιρικού σχήματος, σύμφωνα με την οποία υπολογίζεται ο συντελεστής διάχυσης, είναι η εξής (Yanniotis, 2008):

$$\frac{M_e - M_m}{M_e - M_o} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} e^{-n^2 \pi^2 \frac{Dt}{R^2}} \quad (6)$$

όπου:

$M_o$  η αρχική υγρασία σε ξηρή βάση, kg νερού/ kg Ξ.Ο.

$M_m$  η μέση υγρασία σε ξηρή βάση στο χρόνο t, kg νερού/ kg Ξ.Ο.

$M_e$  η υγρασία σε ξηρή βάση σε ισορροπία, kg νερού/ kg Ξ.Ο.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι για τιμές του  $F_o \geq 0.2$ , η μέση υγρασία μπορεί να προσεγγιστεί χωρίς σημαντικό σφάλμα χρησιμοποιώντας μόνο τον πρώτο όρο της σειράς της Εξ. (6) (Γιαννιώτης, 2000; Yanniotis, 2008), η λυμένη εξίσωση του Fick, για  $n = 1$ , μετατρέπεται ως εξής:

$$\frac{M_e - M_m}{M_e - M_o} = \frac{6}{\pi^2} e^{-\pi^2 \frac{Dt}{R^2}} \quad (7)$$

Σύμφωνα με την Εξ. (7) και λαμβάνοντας υπόψη τα πειραματικά δεδομένα για την ξήρανση του Ανθότυρου κατασκευάζονται Σχήματα με τεταγμένη το λόγο  $\frac{M_e - M_m}{M_e - M_o}$  και τετημημένη το χρόνο ξήρανσης t (h). Για κάθε σειρά δεδομένων προσαρμόζεται η βέλτιστη εκθετική εξίσωση. Εξισώνοντας το συντελεστή του εκθέτη της βέλτιστης εκθετικής εξίσωσης με το συντελεστή του εκθέτη της Εξ. (7) και λύνοντας την εξίσωση αυτή ως προς D υπολογίζεται ο συντελεστής διάχυσης για κάθε σειρά δεδομένων.

Συχνά η εξάρτηση του συντελεστή διάχυσης από τη θερμοκρασία περιγράφεται μέσω της εκθετικής εξίσωσης Arrhenius:

$$D = D_o e^{\left(-\frac{E_a}{RT}\right)} \quad (8)$$

όπου:

$D_o$  η τιμή του συντελεστή διάχυσης για  $T = 0K$ ,  $m^2/s$

$E_a$  η ενέργεια ενεργοποίησης, J/mol

$R$  η παγκόσμια σταθερά αερίων, 8.314 J/molK

$T$  η θερμοκρασία, K.

Η Εξ. (8) μπορεί να μετασχηματιστεί, εισάγοντας την παράμετρο της θερμοκρασίας αναφοράς  $T_{ref}$ . Έτσι προκύπτει η παρακάτω εξίσωση:

$$D = D_{ref} e^{-\frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right)} \quad (9)$$

$$\ln D = \ln D_{ref} - \frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \quad (10)$$

όπου:

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

#### 1.3.3.4 Συρρίκνωση

Η απομάκρυνση της υγρασίας από ένα τρόφιμο προκαλεί ακαμψία στην εξωτερική επιφάνεια, ενώ δημιουργεί δυναμικό υγρασίας το οποίο οδηγεί στην ανάπτυξη εσωτερικών τάσεων που προκαλούν αλλαγή της μικροδομής (π.χ. σχηματισμός πόρων) και συρρίκνωση. Η έκταση της συρρίκνωσης εξαρτάται από τη μέθοδο ξήρανσης και τις συνθήκες ξήρανσης, οι οποίες εφαρμόζονται στο τρόφιμο (Lewicki and Pawlak, 2003).

Η συρρίκνωση των τροφίμων επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα των τελικών προϊόντων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα συρρικνωμένα προϊόντα χαρακτηρίζονται από αυξημένη σκληρότητα, μειωμένη ικανότητα ενυδάτωσης και κακή εμφάνιση και ποιότητα που τα διαφοροποιεί από το φρέσκο τρόφιμο (Roos, 1995). Η συρρίκνωση διεξάγεται ταυτόχρονα με τη διάχυση της υγρασίας, επηρεάζοντας το ρυθμό απομάκρυνσης της υγρασίας. Τόσο η ογκομετρική (Lozano et al., 1983) όσο και η διαστασιακή συρρίκνωση (Rahman and Potluri, 1990) εξαρτώνται από την περιεκτικότητα σε υγρασία. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του νερού που απομακρύνεται, τόσο μεγαλύτερη είναι η συρρίκνωση που υφίσταται το προϊόν. Η συρρίκνωση, σε αντίθεση με το συντελεστή διάχυσης, ο οποίος είναι ισχυρά θερμοκρασιακά εξαρτώμενος, εξαρτάται μόνο από την περιεχόμενη υγρασία και όχι από τη θερμοκρασία (Οικονομοπούλου, 2014).

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα πειράματα της παρούσας μελέτης σχεδιάστηκαν και πραγματοποιήθηκαν σε δύο Θεματικές Ενότητες. Κατά την Πρώτη Θεματική Ενότητα μελετήθηκε η κινητική της ξήρανσης σε δείγματα Ανθότυρου σφαιρικού σχήματος. Για τη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκε το Ανθότυρο «Ανθοτυράκι Αμφιλοχίας» της εταιρείας ΤΥΡΟΚ. ΑΜ. (ΜΠΟΥΤΣΩΛΗΣ) Α.Β.Ε.Ε. Κατά τη Δεύτερη Θεματική Ενότητα πραγματοποιήθηκε ξήρανση σε ρεύμα αέρα σε ολόκληρα κεφάλια Ανθότυρου. Η παραγωγή αυτών των δειγμάτων Ανθότυρου πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με εργοστάσιο παραγωγής τυριών τυρογάλακτος (Λουκάς & Υιός ΟΕ, Θήβα) κατά την περίοδο του Νοεμβρίου 2018. Τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο μετά την ολοκλήρωση της παρασκευής και της συσκευασίας.

### 2.1 Γενική περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας

Κατά την Πρώτη Θεματική Ενότητα πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της κινητικής της ξήρανσης του Ανθότυρου. Δηλαδή, μελετήθηκε η επίδραση διαφόρων θερμοκρασιών ξήρανσης υπό αέρα (25, 45 και 65°C) στη μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας του Ανθότυρου σε σχέση με το χρόνο και προσδιορίστηκαν οι αντίστοιχοι συντελεστές διάχυσης. Για το σκοπό αυτό, αρχικά πραγματοποιήθηκε η προετοιμασία των δειγμάτων, η οποία περιλάμβανε το ζύγισμα συγκεκριμένης ποσότητας τυριού (23 g) και το σχηματισμό δειγμάτων δεδομένου σχήματος και διαστάσεων (σφαίρα ακτίνας 0.02 m). Στη συνέχεια τα δείγματα τοποθετούνταν αιωρούμενα σε ξηραντήρα με ρεύμα αέρα (Memmert BE 400, Memmert GmbH + Co. KG, Schwabach, Germany) σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (25, 45 και 65°C), υπό σταθερή ταχύτητα αέρα, και, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, πραγματοποιούνταν δειγματοληψία μέχρι να σταθεροποιηθεί το βάρος των δειγμάτων (Σχήμα 7). Για την ξήρανση του Ανθότυρου στους 25°C προετοιμάστηκαν 18 σφαιρικά δείγματα και για την ξήρανση στους 45 και 65°C προετοιμάστηκαν αντίστοιχα 14 και 16 σφαιρικά δείγματα Ανθότυρου. Η δειγματοληψία περιλάμβανε το ζύγισμα των δειγμάτων, με σκοπό τον προσδιορισμό της εναπομένουσας υγρασίας τους σε ξηρή και υγρή βάση, τη μέτρηση της ενεργότητας νερού και τη μέτρηση του χρώματος των δειγμάτων τυριού.



**Σχήμα 7.** Σφαιρικά δείγματα Ανθότυρου τοποθετημένα αιωρούμενα σε ξηραντήρα με ρεύμα αέρα (Memmert BE 400, Memmert GmbH + Co. KG, Schwabach, Germany).

Κατά τη Δεύτερη Θεματική Ενότητα πραγματοποιήθηκε ξήρανση σε ρεύμα αέρα, στους 25°C, σε ολόκληρα κεφάλια Ανθότυρου. Σκοπός της Ενότητας αυτής ήταν η μελέτη της επίδρασης της συγκεκριμένης διεργασίας στα φυσικοχημικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των τυροκεφαλών. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκαν δύο ειδών δείγματα. Η πρώτη σειρά δειγμάτων αποτελούνταν από 6 κεφάλια Ανθότυρου σχήματος κόλουρου κώνου, τα οποία είχαν αρχικό βάρος 1300-1400 g με αρχική υγρασία σε υγρή βάση 75-77%. Η δεύτερη σειρά δειγμάτων αποτελούνταν από 4 κεφάλια κυλινδρικού σχήματος, τα οποία είχαν αρχικό βάρος 450-550 g με αρχική υγρασία σε υγρή βάση 65-68%. Αρχικά, τα δείγματα τοποθετούνταν σε ξηραντήρα με ρεύμα αέρα (Memmert BE 400, Memmert GmbH + Co. KG, Schwabach, Germany) στους 25°C, υπό σταθερή ταχύτητα αέρα, και αφήνονταν να ξηρανθούν μέχρι τη χρονική στιγμή, που πραγματοποιούνταν η δειγματοληψία. Στα κεφάλια Ανθότυρου σχήματος κόλουρου κώνου πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία μετά από 120 h (5 d), ενώ στα κεφάλια Ανθότυρου κυλινδρικού σχήματος μετά από 72 h (3 d). Η δειγματοληψία των τυριών πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις οδηγίες δειγματοληψίας για τα γαλακτοκομικά προϊόντα που έχει θεσπίσει η Διεθνής Ομοσπονδία Γάλακτος (International Dairy Federation, IDF) (ISO 707, IDF 50, 2008). Μετά το πέρας της ξήρανσης πραγματοποιούνταν το ζύγισμα των τυροκεφαλών, με σκοπό

τον υπολογισμό της απώλειας υγρασίας, κατά τη διεργασία της ξήρανσης. Έπειτα, λαμβανόταν δείγμα από κάθε κεφάλι Ανθότυρου, προκειμένου να προσδιοριστεί η ξηρά ουσία/ εναπομένουσα υγρασία του σε ξηρή βάση, (σύμφωνα με τις οδηγίες του προτύπου ISO 5534, IDF 4, 2004), και να προσδιοριστεί η γενική σύστασή του. Παράλληλα, πραγματοποιούνταν μετρήσεις της ενεργότητας νερού, της σκληρότητας και του χρώματος των κεφαλιών και προσδιορίστηκε ο βαθμός συρρίκνωσής τους.

## 2.2 Μέθοδοι προσδιορισμού φυσικοχημικών και ποιοτικών παραμέτρων

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, κατά τη διάρκεια της ξήρανσης και με την ολοκλήρωσή της λαμβάνονταν δείγματα Ανθότυρου με σκοπό την παρατήρηση των αλλαγών επιλεγμένων φυσικοχημικών και ποιοτικών παραμέτρων τους. Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των χαρακτηριστικών που προσδιορίστηκαν και των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν.

### 2.2.1 Προσδιορισμός της υγρασίας σε ξηρή και υγρή βάση

Η μέθοδος, που χρησιμοποιήθηκε έτσι ώστε να προσδιοριστεί η υγρασία σε ξηρή και υγρή βάση στα δείγματα Ανθότυρου, βασίστηκε στη μέθοδο προσδιορισμού των περιεχόμενων στο Ανθότυρο ολικών στερεών, όπως αυτή περιγράφεται στο πρότυπο ISO 5534, IDF 4 (2004). Σύμφωνα με το προαναφερθέν πρότυπο, σε κάθε πορσελάνινη κάψα, που χρησιμοποιούνται, τοποθετούνταν μια γυάλινη ράβδος και περίπου 10 g αλάτι. Στη συνέχεια οι κάψες τοποθετούνταν στον κλίβανο, στους 105°C, για 24 ώρες. Μετά από 24 ώρες, οι κάψες τοποθετούνταν σε ξηραντήριο μέχρι να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος. Έπειτα, τοποθετούνταν 3 g Ανθότυρου (βάρος νωπού προϊόντος) σε κάθε κάψα και αναμειγνύονταν με το αλάτι με τη βοήθεια της γυάλινης ράβδου, ώστε να γίνει ένα ομοιογενές μείγμα. Στη συνέχεια, η κάθε κάψα ζυγίζόταν σε αναλυτικό ζυγό και όλες τοποθετούνταν στον κλίβανο, στους 105°C, για 24 ώρες (μέχρι σταθερού βάρους). Μετά από την παραμονή τους στον κλίβανο, οι ίδιες τοποθετούνταν σε ξηραντήριο, όπου αφήνονταν μέχρι να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στη συνέχεια οι κάψες ζυγίζονταν σε αναλυτικό ζυγό. Από την αναγραφόμενη ένδειξη του αναλυτικού ζυγού αφαιρούνταν το καθαρό βάρος της κάψας, της ράβδου και του άλατος και προέκυπτε το καθαρό βάρος του εντελώς αποξηραμένου προϊόντος. Επομένως, η υγρασία σε ξηρή και υγρή βάση υπολογίστηκε σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους αντίστοιχα:

$$M = \frac{(B-B_s)}{B_s} \frac{\text{kg νερού}}{\text{kg Ξ.Ο.}} \quad (11)$$

όπου:

$M$  η υγρασία σε ξηρή βάση, kg νερού/kg Ξ.Ο.

$B$  το ολικό βάρος του προϊόντος (βάρος νωπού προϊόντος), kg

$B_s$  το βάρος του εντελώς αποξηραμένου προϊόντος (βάρος στερεών), kg

και:

$$X = \frac{M}{1+M} \quad (12)$$

όπου:

$X$  η υγρασία σε υγρή βάση.

Με την ίδια μέθοδο προσδιορίστηκε και η υγρασία ισορροπίας, αφού πρώτα είχε ολοκληρωθεί η διεργασία της ξήρανσης. Σε κάθε δειγματοληψία πραγματοποιήθηκαν δύο επαναλήψεις.

#### 2.2.2 Προσδιορισμός της ενεργότητας νερού ( $a_w$ )

Η μέτρηση της ενεργότητας νερού ( $a_w$ ) έγινε με το όργανο μέτρησης ενεργότητας Hygrolab C1 (Rotronic AG, Bassersdorf, Schweiz) (Σχήμα 8). Μετά τη βαθμονόμηση, μία ποσότητα δείγματος τυριού τοποθετούνταν στις ειδικές πλαστικές θήκες που εισάγονταν στο όργανο. Μετά την εισαγωγή των θηκών στο όργανο, προσδιοριζόταν η τιμή της ενεργότητας νερού ( $a_w$ ) του τυριού. Η τιμή, που προσδιόριζε το όργανο μέτρησης της ενεργότητας, ήταν η υγρασία του κενού χώρου επάνω από την επιφάνεια του τυριού, εφόσον είχε επιτευχθεί ισορροπία μεταξύ της ενεργότητας νερού του δείγματος και της ενεργότητας νερού του αέρα. Σε κάθε δειγματοληψία πραγματοποιήθηκαν δύο επαναλήψεις.



**Σχήμα 8.** Hygrolab C1 (Rotronic AG, Bassersdorf, Schweiz).

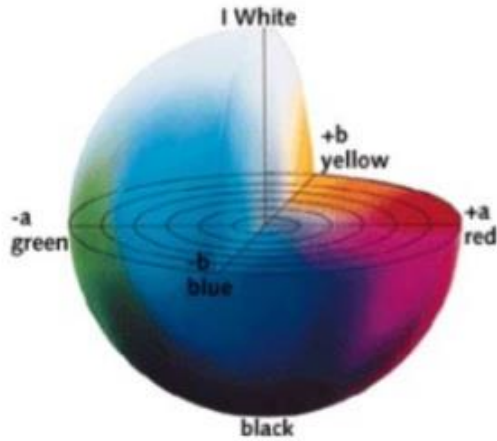
### 2.2.3 Προσδιορισμός του χρώματος

Το χρώμα του ανθότυρου μετρήθηκε με χρωματόμετρο χειρός NS800 Spectrophotometer (3nh, Shenzhen, China) (Σχήμα 9). Η βαθμονόμηση του οργάνου γινόταν με χρήση λευκής και μαύρης πλάκας αναφοράς πριν από κάθε μέτρηση.



**Σχήμα 9.** NS800 Spectrophotometer (3nh, Shenzhen, China).

Για τον προσδιορισμό του χρώματος χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα CIELab (HunterLab, 1996). Οι τιμές  $a$ ,  $b$  είναι οι ορθογώνιες συντεταγμένες του χρώματος (συχνά ονομάζονται και χρωματικότητα) πάνω στο επίπεδο διατομής του χρώματος, κάθετο άξονα μαύρου-άσπρου. Εάν το δείγμα έχει μηδενική τιμή για τα  $a$ ,  $b$  πρέπει να βρίσκεται πάνω στον άξονα μαύρου-άσπρου, δηλαδή να έχει κάποια απόχρωση του γκρι. Η τιμή του  $L$  αντιστοιχεί στη φωτεινότητα του χρώματος με τιμές που κυμαίνονται από το 0 (μαύρο) έως το 100 (λευκό), η τιμή του  $a$  στη διαβάθμιση του χρώματος από κόκκινο έως πράσινο, και η τιμή του  $b$  στη διαβάθμιση του χρώματος από κίτρινο έως μπλε. Αρνητικές τιμές του  $a$  αντιστοιχούν στο πράσινο χρώμα, ενώ οι θετικές τιμές στο κόκκινο. Αντίστοιχα, οι αρνητικές τιμές του  $b$  αντιστοιχούν στο μπλε χρώμα, ενώ οι θετικές τιμές στο κίτρινο (Σχήμα 10) (McGuire, 1992; HunterLab, 1996).



**Σχήμα 10.** Συντεταγμένες  $L, a, b$  του χρώματος σε κλίμακα CIE ( $L, a, b$ ).

Υπολογίζοντας την τιμή του κορεσμού χρώματος (χρωματική πυκνότητα) (Chroma) μέσω της Εξ. (13):

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (13)$$

μπορεί να προσδιοριστεί η συγκέντρωση, δηλαδή η ένταση ή η καθαρότητα, του χρώματος του Ανθότυρου. Πιο συγκεκριμένα, αύξηση στην τιμή  $C$  αντιστοιχεί σε εντονότερο χρώμα. Η παράμετρος  $E$  υπολογίζεται από την Εξ. (14):

$$E = \sqrt{L^2 + a^2 + b^2} \quad (14)$$

και συμβολίζει το ολικό χρώμα του δείγματος. Οι παράμετροι αυτές επιτρέπουν τον υπολογισμό των διαφορών των τιμών κορεσμού ( $\Delta C$ ) και της ολικής μεταβολής του χρώματος ( $\Delta E$ ), που δίνονται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\Delta C = \sqrt{(a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (15)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (16)$$

όπου:

$L_0, a_0$  και  $b_0$  οι τιμές των συντεταγμένων  $L, a, b$  του χρώματος σε κλίμακα CIE σε χρόνο  $t = 0h$

Για τη μέτρηση του χρώματος του Ανθότυρου, σε κάθε δειγματοληψία χρησιμοποιήθηκαν δύο δείγματα στα οποία μετρήθηκε το εξωτερικό και το εσωτερικό



χρώμα με την εφαρμογή του χρωματόμετρου στην αντίστοιχη επιφάνεια του δείγματος. Ως εξωτερικό χρώμα θεωρήθηκε το χρώμα της εκτεθειμένης στην ξήρανση σε ρεύμα αέρα επιφάνειας, ενώ εσωτερικό χρώμα θεωρήθηκε το χρώμα στο κέντρο του κάθε δείγματος.

#### 2.2.4 Προσδιορισμός της υφής

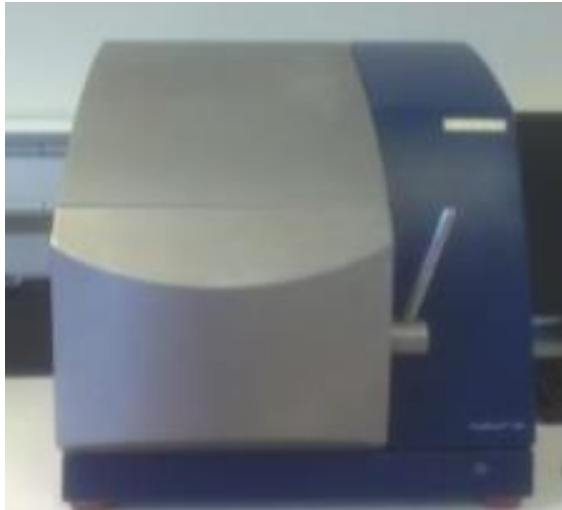
Για τον προσδιορισμό της υφής μετρήθηκε η σκληρότητα των δειγμάτων Ανθότυρου. Η σκληρότητα του Ανθότυρου εκτιμήθηκε με τη βοήθεια του οργάνου Instron 1011 (Instron, Norwood, US) (Σχήμα 11). Με τη βοήθεια μεταλλικής πλάκας το δείγμα παρέμενε ακινητοποιημένο, σε θέση ώστε το έμβολο (διάμετρος 6x6 mm) του μηχανήματος να εισχωρήσει στο κέντρο του, 20 mm κάτω από την επιφάνεια του τυριού, με ταχύτητα 25 mm/min. Η ένδειξη δύναμης του οργάνου (Newton=N), η οποία αντιπροσωπεύει τη σκληρότητα, εκφράζει την αντίσταση του Ανθότυρου στη συμπίεση του εμβόλου.



**Σχήμα 11.** Instron 1011, Instron, Norwood, US.

#### 2.2.5 Προσδιορισμός της γενικής σύστασης του Ανθότυρου

Οι μετρήσεις των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών (λίπος, πρωτεΐνη, υγρασία) του Ανθότυρου πραγματοποιήθηκαν με υπέρυθρη φασματοσκοπία με το όργανο Foodscan (FOSS, Hilleroed, Denmark) (Σχήμα 12).



**Σχήμα 12.** Foodscan, FOSS, Hilleroed, Denmark.

Το τριμμένο δείγμα του κάθε Ανθότυρου τοποθετούνταν σε τρυβλία Petri, τα οποία εισάγονταν χωρίς το καπάκι στη συσκευή Foodscan με σκοπό τον προσδιορισμό της γενικής σύστασης. Για να πραγματοποιηθεί η μέτρηση πρέπει η θερμοκρασία του δείγματος ανθότυρου, που εξετάζεται, να είναι 5-30°C και το δείγμα να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο στο τρυβλίο Petri, ενώ παράλληλα να μην χάνεται υγρασία. Το λαμβανόμενο δείγμα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό και να ικανοποιεί τα επιτρεπτά όρια λίπους, πρωτεΐνης, υγρασίας και αλατιού που έχουν καθιερωθεί για τη συγκεκριμένη συσκευή.

#### 2.2.6 Προσδιορισμός της συρρίκνωσης

Ο προσδιορισμός των υψών και των διαμέτρων των κεφαλιών Ανθότυρου πραγματοποιήθηκε την ίδια μέρα που τα κεφάλια τοποθετήθηκαν στον κλίβανο ξήρανσης και αφού ολοκληρώθηκε η ξήρανσή τους. Η συρρίκνωση εκφράζεται ως αδιάστατο μέγεθος από την Εξ. (17):

$$S = \frac{V_f}{V_o} \quad (17)$$

όπου:

$V_o$  είναι ο αρχικός όγκος,  $m^3$

$V_f$  είναι ο τελικός όγκος του δείγματος,  $m^3$

Ο όγκος των κεφαλιών Ανθότυρου σχήματος κόλουρου κώνου υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξ. (18):

$$V = \frac{1}{3}\pi h(r_1^2 + r_2^2 + r_1 r_2) \quad (18)$$

όπου:

$h$  το ύψος των τυροκεφαλών, m

$r_1$  η ακτίνα της μικρής βάσης, m

$r_2$  η ακτίνα της μεγάλης βάσης, m

Ο όγκος των κεφαλιών Ανθότυρου κυλινδρικού σχήματος υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξ. (19):

$$V = \pi h r^2 \quad (19)$$

όπου:

$h$  το ύψος των τυροκεφαλών, m

$r$  η ακτίνα της βάσης, m

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

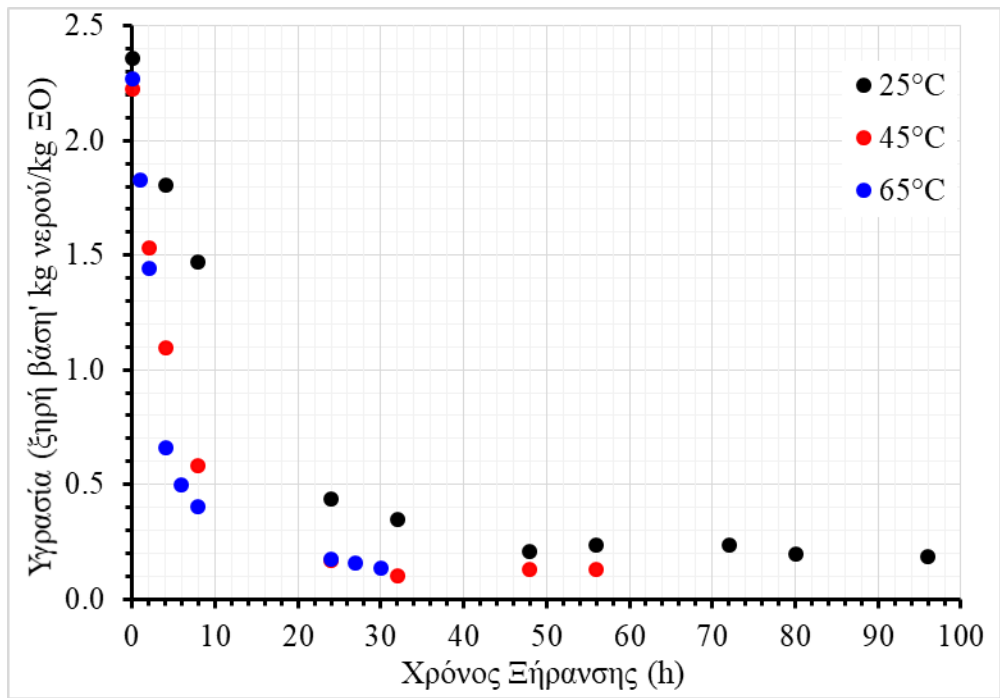
Όπως αναφέρθηκε η διεξαγωγή των πειραμάτων πραγματοποιήθηκε σε δύο ενότητες. Κατά την Πρώτη Θεματική Ενότητα διερευνήθηκε η κινητική της ξήρανσης σε σφαιρικά δείγματα Ανθότυρου (ακτίνας 0.02 m) και προσδιορίστηκαν οι αντίστοιχοι συντελεστές διάχυσης, ενώ κατά τη δεύτερη θεματική ενότητα πραγματοποιήθηκε ξήρανση σε ολόκληρα κεφάλια Ανθότυρου και προσδιορίστηκαν οι μεταβολές στα φυσικοχημικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των κεφαλιών ύστερα από τη διεργασία αυτή.

#### 3.1 Μελέτη της κινητικής της ξήρανσης του Ανθότυρου

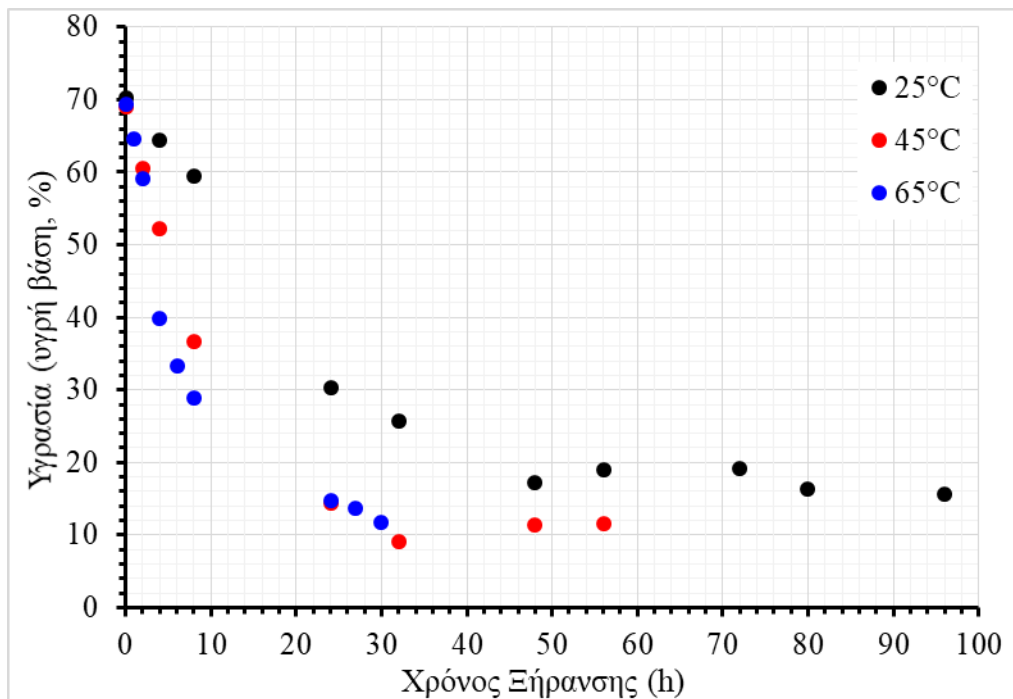
Στην Πρώτη Θεματική Ενότητα των πειραμάτων, πραγματοποιήθηκε ξήρανση σε ρεύμα αέρα σε δείγματα Ανθότυρου, με σκοπό τη μελέτη της επίδρασης διαφόρων θερμοκρασιών ξήρανσης υπό αέρα (25, 45 και 65°C) στη μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας του Ανθότυρου σε σχέση με το χρόνο και τον προσδιορισμό των αντίστοιχων συντελεστών διάχυσης. Τα δείγματα ζυγίστηκαν πριν και κατά τη διάρκεια της ξήρανσης και υπολογίστηκε η υγρασία, σε ξηρή και υγρή βάση, σε κάθε χρονική στιγμή που πραγματοποιούταν η δειγματοληψία. Επίσης, μετρήθηκε η ενεργότητα του νερού ( $a_w$ ) και το χρώμα των δειγμάτων.

##### 3.1.1 Προσδιορισμός της υγρασίας σε ξηρή και υγρή βάση

Η υγρασία των δειγμάτων σε ξηρή και υγρή βάση υπολογίστηκε μέσω των Εξισώσεων 11 και 12, αντίστοιχα, αφού πρώτα είχε υπολογιστεί η ξηρή ουσία του Ανθότυρου σύμφωνα με τις οδηγίες του προτύπου ISO 5534, IDF 4 (2004). Στα Σχήματα 13 και 14 παρουσιάζεται η μεταβολή της υγρασίας, σε ξηρή και υγρή βάση αντίστοιχα, των δειγμάτων Ανθότυρου συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης για θερμοκρασίες ξήρανσης 25, 45 και 65°C.



**Σχήμα 13.** Μεταβολή της υγρασίας σε ξηρή βάση των δειγμάτων Ανθότυρου συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης για τις διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης (25, 45 και 65°C).



**Σχήμα 14.** Μεταβολή της υγρασίας σε υγρή βάση των δειγμάτων Ανθότυρου συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης για τις διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης (25, 45 και 65°C).

Από τα Σχήματα 13 και 14 παρατηρείται ότι η θερμοκρασία έχει επίδραση στο ρυθμό της ξήρανσης των δειγμάτων. Αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού ξήρανσης. Η περιεχόμενη υγρασία των δειγμάτων Ανθότυρου φάνηκε να μεταβάλλεται μέχρι τις πρώτες 24 h περίπου με υψηλότερο ρυθμό, ενώ με την πάροδο του χρόνου τείνει να σταθεροποιηθεί.

Επιπλέον, προσδιορίστηκαν η αρχική υγρασία,  $M_0$  (kg νερού/kg Ξ.Ο.), και η υγρασία ισορροπίας,  $M_e$  (kg νερού/kg Ξ.Ο.), των δειγμάτων Ανθότυρου σύμφωνα με τη μέθοδο προσδιορισμού των περιεχόμενων ολικών στερεών, όπως αυτή περιγράφεται στο πρότυπο ISO 5534, IDF 4 (2004). Οι τιμές της αρχικής υγρασίας και της υγρασίας ισορροπίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.

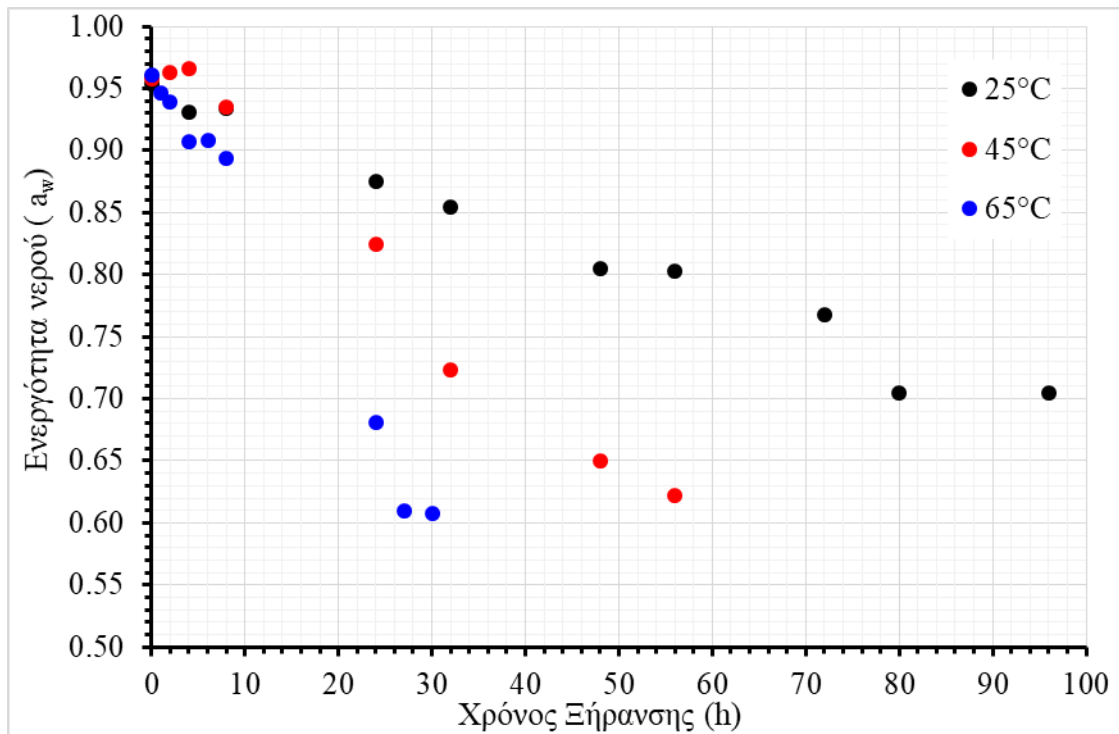
**Πίνακας 5.** Τιμές της αρχικής υγρασίας και της υγρασίας ισορροπίας, σε ξηρή βάση, των δειγμάτων Ανθότυρου για τις διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης (25, 45 και 65°C).

<b>Θερμοκρασία Ξήρανσης (°C)</b>	<b><math>M_0</math> (kg νερού/kg Ξ.Ο.)</b>	<b><math>M_e</math> (kg νερού/kg Ξ.Ο.)</b>
<b>25</b>	2.3585	0.185
<b>45</b>	2.2376	0.1306
<b>65</b>	2.2665	0.1339

Από τον Πίνακα 5 παρατηρείται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας γενικά έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της υγρασίας ισορροπίας στο θερμοκρασιακό εύρος 25-45°C. Όμως, παρατηρείται επιπλέον ότι η υγρασία ισορροπίας της ξήρανσης Ανθότυρου στους 65°C είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από την υγρασία ισορροπίας στους 45°C. Αυτό πιθανώς να οφείλεται σε σκλήρυνση του φλοιού του Ανθότυρου κατά τη διάρκεια της ξήρανσης σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Το φαινόμενο της επιφανειακής σκλήρυνσης εμποδίζει τη διάχυση της περιεχόμενης υγρασίας, με αποτέλεσμα τις παραπλήσιες τιμές υγρασίας ισορροπίας για την ξήρανση στους 45°C και στους 65°C (Γιαννιώτης, 2014).

### 3.1.2 Προσδιορισμός της ενεργότητας νερού ( $a_w$ )

Στο Σχήμα 15 παρουσιάζεται η μεταβολή της ενεργότητας του νερού των δειγμάτων Ανθότυρου με το χρόνο ξήρανσης, ύστερα από ξήρανση στους 25, 45 και 65°C.

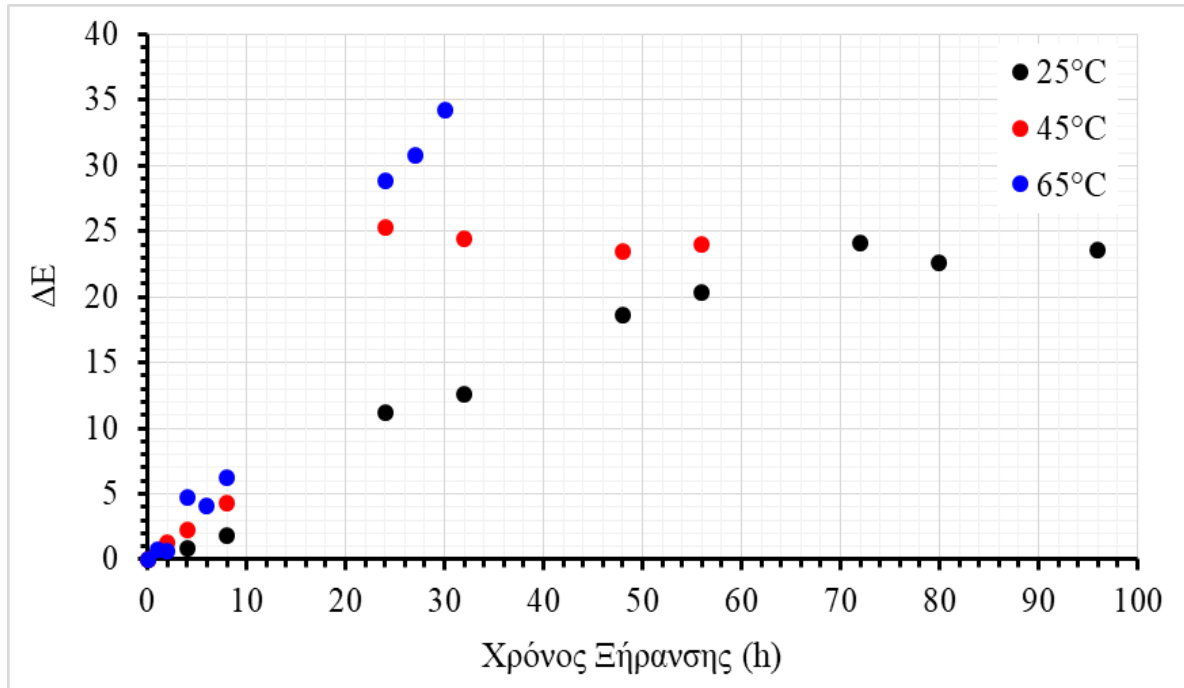


**Σχήμα 15.** Μεταβολή της ενεργότητας νερού ( $a_w$ ) του Ανθότυρου συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης για τις διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης (25, 45 και 65°C).

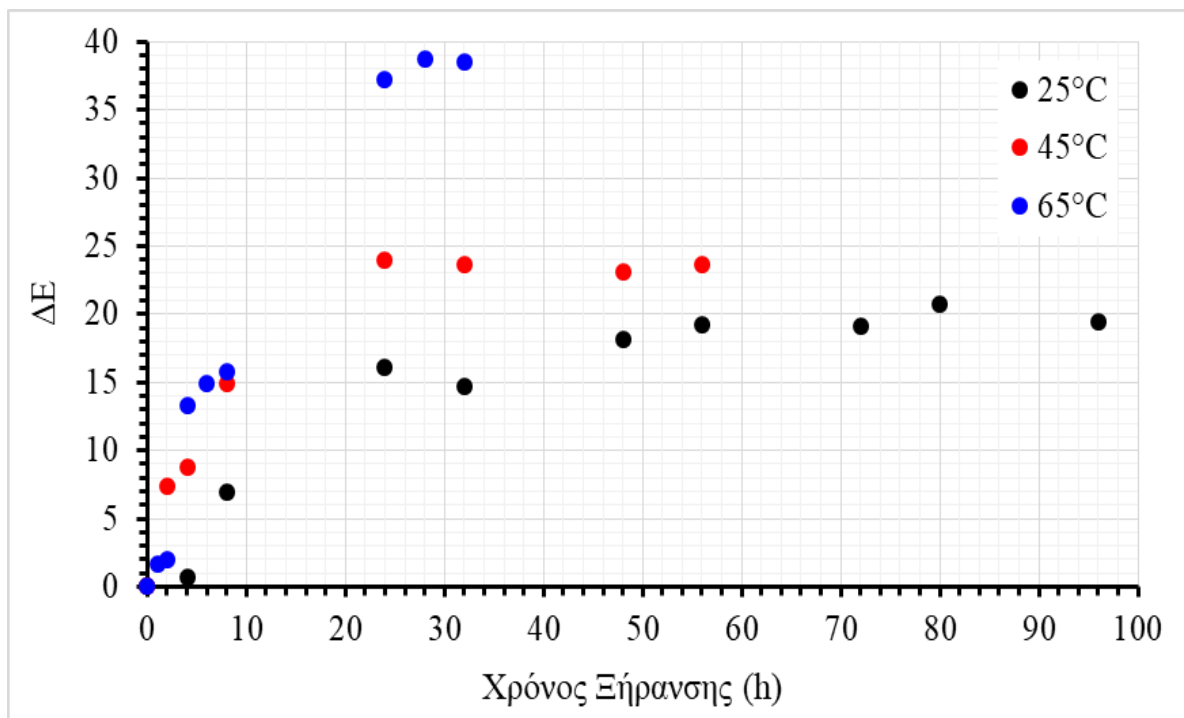
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 15, η ενεργότητα νερού των δειγμάτων Ανθότυρου μειώνεται κατά τη διάρκεια της ξήρανσης. Επιπλέον, είναι φανερό ότι υψηλότερες θερμοκρασίες ξήρανσης οδηγούν σε μεγαλύτερο ρυθμό ελάττωσης της ενεργότητας του νερού.

### 3.1.3 Προσδιορισμός της μεταβολής του χρώματος

Για την αξιολόγηση του χρώματος του Ανθότυρου κατά την ξήρανση του, μετρήθηκε το εξωτερικό και το εσωτερικό χρώμα δύο δειγμάτων Ανθότυρου σε κάθε δειγματοληψία, με την εφαρμογή του χρωματόμετρου NS800 Spectrophotometer (3nh, Shenzhen, China) στην αντίστοιχη επιφάνεια του δείγματος. Όπως έχει προαναφερθεί, τα αποτελέσματα των μετρήσεων εκφράστηκαν στην κλίμακα CIE (L, a, b). Η ολική μεταβολή του χρώματος του Ανθότυρου υπολογίστηκε μέσω της Εξίσωσης 16. Στα Σχήματα 16 και 17 παρουσιάζεται η ολική μεταβολή του εσωτερικού και του εξωτερικού χρώματος ( $\Delta E$ ) των δειγμάτων με το χρόνο ξήρανσης για θερμοκρασίες ξήρανσης 25, 45 και 65°C.



**Σχήμα 16.** Ολική μεταβολή του εσωτερικού χρώματος του Ανθότυρου συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης για τις διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης (25, 45 και 65°C).



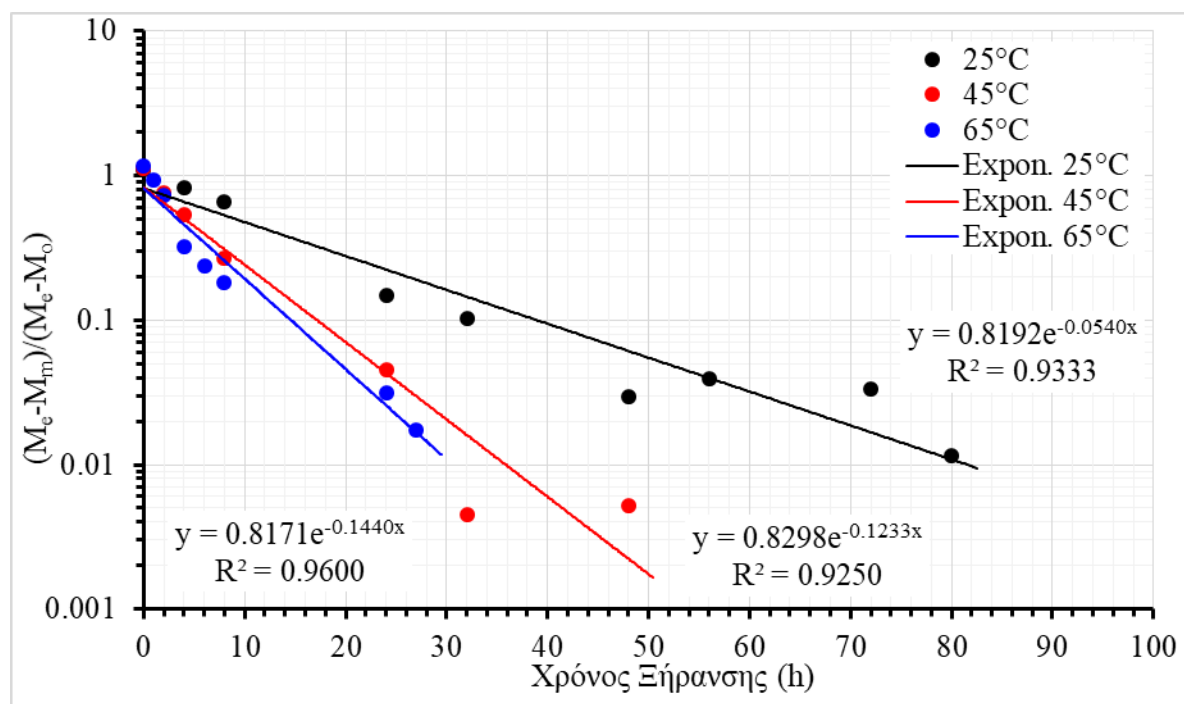
**Σχήμα 17.** Ολική μεταβολή του εξωτερικού χρώματος του Ανθότυρου συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης για τις διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης (25, 45 και 65°C).



Στα Σχήματα 16 και 17 είναι εμφανής η επίδραση της ξήρανσης στη μεταβολή του χρώματος των δειγμάτων Ανθότυρου. Μεγαλύτερος χρόνος ξήρανσης συνεπάγεται και μεγαλύτερη μεταβολή του χρώματος του τυριού καθώς αυτό κιτρινίζει. Εμφανής είναι επίσης η επίδραση της θερμοκρασίας στη μεταβολή του χρώματός του. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία ξήρανσης, τόσο μεγαλύτερη είναι και η μεταβολή του χρώματος που παρατηρείται στο Ανθότυρο.

### 3.1.4 Προσδιορισμός του συντελεστή διάχυσης της υγρασίας κατά τη ξήρανση Ανθότυρου

Οι συντελεστές διάχυσης της υγρασίας υπολογίστηκαν για όλες τις θερμοκρασίες ξήρανσης, μέσω του μοντέλου μεταφοράς μάζας σύμφωνα με το 2<sup>ο</sup> νόμο του Fick (Εξ. 2). Πιο συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψη τη λύση του 2<sup>ου</sup> νόμου του Fick (Εξ. 7) και τα πειραματικά δεδομένα για την ξήρανση του Ανθότυρου κατασκευάστηκε το Σχήμα 18 με τεταγμένη το λόγο  $\frac{M_e - M_m}{M_e - M_0}$  και τετμημένη το χρόνο ξήρανσης  $t$  (h). Για κάθε θερμοκρασία ξήρανσης προσαρμόστηκε η βέλτιστη εκθετική εξίσωση.



**Σχήμα 18.** Συσχέτιση του λόγου κατανομής της υγρασίας με το χρόνο ξήρανσης των δειγμάτων Ανθότυρου για τις διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης (25, 45 και 65°C).

Οι βέλτιστες εκθετικές εξισώσεις και οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης που προέκυψαν από το Σχήμα 18 για την κάθε θερμοκρασία ξήρανσης είναι οι εξής:

$$25^{\circ}\text{C} \quad y = 0.8192e^{-0.0540x}, R^2=0.9333 \quad (20)$$

$$45^{\circ}\text{C} \quad y = 0.8298e^{-0.1233x}, R^2=0.925 \quad (21)$$

$$65^{\circ}\text{C} \quad y = 0.8171e^{-0.1440x}, R^2=0.96 \quad (22)$$

Συγκρίνοντας την Εξίσωση 20 με τη λύση του 2<sup>ου</sup> νόμου του Fick (Εξ. 7) προκύπτει η παρακάτω εξίσωση:

$$\frac{\pi^2 D}{R^2} = 0.0540 \rightarrow \quad (23)$$

$$D = \frac{0.0540 \cdot 0.02^2}{\pi^2} \rightarrow \quad (24)$$

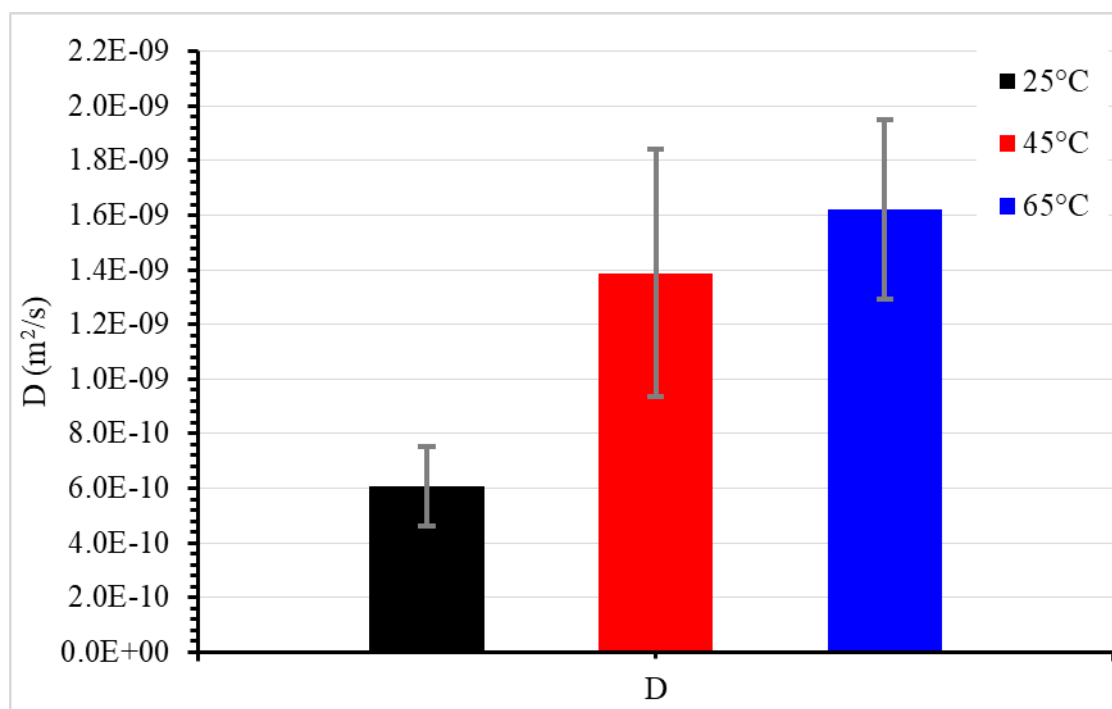
$$D = 6.0793 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s} \quad (25)$$

Αντίστοιχα, προσδιορίζονται οι συντελεστές διάχυσης της υγρασίας για τις ξηράνσεις σε θερμοκρασίες 45°C και 65°C από τις Εξισώσεις 21 και 22. Οι τιμές των συντελεστών διάχυσης, για κάθε θερμοκρασία ξήρανσης, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6. Από τον Πίνακα 6 παρατηρείται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας γενικά έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του συντελεστή διάχυσης στο θερμοκρασιακό εύρος 25-65°C.

**Πίνακας 6.** Συντελεστές διάχυσης της υγρασίας του Ανθότυρου για τις διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης (25, 45 και 65°C).

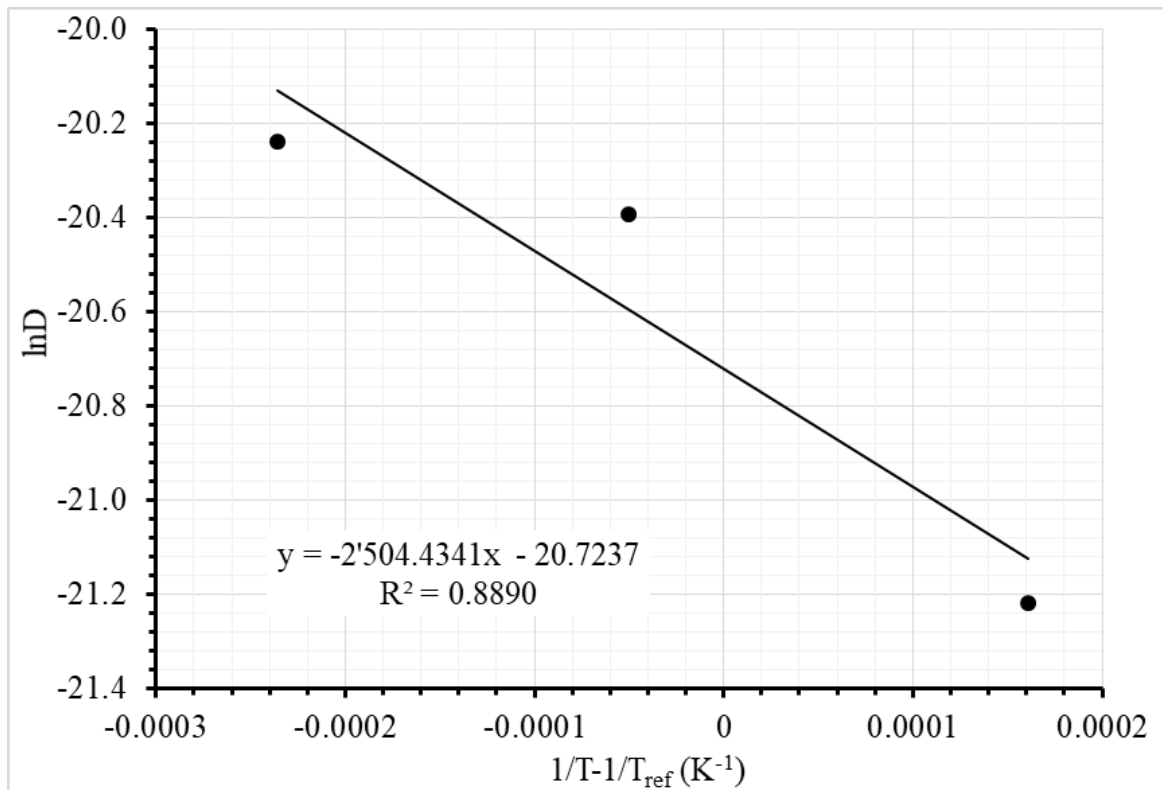
$\Theta$ (°C)	$D$ (m <sup>2</sup> /s)
25	$6.079 \cdot 10^{-10}$
45	$1.388 \cdot 10^{-9}$
65	$1.621 \cdot 10^{-9}$

Η επίδραση του λόγου κατανομής της υγρασίας στον συντελεστή διάχυσης της υγρασίας μελετήθηκε με την ανάλυση παλινδρόμησης (Regression Analysis). Από την ανάλυση παλινδρόμησης προσδιορίστηκαν τα εύρη στα οποία κυμαίνονται οι τιμές των συντελεστών διάχυσης της υγρασίας, για την κάθε θερμοκρασία ξήρανσης, και παρουσιάζονται στο Σχήμα 19.



**Σχήμα 19.** Συντελεστές διάχυσης της υγρασίας του Ανθότυρου και εύρη τιμών τους για τις διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης (25, 45 και 65°C).

Η επίδραση της θερμοκρασίας στο ρυθμό μεταβολής του συντελεστή διάχυσης εκφράστηκε από την εξίσωση Arrhenius (Εξ. 8). Από το Σχήμα 18 της συσχέτισης του λόγου κατανομής της υγρασίας με το χρόνο ξήρανσης για τις διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης (25, 45 και 65°C) και σύμφωνα με την μετασχηματισμένη εξίσωση Arrhenius (Εξ. 10) προέκυψε το Σχήμα 20 για την απεικόνιση του  $\ln D$  συναρτήσει του  $(1/T-1/T_{ref})$ .



**Σχήμα 20.** Επίδραση της θερμοκρασίας στους συντελεστές διάχυσης της υγρασίας του Ανθότυρου σε θερμοκρασίες ξήρανσης 25, 45 και 65°C.

Από το Σχήμα 20 και σύμφωνα με την Εξ. (10) προσδιορίστηκαν οι κινητικές παράμετροι της σχέσης Arrhenius,  $E_a$  (kJ/mol) και  $D_{ref}$  (m<sup>2</sup>/s), θεωρώντας ως θερμοκρασία αναφοράς τους 40°C ή αλλιώς τους 313.16 K. Οι παράμετροι της σχέσης Arrhenius παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.

**Πίνακας 7.** Τιμές των παραμέτρων της σχέσης Arrhenius.

<b><math>E_a</math> (kJ/mol)</b>	20.822
<b><math>D_{ref}</math> (m<sup>2</sup>/s)</b>	$9.996 \cdot 10^{-10}$
<b><math>T_{ref}</math> (K)</b>	313.16

Επομένως, γνωρίζοντας τις παραμέτρους της σχέσης του Arrhenius,  $E_a$  (kJ/mol) και  $D_{ref}$  (m<sup>2</sup>/s), είναι εφικτό να υπολογιστεί ο συντελεστής διάχυσης της υγρασίας του συγκεκριμένου Ανθότυρου,  $D$  (m<sup>2</sup>/s), σε διάφορες θερμοκρασίες ξήρανσης.

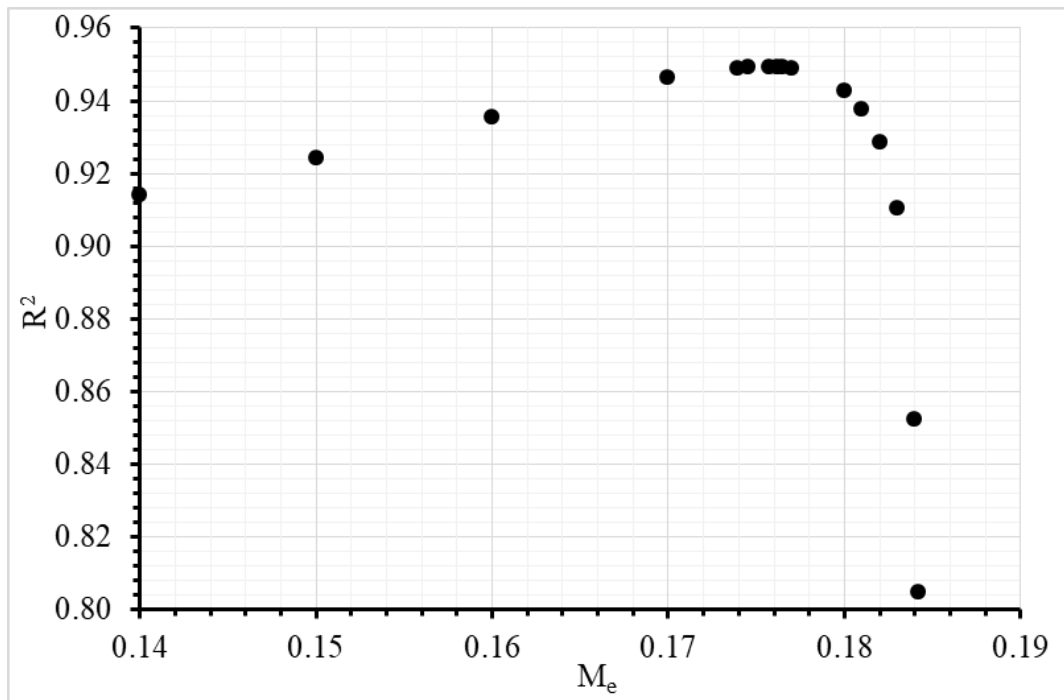
### 3.1.5 Υπολογιστική προσέγγιση της υγρασίας ισορροπίας

Παράλληλα με τον προσδιορισμό της υγρασίας ισορροπίας σύμφωνα με τη μέθοδο προσδιορισμού των περιεχόμενων ολικών στερεών, όπως αυτή περιγράφεται στο πρότυπο ISO 5534, IDF 4 (2004), πραγματοποιήθηκε και μία υπολογιστική προσέγγισή της για κάθε θερμοκρασία ξήρανσης. Η υπολογιστική προσέγγιση είχε σαν στόχο τον εντοπισμό της βέλτιστης τιμής της υγρασίας ισορροπίας,  $M_e$ , δηλαδή της τιμής εκείνης που στο σχήμα συσχέτισης του λόγου κατανομής της υγρασίας,  $\frac{M_e - M_m}{M_e - M_0}$ , με το χρόνο ξήρανσης,  $t$  (h), των δειγμάτων Ανθότυρου δίνει την εκθετική εξίσωση με το μέγιστο συντελεστή συσχέτισης,  $R^2$ . Η προσέγγιση της βέλτιστης τιμής της υγρασίας ισορροπίας,  $M_e$ , πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της δοκιμής και σφάλματος. Από τη βέλτιστη τιμή της υγρασίας ισορροπίας,  $M_e$ , για την οποία προέκυψε η εκθετική εξίσωση με το μέγιστο συντελεστή συσχέτισης, υπολογίστηκε ο συντελεστής διάχυσης της υγρασίας για κάθε θερμοκρασία ξήρανσης και στη συνέχεια προσδιορίστηκαν οι κινητικές παράμετροι της σχέσης Arrhenius,  $E_a$  (kJ/mol) και  $D_{ref}$  (m<sup>2</sup>/s), θεωρώντας ως θερμοκρασία αναφοράς τους 40°C ή αλλιώς τους 313.16 K. Για τη ξήρανση των δειγμάτων Ανθότυρου στους 25, 45 και 65°C προσεγγίστηκαν οι παρακάτω τιμές της υγρασίας ισορροπίας, για τις οποίες προέκυψαν οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης από τις εκθετικές εξισώσεις.

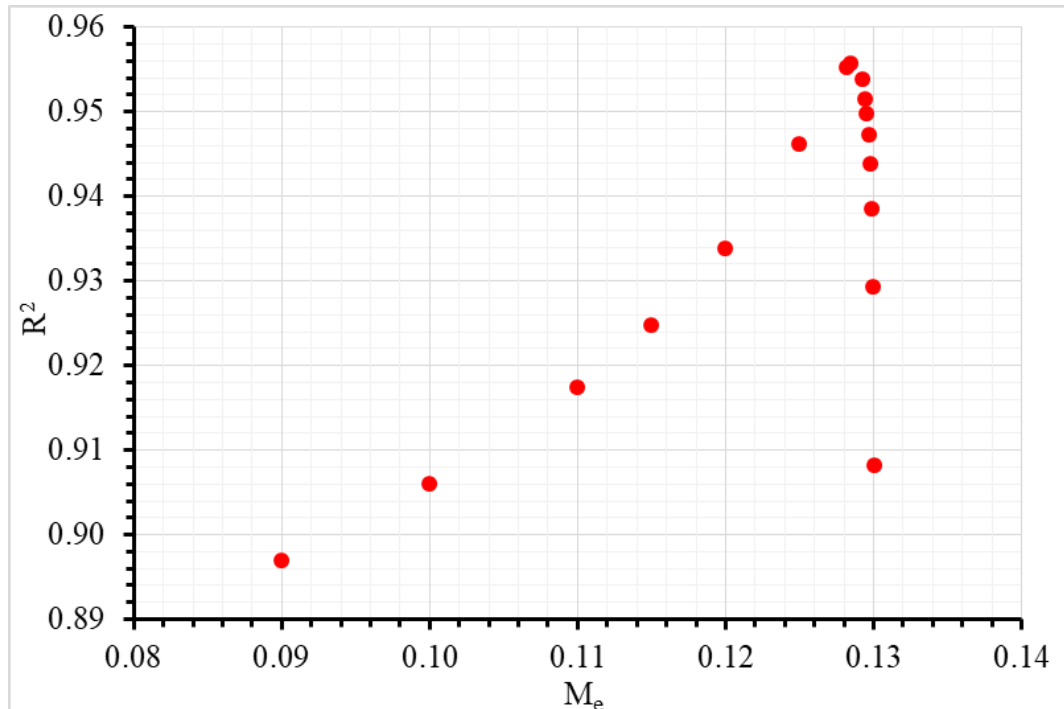
**Πίνακας 8.** Τιμές της υγρασίας ισορροπίας ( $M_e$ ) και των συντελεστών συσχέτισης, όπως αυτοί προέκυψαν από τις αντίστοιχες εκθετικές εξισώσεις, για κάθε θερμοκρασία ξήρανσης (25, 45 και 65°C) των δειγμάτων Ανθότυρου.

25°C		45°C		65°C	
$M_e$	$R^2$	$M_e$	$R^2$	$M_e$	$R^2$
0.14	0.9139	0.09	0.8969	0.04	0.9281
0.15	0.9241	0.1	0.906	0.05	0.933
0.16	0.9353	0.11	0.9174	0.06	0.938
0.17	0.9462	0.115	0.9247	0.07	0.9431
0.1739	0.949	0.12	0.9338	0.08	0.9482
0.1745	0.9492	0.125	0.9461	0.09	0.9531
0.1757	0.9493	0.1282	0.9552	0.1015	0.958
0.1762	0.9492	0.1285	0.9556	0.105	0.9591
0.1765	0.9491	0.1293	0.9537	0.1115	0.9601
0.177	0.9489	0.1295	0.9515	0.1165	0.9592
0.18	0.9429	0.1296	0.9497	0.1225	0.9537
0.181	0.9376	0.1297	0.9473	0.125	0.9485
0.182	0.9284	0.1298	0.9438	0.128	0.9367
0.183	0.9102	0.1299	0.9384	0.13	0.9216
0.184	0.8522	0.13	0.9292	0.131	0.9091
0.1842	0.8048	0.1301	0.9081	0.132	0.889

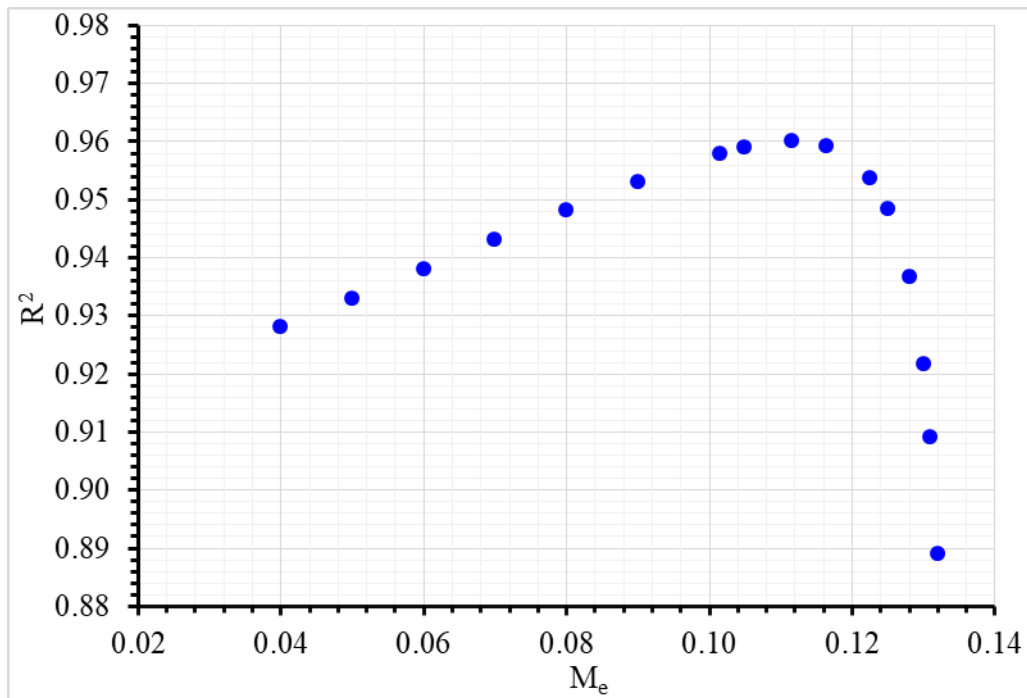
Για τις τιμές του Πίνακα 8, κατασκευάστηκαν τα Σχήματα 21, 22 και 23.



**Σχήμα 21.** Απεικόνιση των τιμών της υγρασίας ισορροπίας ( $M_e$ ) συναρτήσει των τιμών του συντελεστή συσχέτισης ( $R^2$ ) των εκθετικών εξισώσεων για την ξήρανση του Ανθότυρου στους 25°C.



**Σχήμα 22.** Απεικόνιση των τιμών της υγρασίας ισορροπίας ( $M_e$ ) συναρτήσει των τιμών του συντελεστή συσχέτισης ( $R^2$ ) των εκθετικών εξισώσεων για την ξήρανση του Ανθότυρου στους 45°C.



**Σχήμα 23.** Απεικόνιση των βέλτιστων τιμών της υγρασίας ισορροπίας ( $M_e$ ) συναρτήσει των τιμών του συντελεστή συσχέτισης ( $R^2$ ) των εκθετικών εξισώσεων για την ξήρανση του Ανθότυρου στους  $65^\circ\text{C}$ .

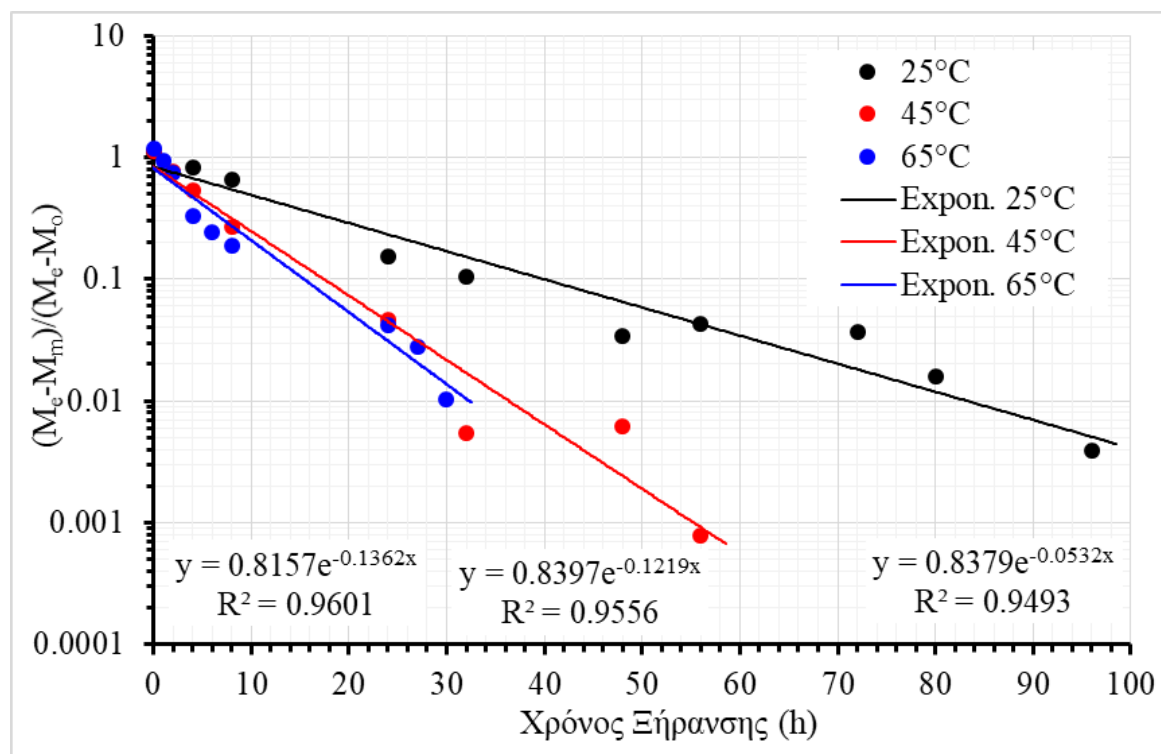
Με βάση τον Πίνακα 8 και τα Σχήματα 21, 22 και 23, οι τιμές της υγρασίας ισορροπίας ( $M_e$ ) για τις οποίες προέκυψε ο μέγιστος συντελεστής συσχέτισης ( $R^2$ ) παρουσιάζονται στον Πίνακα 9. Από τον Πίνακα 9 παρατηρείται ότι η θερμοκρασία ξήρανσης έχει επίδραση στην υγρασία ισορροπίας των δειγμάτων Ανθότυρου. Μάλιστα, αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης οδήγησε σε μειωμένες τιμές υγρασίας ισορροπίας του Ανθότυρου.

**Πίνακας 9.** Βέλτιστες τιμές της υγρασίας ισορροπίας ( $M_e$ ) των δειγμάτων Ανθότυρου για τις διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης (25, 45 και  $65^\circ\text{C}$ ).

$\Theta$ ( $^\circ\text{C}$ )	$M_e$ (kg νερού/kg Ξ.Ο.)
25	0.1757
45	0.1285
65	0.1115



Για τις βέλτιστες τιμές της υγρασίας ισορροπίας προέκυψε το Σχήμα 24 της συσχέτισης του λόγου κατανομής της υγρασίας με το χρόνο ξήρανσης για την ξήρανση του Ανθότυρου στους 25, 45 και 65°C.



**Σχήμα 24.** Συσχέτιση του λόγου κατανομής της υγρασίας με το χρόνο ξήρανσης για την ξήρανση του Ανθότυρου στους 25, 45 και 65°C.

Οι βέλτιστες εκθετικές εξισώσεις και οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης που προέκυψαν από το Σχήμα 24 για την κάθε θερμοκρασία ξήρανσης είναι οι εξής:

$$25^{\circ}\text{C} \quad y = 0.8379e^{-0.0532x}, R^2=0.9493 \quad (26)$$

$$45^{\circ}\text{C} \quad y = 0.8397e^{-0.1219x}, R^2=0.9556 \quad (27)$$

$$65^{\circ}\text{C} \quad y = 0.8157e^{-0.1362x}, R^2=0.9601 \quad (28)$$

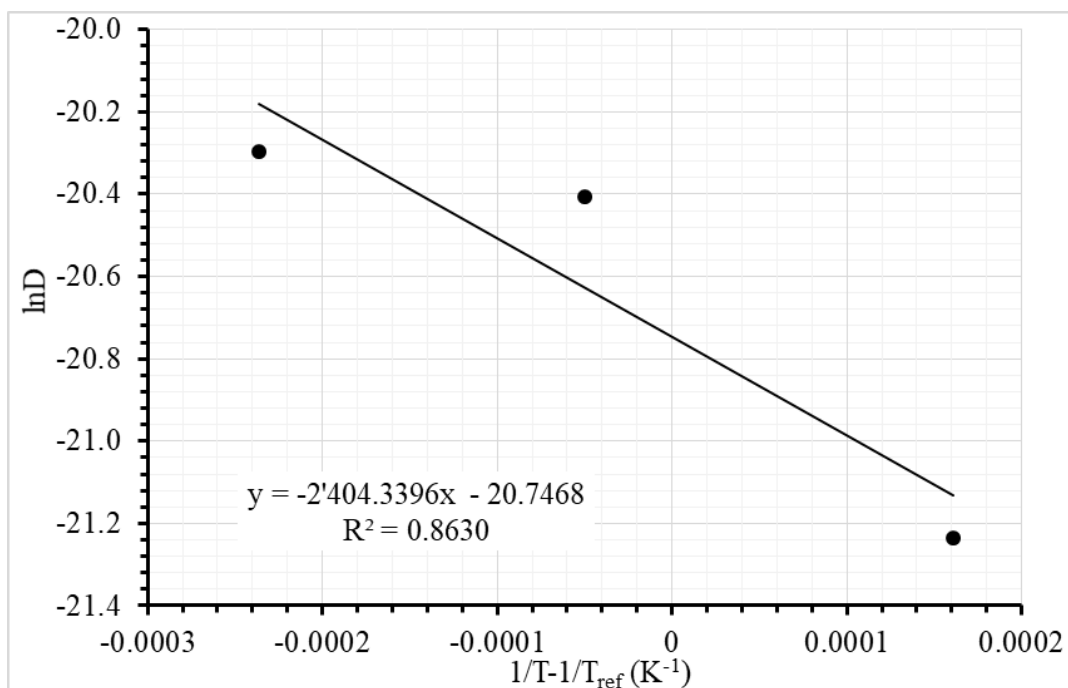
Από τις βέλτιστες εκθετικές εξισώσεις, προσδιορίστηκαν οι αντίστοιχοι συντελεστές διάχυσης για την ξήρανση του Ανθότυρου στους 25, 45 και 65°C, όπως αυτοί υπολογίστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο (3.1.4 Προσδιορισμός του συντελεστή

διάχυσης της υγρασίας κατά την ξήρανση Ανθότυρου). Επομένως, οι συντελεστές διάχυσης της υγρασίας, οι οποίοι προσδιορίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη τις βέλτιστες τιμές της υγρασίας ισορροπίας, για κάθε θερμοκρασία ξήρανσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 10. Από τον Πίνακα 10 παρατηρείται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του συντελεστή διάχυσης στο θερμοκρασιακό εύρος 25-65°C.

**Πίνακας 10.** Συντελεστές διάχυσης της υγρασίας του Ανθότυρου για τις διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης (25, 45 και 65°C).

$\Theta$ (°C)	$D$ ( $m^2/s$ )
25	$5.989 \cdot 10^{-10}$
45	$1.372 \cdot 10^{-9}$
65	$1.533 \cdot 10^{-9}$

Η επίδραση της θερμοκρασίας στο ρυθμό αύξησης του συντελεστή διάχυσης εκφράστηκε από την εξίσωση Arrhenius (Εξ. 8). Από το Σχήμα 25 της συσχέτισης του λόγου κατανομής της υγρασίας με το χρόνο ξήρανσης για τις διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης (25, 45 και 65°C) και σύμφωνα με την μετασχηματισμένη εξίσωση Arrhenius (Εξ. 10) προοέκυψε το Σχήμα 25 για την απεικόνιση του  $\ln D$  συναρτήσει του  $(1/T-1/T_{ref})$ .



**Σχήμα 25.** Σχήμα Arrhenius των συντελεστών διάχυσης της υγρασίας του Ανθότυρου σε θερμοκρασίες ξήρανσης 25, 45 και 65°C.

Από το Σχήμα 25 και σύμφωνα με την Εξ. (10) προσδιορίστηκαν οι κινητικές παράμετροι της σχέσης Arrhenius,  $E_a$  (kJ/mol) και  $D_{ref}$  (m<sup>2</sup>/s), θεωρώντας ως θερμοκρασία αναφοράς τους 40°C ή αλλιώς τους 313.16 K. Οι παράμετροι της σχέσης Arrhenius παρουσιάζονται στον Πίνακα 11.

**Πίνακας 11.** Τιμές των παραμέτρων της σχέσης Arrhenius.

<b><math>E_a</math> (kJ/mol)</b>	19.990
<b><math>D_{ref}</math> (m<sup>2</sup>/s)</b>	$9.767 \cdot 10^{-10}$
<b><math>T_{ref}</math> (K)</b>	313.16

Επομένως, και στην περίπτωση της υπολογιστικής προσέγγισης της υγρασίας ισορροπίας, γνωρίζοντας τις παραμέτρους της σχέσης του Arrhenius,  $E_a$  (kJ/mol) και  $D_{ref}$  (m<sup>2</sup>/s), είναι εφικτό να υπολογιστεί ο συντελεστής διάχυσης της υγρασίας του συγκεκριμένου Ανθότυρου,  $D$  (m<sup>2</sup>/s), σε διάφορες θερμοκρασίες ξήρανσης.

3.1.6 Σύγκριση της μεθόδου προσδιορισμού της υγρασίας ισορροπίας μέσω του προσδιορισμού των περιεχόμενων ολικών στερεών (ISO 5534, IDF 4, 2004) και της υπολογιστικής προσέγγισής της.

Ο προσδιορισμός της υγρασίας ισορροπίας των δειγμάτων Ανθότυρου πραγματοποιήθηκε με 2 μεθόδους. Η 1<sup>η</sup> μέθοδος βασίστηκε στον προσδιορισμό των περιεχόμενων ολικών στερεών του Ανθότυρου στο τέλος της ξήρανσης (ISO 5534, IDF 4, 2004). Έπειτα από τον προσδιορισμό των περιεχόμενων ολικών στερεών του Ανθότυρου, προσδιορίστηκε η υγρασία ισορροπίας για κάθε θερμοκρασία ξήρανσης. Η 2<sup>η</sup> μέθοδος στηρίχτηκε στην υπολογιστική προσέγγιση της υγρασίας ισορροπίας. Η υπολογιστική προσέγγιση είχε σαν στόχο τον εντοπισμό της βέλτιστης τιμής της υγρασίας ισορροπίας,  $M_e$ , δηλαδή της τιμής εκείνης που στο σχήμα συσχέτισης του λόγου κατανομής της υγρασίας,  $\frac{M_e - M_m}{M_e - M_0}$ , με το χρόνο ξήρανσης,  $t$  (h), των δειγμάτων Ανθότυρου δίνει την εκθετική εξίσωση με το μέγιστο συντελεστή συσχέτισης,  $R^2$ . Η προσέγγιση της βέλτιστης τιμής της υγρασίας ισορροπίας,  $M_e$ , πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της δοκιμής και σφάλματος. Προκειμένου να συγκριθούν οι τιμές της υγρασίας ισορροπίας των δειγμάτων Ανθότυρου, οι οποίες υπολογίστηκαν μέσω του προσδιορισμού των περιεχόμενων ολικών στερεών (ISO 5534, IDF 4, 2004) (Πίνακας 5), με τις τιμές της υγρασίας ισορροπίας που προέκυψαν υπολογιστικά (Πίνακας 9) κατασκευάστηκε ο Πίνακας 12.

**Πίνακας 12.** Τιμές της υγρασίας ισορροπίας των δειγμάτων Ανθότυρου για κάθε θερμοκρασία ξήρανσης, όπως αυτές προέκυψαν μέσω του προσδιορισμού των περιεχόμενων ολικών στερεών (ISO 5534, IDF 4, 2004) και όπως αυτές προέκυψαν υπολογιστικά, για τις διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης (25, 45 και 65°C).

<b>Θερμοκρασία Ξήρανσης (°C)</b>	<b>ISO 5534, IDF 4, 2004 M<sub>e</sub> (kg νερού/kg Ξ.Ο.)</b>	<b>Υπολογιστική Προσέγγιση M<sub>e</sub> (kg νερού/kg Ξ.Ο.)</b>
<b>25</b>	0.185	0.1757
<b>45</b>	0.1306	0.1285
<b>65</b>	0.1339	0.1115

Από τον Πίνακα 12 παρατηρείται ότι, για τις θερμοκρασίες ξήρανσης των 25, 45 και 65°C, με την υπολογιστική προσέγγιση της υγρασίας ισορροπίας των δειγμάτων Ανθότυρου προσδιορίστηκαν τιμές παραπλήσιες με αυτές των υγρασιών ισορροπίας, όπως αυτές προσδιορίστηκαν μέσω του προσδιορισμού των περιεχόμενων ολικών στερεών.

Στον Πίνακα 13 παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή διάχυσης της υγρασίας του Ανθότυρου, όπως αυτοί προέκυψαν για την υγρασία ισορροπίας η οποία υπολογίστηκε μέσω του προσδιορισμού των περιεχόμενων ολικών στερεών (ISO 5534, IDF 4, 2004) και οι τιμές του συντελεστή διάχυσης όπως αυτοί προσδιορίστηκαν για την υγρασία ισορροπίας η οποία προσδιορίστηκε υπολογιστικά. Από τον Πίνακα 13 παρατηρείται ότι, για τις θερμοκρασίες ξήρανσης των 25, 45 και 65°C, οι τιμές των συντελεστών διάχυσης που προσδιορίστηκαν με την υπολογιστική προσέγγιση δεν διαφέρουν σημαντικά από τις τιμές του συντελεστή διάχυσης όπως αυτοί προσδιορίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη την τιμή της υγρασίας ισορροπίας, η οποία υπολογίστηκε μέσω του προσδιορισμού των περιεχόμενων ολικών στερεών (ISO 5534, IDF 4, 2004).

**Πίνακας 13.** Τιμές του συντελεστή διάχυσης της υγρασίας του Ανθότυρου, όπως αυτοί προέκυψαν μέσω του προσδιορισμού των περιεχόμενων ολικών στερεών (ISO 5534, IDF 4, 2004) και όπως αυτοί προέκυψαν υπολογιστικά, για τις διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης (25, 45 και 65°C).

<b>Θερμοκρασία Ξήρανσης (°C)</b>	<b>ISO 5534, IDF 4, 2004</b>	<b>Υπολογιστική Προσέγγιση</b>
	<b>D (m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>D (m<sup>2</sup>/s)</b>
<b>25</b>	$6.079 \cdot 10^{-10}$	$5.989 \cdot 10^{-10}$
<b>45</b>	$1.388 \cdot 10^{-9}$	$1.372 \cdot 10^{-9}$
<b>65</b>	$1.621 \cdot 10^{-9}$	$1.533 \cdot 10^{-9}$

Αντίστοιχα στον Πίνακα 14 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων της σχέσης του Arrhenius,  $E_a$  (kJ/mol) και  $D_{ref}$  (m<sup>2</sup>/s), θεωρώντας ως θερμοκρασία αναφοράς τους 40°C ή αλλιώς τους 313.16 K, όπως αυτές προέκυψαν λαμβάνοντας υπόψη την υγρασία ισορροπίας, η οποία υπολογίστηκε και με τις δύο προαναφερόμενες μεθόδους. Από τον Πίνακα 14 παρατηρείται ότι οι τιμές των παραμέτρων της σχέσης του Arrhenius, όπως αυτές προέκυψαν λαμβάνοντας υπόψη την υγρασία ισορροπίας που προσδιορίστηκε υπολογιστικά, δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές από αυτές που προσδιορίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη την τιμή της υγρασίας ισορροπίας, η οποία προέκυψε μέσω του προσδιορισμού των περιεχόμενων ολικών στερεών (ISO 5534, IDF 4, 2004).

**Πίνακας 14.** Τιμές των παραμέτρων της σχέσης του Arrhenius όπως αυτές προέκυψαν μέσω του προσδιορισμού των περιεχόμενων ολικών στερεών (ISO 5534, IDF 4, 2004) και όπως αυτές προέκυψαν υπολογιστικά.

	<b>ISO 5534, IDF 4, 2004</b>	<b>Υπολογιστική Προσέγγιση</b>
<b><math>E_a</math> (kJ/mol)</b>	20.822	19.990
<b><math>D_{ref}</math> (m<sup>2</sup>/s)</b>	$9.996 \cdot 10^{-10}$	$9.767 \cdot 10^{-10}$
<b><math>T_{ref}</math> (K)</b>	313.16	313.16

Επομένως, γενικά παρατηρήθηκε ότι η υπολογιστική προσέγγιση της υγρασίας ισορροπίας του Ανθότυρου αποτέλεσε μια ικανοποιητική προσέγγιση, καθώς οι τιμές της υγρασίας ισορροπίας που προσδιορίστηκαν είναι παραπλήσιες με αυτές που προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο προσδιορισμού των περιεχόμενων ολικών στερεών

σύμφωνα με τις οδηγίες του προτύπου ISO 5534, IDF 4 (2004). Επιπλέον, οι τιμές της υγρασίας ισορροπίας, οι οποίες προσεγγίστηκαν υπολογιστικά, έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα τόσο στον προσδιορισμό των συντελεστών διάχυσης,  $D$  ( $m^2/s$ ), της υγρασίας του Ανθότυρου, όσο και στον προσδιορισμό των παραμέτρων της σχέσης του Arrhenius,  $E_a$  ( $kJ/mol$ ) και  $D_{ref}$  ( $m^2/s$ ). Τα ικανοποιητικά αποτελέσματα της υπολογιστικής προσέγγισης της υγρασίας ισορροπίας γίνονται εύκολα αντιληπτά, καθώς οι τιμές των συντελεστών διάχυσης και των παραμέτρων της σχέσης του Arrhenius, που προέκυψαν υπολογιστικά, είναι παραπλήσιες με αυτές που προέκυψαν για τις τιμές των υγρασιών ισορροπίας που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο προσδιορισμού των περιεχόμενων ολικών στερεών (ISO 5534, IDF 4, 2004).

Σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα της μελέτης της κινητικής της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα των σφαιρικών δειγμάτων Ανθότυρου είναι ικανοποιητικά εάν ληφθεί υπόψη η σχετική βιβλιογραφία που αναφέρεται στην Εισαγωγή. Από τα αποτελέσματα των μελετών της σχετικής βιβλιογραφίας γίνεται αντιληπτό ότι η αύξηση της θερμοκρασίας έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του συντελεστή διάχυσης της υγρασίας, κάτι που επιβεβαιώθηκε και από τα αποτελέσματα της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής. Ιδιαίτερα για την ξήρανση του Ανθότυρου, παρατηρείται ότι οι τιμές των συντελεστών διάχυσης της υγρασίας, που προσδιορίστηκαν στην παρούσα μελέτη, είναι της ίδιας τάξης μεγέθους και σύμφωνες με αυτές που αναφέρονται στη σχετική βιβλιογραφία (Θειακός, 2008). Πιο συγκεκριμένα, ο συντελεστής διάχυσης της υγρασίας για την ξήρανση του Ανθότυρου στους  $10^\circ C$  υπολογίστηκε ότι ήταν ίσος με  $3.8 \cdot 10^{-10} m^2/s$  και για την ξήρανση στους  $20^\circ C$  ήταν ίσος με  $7.4 \cdot 10^{-10} m^2/s$  (Θειακός, 2008). Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ο συντελεστής διάχυσης της υγρασίας, για την κάθε θερμοκρασία ξήρανσης, 25, 45 και  $65^\circ C$ , υπολογίστηκε ότι ήταν ίσος με  $6.079 \cdot 10^{-10} m^2/s$ ,  $1.388 \cdot 10^{-9} m^2/s$  και  $1.621 \cdot 10^{-9} m^2/s$  αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής διάχυσης της υγρασίας για την ξήρανση του Ανθότυρου στους  $20^\circ C$ , όπως αυτός υπολογίστηκε στην αντίστοιχη μελέτη (Θειακός, 2008), είναι ελάχιστα μεγαλύτερος από τον συντελεστή διάχυσης της υγρασίας για την ξήρανση στους  $25^\circ C$ , όπως αυτός προσδιορίστηκε στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή. Αυτό είναι πιθανό να οφείλεται είτε σε διαφορετική σύσταση των δειγμάτων Ανθότυρου, είτε στις διαφορετικές συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν στον ξηραντήρα (ταχύτητα αέρα και υγρασία αέρα).

Η ξήρανση των τυριών έχει μελετηθεί ελάχιστα στη διεθνή βιβλιογραφία. Η ίδια έχει μελετηθεί σε προγενέστερη διπλωματική εργασία της Σχολής Χημικών Μηχανικών του

Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Κουμανδράκη, 2017). Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η ξήρανση δειγμάτων φέτας σε σχήμα πλάκας. Τα δείγματα φέτας ξηράνθηκαν μέχρι να σταθεροποιηθεί το βάρος τους σε θερμοκρασίες 40, 55 και 67°C. Για την κάθε θερμοκρασία ξήρανσης προσδιορίστηκε ο συντελεστής διάχυσης, ο οποίος ήταν ίσος με  $6.26 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $1.16 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  και  $1.90 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  αντίστοιχα (Κουμανδράκη, 2017).

Επιπλέον, έχει μελετηθεί η ξήρανση αποβουτυρωμένου τυριού κυλινδρικού σχήματος με πάχος 2 mm και διάμετρο από 10 mm έως 15 mm. Τα δείγματα αυτά ξηράνθηκαν στους 43°C και στους 52°C και οι συντελεστές διάχυσης προσδιορίστηκαν ότι ήταν ίσοι με  $4.24 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  και  $4.71 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$  αντίστοιχα (Pinho et al., 2017).

Η ξήρανση του τυριού «Qula», ενός γαλακτοκομικού προϊόντος, το οποίο παράγεται παραδοσιακά στη βορειοδυτική Κίνα από γάλα γιακ, μελετήθηκε στη Σχολή Επιστήμης και Μηχανικής Τροφίμων, του Γεωπονικού Πανεπιστημίου της Κανσού στην Κίνα. Δείγματα τυριού διαφορετικού πάχους (6, 8, 10, 12, 14 και 16 mm) ξηράνθηκαν σε ρεύμα αέρα υπό διάφορες θερμοκρασίες ξήρανσης (30, 35, 40, 45, 50 και 55°C), και υπό διαφορετικές ταχύτητες αέρα (20, 40, 60, 80 και 100 m/min). Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η σειρά σπουδαιότητας μεταξύ των τριών παραγόντων ήταν: θερμοκρασία ξήρανσης > ταχύτητα αέρα > πάχος δείγματος (Jun et al., 2014).

### 3.2 Ξήρανση κεφαλιών Ανθότυρου

Στη Δεύτερη Θεματική Ενότητα των πειραμάτων πραγματοποιήθηκε ξήρανση υπό αέρα (25°C) σε ολόκληρα κεφάλια Ανθότυρου, με σκοπό τη μελέτη της επίδρασης αυτής της διεργασίας στα φυσικοχημικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των τυροκεφαλών. Όπως προαναφέρθηκε, στα πλαίσια της Δεύτερης Θεματικής Ενότητας μελετήθηκαν δύο ειδών δείγματα. Η πρώτη σειρά δειγμάτων αποτελούνταν από 6 κεφάλια Ανθότυρου σχήματος κόλουρου κώνου, τα οποία είχαν αρχικό βάρος 1300-1400 g και αρχική υγρασία σε υγρή βάση 75-77%. Η δεύτερη σειρά δειγμάτων αποτελούνταν από 4 κεφάλια κυλινδρικού σχήματος, τα οποία είχαν αρχικό βάρος 450-550 g και αρχική υγρασία σε υγρή βάση 65-68%. Τα κεφάλια ζυγίστηκαν πριν και μετά την ξήρανση και υπολογίστηκε η απώλεια υγρασίας τους κατά τη διεργασία αυτή. Ακολούθως πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία σύμφωνα με τις οδηγίες δειγματοληψίας για τα γαλακτοκομικά προϊόντα που έχει θεσπίσει η Διεθνής Ομοσπονδία Γάλακτος (International Dairy Federation, IDF) (ISO 707, IDF 50, 2008). Αρχικά προσδιορίστηκε η ξηρή ουσία των κεφαλιών Ανθότυρου σύμφωνα με τις οδηγίες του προτύπου ISO 5534, IDF 4 (2004) και έπειτα προσδιορίστηκε η εναπομένουσα υγρασία τους σε ξηρή και υγρή βάση. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός της μεταβολής της ενεργότητας του νερού ( $a_w$ ), του χρώματος και της σκληρότητας των τυροκεφαλών. Επίσης, προσδιορίστηκαν η γενική σύσταση των κεφαλιών Ανθότυρου και η συρρίκνωσής τους.

#### 3.2.1 Προσδιορισμός της απώλειας υγρασίας και της υγρασίας σε ξηρή και υγρή βάση

Η υγρασία των τυροκεφαλών σε ξηρή και υγρή βάση υπολογίστηκε μέσω των Εξισώσεων 11 και 12, αντίστοιχα, αφού πρώτα είχε υπολογιστεί η ξηρή ουσία του Ανθότυρου σύμφωνα με τις οδηγίες του προτύπου ISO 5534, IDF 4 (2004). Όσον αφορά τα κεφάλια Ανθότυρου σχήματος κόλουρου κώνου, ύστερα από ξήρανση σε ρεύμα αέρα στους 25°C για 120 h, από τη διαφορά του βάρους τους, πριν και μετά την ξήρανση, υπολογίστηκε ότι επιτεύχθηκε 44.49% απώλεια υγρασίας. Από τον προσδιορισμό της ξηράς ουσίας διαπιστώθηκε ότι η ξήρανση αυτών των δειγμάτων, κάτω από αυτές τις συνθήκες, οδήγησε σε μεταβολή της εναπομένουσας υγρασίας, σε ξηρή βάση, από 3.19 kg νερού/ kg Ξ.Ο. σε 1.03 kg νερού/ kg Ξ.Ο., ενώ η υγρασία των τυριών, σε υγρή βάση, μειώθηκε από 76.08% σε 50.66%. Στη συνέχεια, τα κεφάλια Ανθότυρου κυλινδρικού σχήματος ξηράνθηκαν σε ρεύμα αέρα στους 25°C για 72 h. Ύστερα από το ζύγισμα των κεφαλιών, πριν και μετά την ξήρανση, υπολογίστηκε ότι η διεργασία της ξήρανσης, κάτω



από αυτές τις συνθήκες, συνέβαλλε σε απώλεια υγρασίας 44.61%. Η υγρασία, σε ξηρή βάση, προσδιορίστηκε ότι μεταβλήθηκε από 2.02 kg νερού/ kg Ξ.Ο. σε 0.79 kg νερού/ kg Ξ.Ο. και η υγρασία, σε υγρή βάση, μειώθηκε από 66.83% σε 43.94%. Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα αποτελέσματα παρατηρείται ότι τα κεφάλια Ανθότυρου σχήματος κόλουρου κώνου χρειάστηκαν επιπλέον 48 h ξήρανσης προκειμένου να επιτευχθεί ίσο ποσοστό απώλειας υγρασίας με τα κυλινδρικά κεφάλια Ανθότυρου. Ο μεγαλύτερος χρόνος ξήρανσης των τυροκεφαλών σχήματος κόλουρου κώνου ήταν αναμενόμενος λόγω του μεγαλύτερου όγκου τους και συνεπώς λόγω του μεγαλύτερου όγκου του νερού που έπρεπε να απομακρυνθεί.

### 3.2.2 Προσδιορισμός της ενεργότητας νερού ( $a_w$ )

Η ενεργότητα νερού ( $a_w$ ) των τυροκεφαλών προσδιορίστηκε με το όργανο μέτρησης ενεργότητας νερού, Hygrolab C1 (Rotronic AG, Bassersdorf, Schweiz), πριν ξεκινήσει η διεργασία της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα στους 25°C και αφού ολοκληρώθηκε η διεργασία αυτή. Στα κεφάλια Ανθότυρου σχήματος κόλουρου κώνου, μετά από παραμονή τους στο φούρνο για 120 h, παρατηρήθηκε μείωση της ενεργότητας του νερού από  $0.95 \pm 0.003$  σε  $0.93 \pm 0.003$ , ενώ η παραμονή των κεφαλιών Ανθότυρου κυλινδρικού σχήματος στο φούρνο για 72 h οδήγησε σε μείωση της ενεργότητας νερού από 0.95 σε  $0.94 \pm 0.005$ . Από αυτά τα αποτελέσματα γίνεται αντιληπτό ότι ο μεγαλύτερος χρόνος ξήρανσης και ο μεγαλύτερος όγκος του νερού που απομακρύνθηκε από τα κεφάλια σχήματος κόλουρου κώνου, συνέβαλαν σε μεγαλύτερη ελάττωση της ενεργότητας νερού των κεφαλιών Ανθότυρου, συγκριτικά με τα κυλινδρικά κεφάλια, για τις δεδομένες συνθήκες.

### 3.2.3 Προσδιορισμός της μεταβολής του χρώματος

Για την αξιολόγηση του χρώματος του Ανθότυρου κατά τη ξήρανση του, μετρήθηκε το εξωτερικό και το εσωτερικό χρώμα των δειγμάτων, πριν και μετά τη διεργασία της ξήρανσης, με την εφαρμογή του χρωματόμετρου χειρός NS800 Spectrophotometer (3nh, Shenzhen, China) στην αντίστοιχη επιφάνεια του δείγματος. Όπως έχει προαναφερθεί, τα αποτελέσματα των μετρήσεων εκφράστηκαν στην κλίμακα CIE (L, a, b) και από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προσδιορίστηκε η ολική μεταβολή χρώματος ( $\Delta E$ ) των δειγμάτων Ανθότυρου, η οποία προέκυψε μέσω της διεργασίας της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα στους 25°C. Οι τιμές της ολικής μεταβολής χρώματος ( $\Delta E$ ) του Ανθότυρου παρουσιάζονται στον Πίνακα 15. Από τον Πίνακα 15 είναι εμφανής η επίδραση της

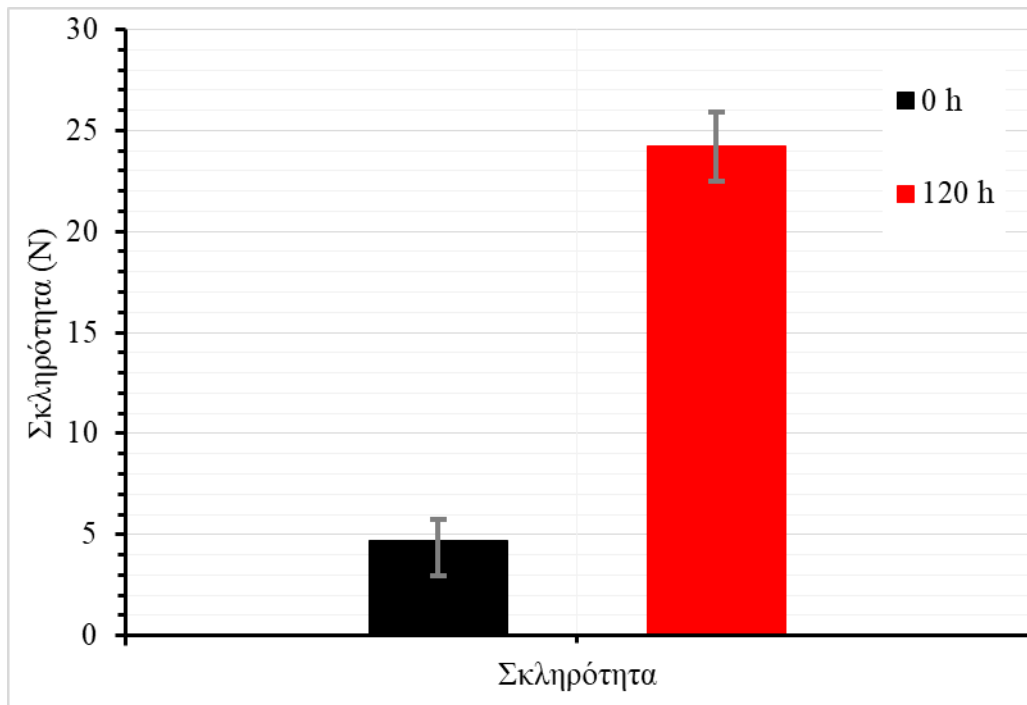
ξήρανσης στη μεταβολή του χρώματος των δειγμάτων Ανθότυρου. Τα κεφάλια Ανθότυρου σχήματος κόλουρου κώνου, ύστερα από ξήρανση σε συγκεκριμένες συνθήκες για 120 h, παρουσίασαν μεγαλύτερη ολική μεταβολή χρώματος από τα κεφάλια κυλινδρικού σχήματος, τα οποία ξηράνθηκαν για 72 h. Επομένως, μεγαλύτερος χρόνος επεξεργασίας συνεπάγεται και μεγαλύτερη μεταβολή του χρώματος, τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό του Ανθότυρου, καθώς αυτό κιτρινίζει.

**Πίνακας 15.** Τιμές της ολικής μεταβολής χρώματος ( $\Delta E$ ) του εσωτερικού και του εξωτερικού του Ανθότυρου, ύστερα από ξήρανση σε ρεύμα αέρα στους 25°C.

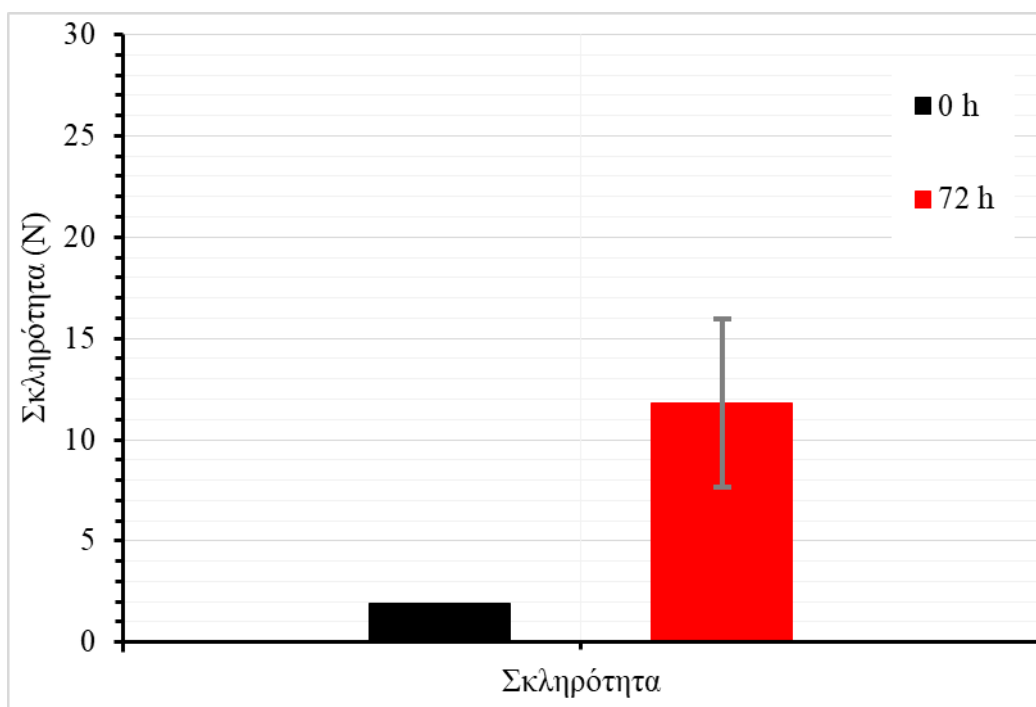
Ανθότυρο (Σχήμα)	$\Delta E$	
	Εσωτερικό	Εξωτερικό
<b>Κόλουρος κώνος</b>	10.85	13.43
<b>Κύλινδρος</b>	9.97	12.08

#### 3.2.4 Προσδιορισμός της μεταβολής της σκληρότητας

Η ανάλυση υφής πραγματοποιήθηκε με τη διεξαγωγή ενός κύκλου συμπίεσης στην επιφάνεια των τυροκεφαλών. Κατά τη διάρκεια της συμπίεσης καταγράφηκε η μεταβολή της δύναμης και προσδιορίστηκε η μέγιστη δύναμη η οποία εκφράζει τη σκληρότητα του Ανθότυρου. Οι τιμές σκληρότητας για τα δείγματα Ανθότυρου παρουσιάζονται στα Σχήματα 26 και 27. Αντίστοιχη συμπεριφορά με το χρώμα φαίνεται να παρουσιάζει και η σκληρότητα των δειγμάτων, η οποία, όπως φαίνεται από τα Σχήματα 26 και 27, αυξήθηκε με τη διεργασία της ξήρανσης. Η αύξηση της σκληρότητας των τυριών θα μπορούσε να αποδοθεί στην αφυδάτωση που λαμβάνει χώρα κατά τη διεργασία της ξήρανσης. Μάλιστα παρατηρήθηκε ότι μεγαλύτερος χρόνος ξήρανσης και ο μεγαλύτερος όγκος του νερού που απομακρύνθηκε από τα κεφάλια Ανθότυρου σχήματος κόλουρου κώνου οδήγησαν στην παραγωγή αποξηραμένων κεφαλιών Ανθότυρου με αυξημένες τιμές σκληρότητας, σε σχέση με τα κυλινδρικά κεφάλια.



**Σχήμα 26.** Τιμές της σκληρότητας του Ανθότυρου σχήματος κόλουρου κώνου, πριν και μετά την ξήρανση σε ρεύμα αέρα στους 25°C.



**Σχήμα 27.** Τιμές της σκληρότητας του Ανθότυρου σχήματος κυλίνδρου, πριν και μετά την ξήρανση σε ρεύμα αέρα στους 25°C.

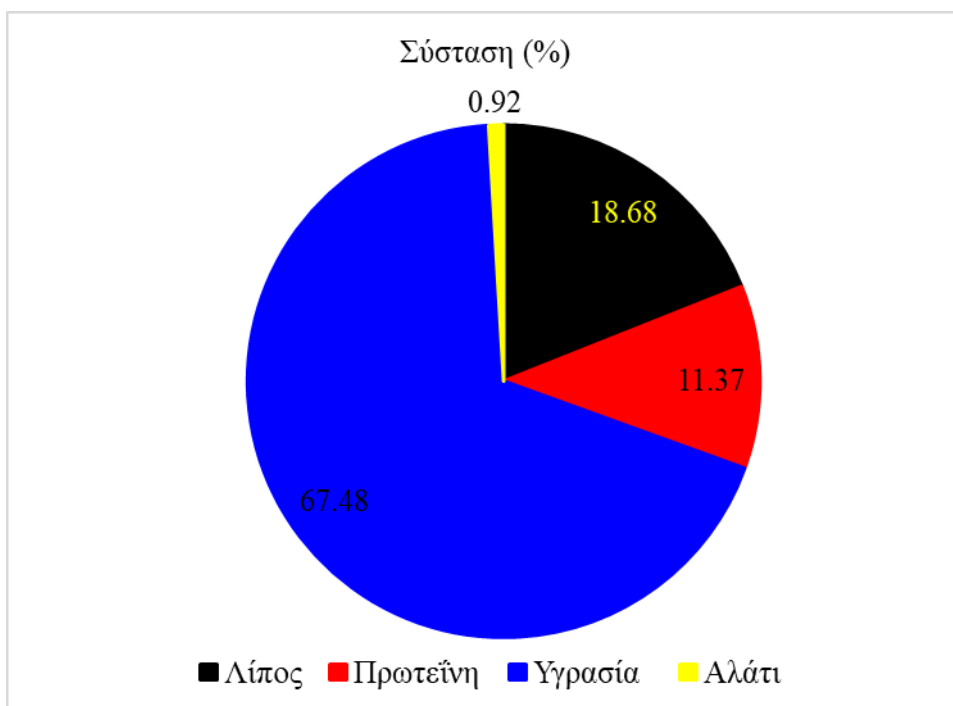
### 3.2.5 Προσδιορισμός της γενικής σύστασης

Παράλληλα με τις υπόλοιπες μετρήσεις πραγματοποιήθηκε και ο προσδιορισμός της γενικής σύστασης (λίπος, πρωτεΐνη, υγρασία, αλάτι) των κεφαλιών Ανθότυρου. Ο προσδιορισμός, όπως έχει προαναφερθεί, πραγματοποιήθηκε με τη συσκευή Foodscan (FOSS, Hilleroed, Denmark). Τα δείγματα Ανθότυρου σχήματος κόλουρου κώνου μελετήθηκαν μετά την ολοκλήρωση της διεργασίας της ξήρανσης, ενώ τα δείγματα Ανθότυρου κυλινδρικού σχήματος μελετήθηκαν πριν και μετά από τη ξήρανση. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 16 και στα Σχήματα 28 και 29. Από τον Πίνακα 16 και λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα του Κεφαλαίου 3.2.1 για τον προσδιορισμό της υγρασίας σε υγρή βάση των κεφαλιών Ανθότυρου, εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι η διεργασία της ξήρανσης στους 25°C για 120 h οδήγησε σε σημαντική μείωση της περιεχόμενης υγρασίας τους. Πιο συγκεκριμένα, πριν τη διεργασία της ξήρανσης τα δείγματα αποτελούνταν από υγρασία, σε υγρή βάση, 76.08%, ενώ μετά την ολοκλήρωσή της η περιεχόμενη υγρασία του Ανθότυρου σε υγρή βάση, όπως αυτή προσδιορίστηκε με τη συσκευή FoodScan, ήταν 47.21%.

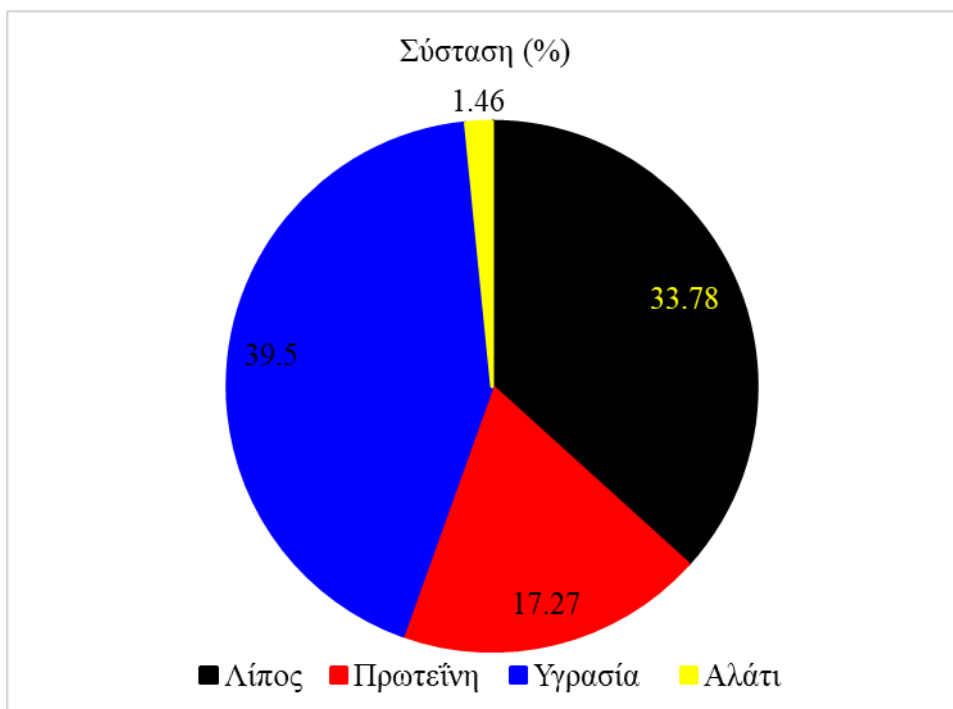
**Πίνακας 16.** Σύσταση (%) των κεφαλιών Ανθότυρου σχήματος κόλουρου κώνου μετά την ολοκλήρωση της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα στους 25°C.

<b>Ανθότυρο σχήματος κόλουρου κώνου</b>	
<b>Λίπος</b>	23.14 %
<b>Πρωτεΐνη</b>	21.88 %
<b>Υγρασία</b>	47.21 %
<b>Αλάτι</b>	1.43 %

Τα αποτελέσματα του προσδιορισμού της γενικής σύστασης του Ανθότυρου κυλινδρικού σχήματος πριν και μετά από τη ξήρανση παρουσιάζονται στα Σχήματα 28 και 29 αντίστοιχα.



**Σχήμα 28.** Σύσταση (%) των κεφαλιών Ανθότυρου κυλινδρικού σχήματος πριν την ξήρανση σε ρεύμα αέρα στους 25°C.



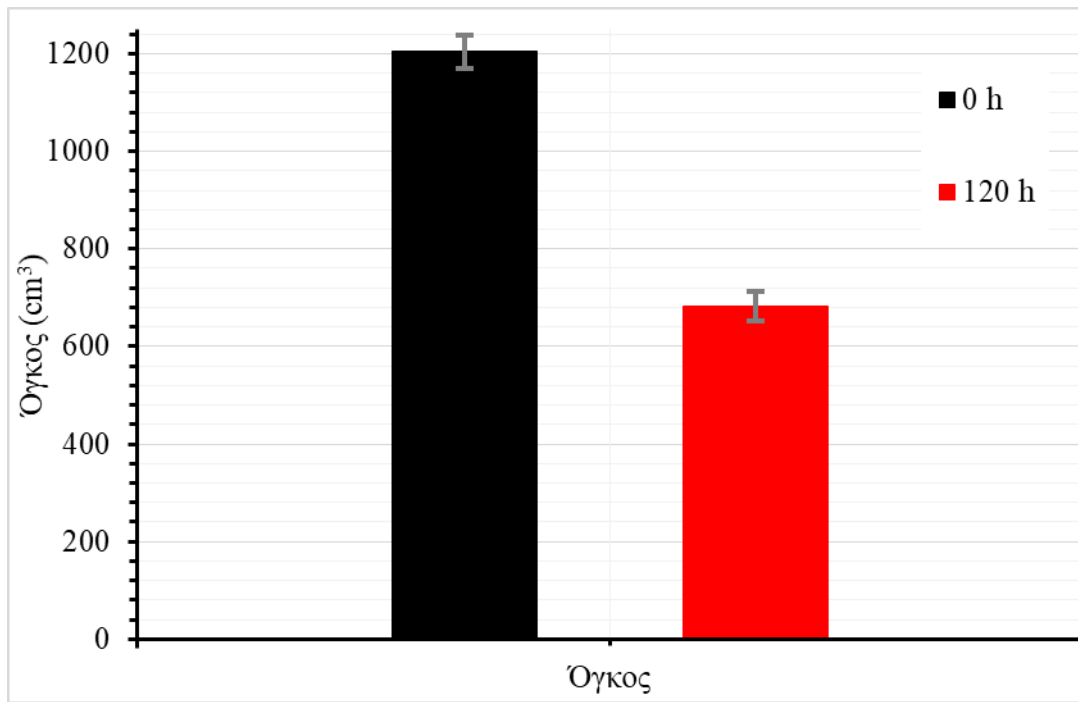
**Σχήμα 29.** Σύσταση (%) των κεφαλιών Ανθότυρου κυλινδρικού σχήματος κατά την ολοκλήρωση της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα στους 25°C.

Από τα Σχήματα 28 και 29 είναι φανερό ότι η διεργασία της ξήρανσης στους 25°C για 72 h συνέβαλε σε μείωση της περιεχόμενης υγρασίας, σε υγρή βάση, των τυροκεφαλών, ενώ ταυτόχρονα αυξήθηκε η περιεκτικότητά τους σε λίπος, πρωτεΐνη και αλάτι. Επιπλέον, υπολογίστηκε η μεταβολή (%) της σύστασης των τυριών αυτών με τη διεργασία της ξήρανσης. Πιο συγκεκριμένα, η διεργασία της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα των κεφαλιών Ανθότυρου κυλινδρικού σχήματος, στους 25°C για 72 h, οδήγησε σε αύξηση του λίπους κατά 80.84%, της πρωτεΐνης κατά 51.89% και του αλατιού κατά 58.7%, ενώ ταυτόχρονα μειώθηκε η περιεχόμενη υγρασία σε υγρή βάση κατά 41.46%.

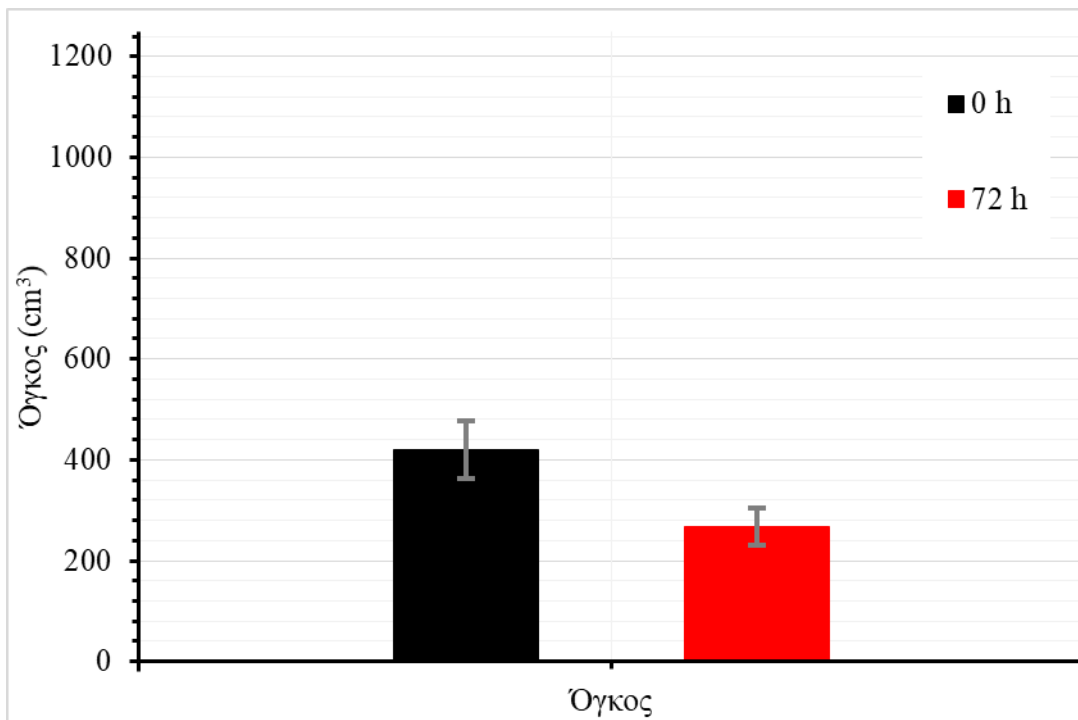
Σε ό,τι αφορά στην υγρασία σε υγρή βάση των δειγμάτων Ανθότυρου, οι μετρήσεις που λήφθηκαν με τη συσκευή FoodScan (FOSS, Hilleroed, Denmark) είναι σύμφωνες με τις τιμές της υγρασίας σε υγρή βάση, οι οποίες προσδιορίστηκαν υπολογιστικά στο Κεφάλαιο 3.2.1.

### 3.2.6 Προσδιορισμός της συρρίκνωσης

Τα ύψη και οι διάμετροι των κεφαλιών Ανθότυρου προσδιορίστηκαν πριν τοποθετηθούν οι τυροκεφαλές στον κλίβανο ξήρανσης και αφού ολοκληρώθηκε η ξήρανσή τους. Έπειτα, από τις Εξισώσεις 18 και 19 υπολογίστηκαν οι αντίστοιχοι όγκοι των τυροκεφαλών και παρουσιάζονται στα Σχήματα 30 και 31. Σύμφωνα με τα Σχήματα 30 και 31 και λαμβάνοντας υπόψη την Εξίσωση 17 υπολογίστηκε η συρρίκνωση των κεφαλιών Ανθότυρου ύστερα από την ολοκλήρωση της ξήρανσής τους. Η ξήρανση των κεφαλιών σχήματος κόλουρου κώνου στους 25°C για 120 h οδήγησε σε συρρίκνωση 56.74%. Τα κυλινδρικά κεφάλια Ανθότυρου παρουσίασαν συρρίκνωση 63.51% ύστερα από την ξήρανσή τους στους 25°C για 72 h. Από τα αποτελέσματα αυτά εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι ο μεγαλύτερος χρόνος επεξεργασίας συνέβαλε σε μεγαλύτερη συρρίκνωση. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο εάν ληφθεί υπόψη ότι ο μεγαλύτερος χρόνος ξήρανσης και ο μεγαλύτερος όγκος των κεφαλιών Ανθότυρου σχήματος κόλουρου κώνου, συγκριτικά με τα κυλινδρικά κεφάλια, συνέβαλαν σε μεγαλύτερο όγκο του νερού που απομακρύνθηκε από το τρόφιμο και επομένως σε μεγαλύτερη συρρίκνωση του Ανθότυρου.



**Σχήμα 30.** Όγκοι κεφαλιών Ανθότυρου σχήματος κόλουρου κώνου πριν και μετά την ολοκλήρωση της ξήρανσης.



**Σχήμα 31.** Όγκοι κεφαλιών Ανθότυρου σχήματος κυλίνδρου πριν και μετά την ολοκλήρωση της ξήρανσης.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή μελετήθηκε η βελτιστοποίηση της διεργασίας της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα Ανθότυρου, για την παραγωγή τυριών με ανώτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη και η ανάλυση παραμέτρων (θερμοκρασία ξήρανσης, χρόνος ξήρανσης, μέγεθος και σχήμα των τυριών) που επηρεάζουν τη διεργασία της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα και η διερεύνηση της κινητικής της ξήρανσης τυριών τυρογάλακτος.

Στην Πρώτη Θεματική Ενότητα των πειραμάτων, πραγματοποιήθηκε ξήρανση σε ρεύμα αέρα, υπό σταθερή ταχύτητα αέρα, σε σφαιρικά δείγματα Ανθότυρου, ακτίνας 0.02 m, με σκοπό τη μελέτη της επίδρασης διαφόρων θερμοκρασιών ξήρανσης (25, 45 και 65°C) στη μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας του Ανθότυρου σε σχέση με το χρόνο και τον προσδιορισμό των αντίστοιχων συντελεστών διάχυσης της υγρασίας. Επίσης, προσδιορίστηκαν η μεταβολή της ενεργότητας του νερού ( $a_w$ ) και η ολική μεταβολή του χρώματος των σφαιρικών δειγμάτων Ανθότυρου σε κάθε χρονική στιγμή, που πραγματοποιούνταν δειγματοληψία.

Στη Δεύτερη Θεματική Ενότητα των πειραμάτων πραγματοποιήθηκε ξήρανση υπό αέρα στους 25°C, υπό σταθερή ταχύτητα αέρα, σε ολόκληρα κεφάλια Ανθότυρου, με σκοπό τη μελέτη της επίδρασης αυτής της διεργασίας στα φυσικοχημικά (προσδιορισμός της απώλειας υγρασίας, των περιεχόμενων στο Ανθότυρο ολικών στερεών, της αρχικής υγρασίας, της υγρασίας ισορροπίας, της μεταβολής της ενεργότητας του νερού, της γενικής σύστασης) και ποιοτικά χαρακτηριστικά (προσδιορισμός της μεταβολής του χρώματος, της σκληρότητας και του βαθμού συρρίκνωσης) των τυροκεφαλών. Στα πλαίσια της Δεύτερης Θεματικής Ενότητας μελετήθηκαν δύο ειδών δείγματα. Η πρώτη σειρά δειγμάτων αποτελούνταν από κεφάλια Ανθότυρου σχήματος κόλουρου κώνου, τα οποία ξηράνθηκαν σε ρεύμα αέρα για 120 h (5 d), και η δεύτερη σειρά δειγμάτων αποτελούνταν από κεφάλια κυλινδρικού σχήματος, τα οποία ξηράνθηκαν σε ρεύμα αέρα για 72 h (3 d).

Όπως ήταν αναμενόμενο, κατά την ξήρανση των σφαιρικών δειγμάτων Ανθότυρου παρατηρήθηκε ότι η θερμοκρασία είχε σημαντική επίδραση στο ρυθμό της ξήρανσης των δειγμάτων. Υψηλότερες θερμοκρασίες ξήρανσης είχαν σαν αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού ξήρανσης. Η αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης είχε σαν αποτέλεσμα τη μείωση της υγρασίας ισορροπίας στο θερμοκρασιακό εύρος 25-65°C.

Η ενεργότητα νερού των δειγμάτων Ανθότυρου ελαττώθηκε με την πάροδο του χρόνου ξήρανσης και με την αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης. Εμφανής ήταν η επίδραση της θερμοκρασίας και του χρόνου ξήρανσης στην ολική μεταβολή του χρώματος



των δειγμάτων Ανθότυρου. Όσο μεγαλύτερη ήταν η θερμοκρασία και ο χρόνος ξήρανσης, τόσο μεγαλύτερη ήταν και η ολική μεταβολή του χρώματος που παρατηρήθηκε στο Ανθότυρο, καθώς αυτό απέκτησε κίτρινο χρωματισμό.

Η αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση του συντελεστή διάχυσης της υγρασίας στο θερμοκρασιακό εύρος 25-65°C. Παρατηρήθηκε επιπλέον ότι ο συντελεστής διάχυσης της υγρασίας για την ξήρανση του Ανθότυρου στους 65°C ήταν ελαφρώς μεγαλύτερος από το συντελεστή διάχυσης της υγρασίας στους 45°C. Η μικρή αυτή διαφορά μεταξύ των τιμών του συντελεστή διάχυσης της υγρασίας για την ξήρανση του Ανθότυρου στους 45°C και στους 65°C θα μπορούσε να αποδοθεί στην σκλήρυνση του φλοιού του Ανθότυρου κατά τη διάρκεια της ξήρανσης στους 65°C, ένα φαινόμενο που εμπόδιζε τη διάχυση της περιεχόμενης υγρασίας, με αποτέλεσμα τις παραπλήσιες τιμές του συντελεστή διάχυσης της υγρασίας για την ξήρανση στους 45°C και στους 65°C. Η επίδραση της θερμοκρασίας ξήρανσης στο ρυθμό μεταβολής του συντελεστή διάχυσης της υγρασίας εκφράστηκε από την εξίσωση Arrhenius (Εξ. 8). Ο υπολογισμός των κινητικών παραμέτρων της σχέσης του Arrhenius,  $E_a$  (kJ/mol) και  $D_{ref}$  ( $m^2/s$ ), θεωρώντας ως θερμοκρασία αναφοράς τους 40°C (ή 313.16 K), κατέστησε εφικτό τον προσδιορισμό του συντελεστή διάχυσης της υγρασίας του συγκεκριμένου Ανθότυρου σε διάφορες θερμοκρασίες ξήρανσης.

Επιπλέον, με την υπολογιστική προσέγγιση της υγρασίας ισορροπίας του Ανθότυρου προσδιορίστηκαν τιμές παραπλήσιες με αυτές που προέκυψαν από τη μέθοδο προσδιορισμού των περιεχόμενων στο Ανθότυρο ολικών στερεών. Αντίστοιχα, ικανοποιητικά ήταν και τα αποτελέσματα του προσδιορισμού των συντελεστών διάχυσης της υγρασίας του Ανθότυρου και των παραμέτρων της σχέσης του Arrhenius, καθώς οι τιμές τους ήταν σχεδόν ίσες με αυτές που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο προσδιορισμού των περιεχόμενων στο Ανθότυρο ολικών στερεών (ISO 5534, IDF 4, 2004).

Από τη διεξαγωγή της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα στους 25°C των κεφαλιών Ανθότυρου αποδείχτηκε ότι η ξήρανση των κεφαλιών σχήματος κόλουρου κώνου για 120 h οδήγησε σε σχεδόν ίσο ποσοστό απώλειας υγρασίας με την ξήρανση των κυλινδρικών κεφαλιών για 72 h. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο εάν ληφθεί υπόψη ο μεγαλύτερος όγκος των δειγμάτων σχήματος κόλουρου κώνου, και επομένως ο μεγαλύτερος όγκος του νερού που έπρεπε να απομακρυνθεί, συγκριτικά με τα κυλινδρικά κεφάλια.

Όσον αφορά την ενεργότητα νερού των τυροκεφαλών παρατηρήθηκε ότι ο μεγαλύτερος χρόνος ξήρανσης και ο μεγαλύτερος όγκος του νερού που απομακρύνθηκε από τα κεφάλια σχήματος κόλουρου κώνου, συνέβαλαν σε μεγαλύτερη ελάττωση της

ενεργότητας του νερού τους, συγκριτικά με τα κυλινδρικά κεφάλια, για τις δεδομένες συνθήκες. Η επίδραση της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα ήταν εμφανής στην ολική μεταβολή του χρώματος των δειγμάτων Ανθότυρου. Τα κεφάλια Ανθότυρου σχήματος κόλουρου κώνου, ύστερα από ξήρανση σε ρεύμα αέρα για 120 h, παρουσίασαν μεγαλύτερη ολική μεταβολή χρώματος από τα κεφάλια κυλινδρικού σχήματος, τα οποία ξηράνθηκαν για 72 h. Επομένως, ο μεγαλύτερος χρόνος επεξεργασίας οδήγησε σε μεγαλύτερη ολική μεταβολή του χρώματος, τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό του τυριού, δίνοντας κίτρινα δείγματα.

Αντίστοιχη συμπεριφορά με το χρώμα παρουσίασε και η σκληρότητα των δειγμάτων, η οποία αυξήθηκε με τη διεργασία της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα. Μάλιστα παρατηρήθηκε ότι μεγαλύτερος χρόνος ξήρανσης και ο μεγαλύτερος όγκος του νερού που απομακρύνθηκε από τα κεφάλια Ανθότυρου σχήματος κόλουρου κώνου οδήγησαν στην παραγωγή αποξηραμένων κεφαλιών Ανθότυρου με αυξημένες τιμές σκληρότητας, σε σχέση με τα κυλινδρικά κεφάλια.

Από τον προσδιορισμό της γενικής σύστασης των κυλινδρικών κεφαλιών Ανθότυρου διαπιστώθηκε ότι η διεργασία της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα συνέβαλε σε μείωση της περιεχόμενης υγρασίας τους, σε υγρή βάση, ενώ ταυτόχρονα αυξήθηκε η περιεκτικότητά τους σε λίπος, πρωτεΐνη και αλάτι. Όσον αφορά το ποσοστό συρρίκνωσης των τυροκεφαλών, ο μεγαλύτερος χρόνος ξήρανσης και ο μεγαλύτερος όγκος των κεφαλιών Ανθότυρου σχήματος κόλουρου κώνου, συγκριτικά με τα κυλινδρικά κεφάλια, συνέβαλαν σε μεγαλύτερο όγκο του νερού που απομακρύνθηκε και επομένως σε μεγαλύτερη συρρίκνωση του Ανθότυρου.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, η ξήρανση σε ρεύμα αέρα σε υψηλές θερμοκρασίες (45 και 65°C), παρόλο που ολοκληρώθηκε σε σύντομο χρονικό διάστημα, οδήγησε σε υποβάθμιση των φυσικοχημικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών του Ανθότυρου. Ενώ, η ξήρανση σε ρεύμα αέρα στους 25°C είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή προϊόντων Ξηρού Ανθότυρου, με βελτιωμένα φυσικοχημικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά. Η ξήρανση σε ρεύμα αέρα του Ανθότυρου στους 25°C για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα οδήγησε στην παραγωγή Ξηρού Ανθότυρου με τελική υγρασία σε υγρή βάση 40-50%.

Συμπερασματικά, θα ήταν πολύ ενδιαφέρον αν πραγματοποιούνταν πειράματα ξήρανσης σε ρεύμα αέρα δειγμάτων Ανθότυρου διαφορετικού σχήματος, πλάκας ή κυλίνδρου, στις ίδιες θερμοκρασίες ξήρανσης (25, 45 και 65°C) προκειμένου να συγκριθούν οι συντελεστές διάχυσης της υγρασίας τους με αυτούς που προσδιορίστηκαν

στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή για τα σφαιρικά δείγματα. Επιπλέον, θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν ξηράνσεις σφαιρικών δειγμάτων Ανθότυρου, ακτίνας 0.02 m, όπως αυτών που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη, σε διάφορες θερμοκρασίες, και να προσδιοριστούν οι συντελεστές διάχυσης της υγρασίας για κάθε θερμοκρασία ξήρανσης ώστε να διαπιστωθεί εάν αυτοί οι συντελεστές διάχυσης της υγρασίας, που προσδιορίστηκαν για την κάθε θερμοκρασία ξήρανσης, μπορούν να προβλεφθούν από την εξίσωση του Arrhenius, με βάση τις παραμέτρους της σχέσης του Arrhenius, που προσδιορίστηκαν σε αυτή τη μελέτη. Επίσης, θα ήταν χρήσιμη η οργανοληπτική αξιολόγηση και η μελέτη της διάρκειας ζωής του Ξηρού Ανθότυρου, ύστερα από ξήρανσή του σε ρεύμα αέρα στους 25°C. Ιδιαίτερη σημασία θα είχε και η διεξαγωγή μίας ανάλυσης κόστους της διεργασίας παραγωγής Ξηρού Ανθότυρου. Το ερώτημα που προκύπτει σε αυτό το σημείο είναι αν θα συνέφερε μία βιομηχανία να αλλάξει τη διαδικασία παραγωγής της προσθέτοντας το στάδιο της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα και να προμηθευτεί επιπλέον τον απαραίτητο μηχανολογικό εξοπλισμό (ξηραντήρα). Στη συνέχεια θα μπορούσε να εφαρμοστεί δοκιμαστικά η παραγωγή των προϊόντων αυτών στη βιομηχανία.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ξένη Βιβλιογραφία**

- Alemrajabi A.A., Rezaee F., Mirhosseini M., Esehaghbeygi A. 2012. Comparative evaluation of the effects of electrohydrodynamic, oven, and ambient air on carrot cylindrical slices during drying process, *Drying Technology*, 30(1): 88-96.
- Anifantakis E.M., 1991. *Greek Cheeses, a Tradition of Centuries*, National Dairy Committee of Greece, Athens, Greece.
- Azizi D., Jafari S.M., Mirzaei H., Dehnad D., 2017. The influence of refractance window drying on qualitative properties of kiwifruit slices, *International Journal of Food Engineering*, 13(2): 1-9.
- Bahmani A., Jafari S.M., Shahidi S.-A., Dehnad D., 2016. Mass transfer kinetics of eggplant during osmotic dehydration by neural networks, *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(5): 815-827.
- Barbosa-Canovas G.V., Vega-Mercado H., 1996. *Dehydration of Foods*, International Thomson Publishing (ITP), New York, USA.
- Chakraborty R., Mukhopadhyay P., Bera M., Suman S., 2011. Infrared-Assisted freeze drying of tiger prawn: Parameter optimization and quality assessment, *Drying Technology*, 29(5): 508-519.
- Codex Alimentarius, 1971. Codex standard for whey cheeses, Codex stan 284.
- Codex Alimentarius, 1995. Codex standard for whey powders, Codex stan 289.
- Defraeye T., 2014. Advanced computational modelling for drying processes – a review, *Applied Energy*, 131 (Supplement C): 323-344.
- Dehnad D., Jafari S.M., Afrasiabi M., 2016. Influence of drying on functional properties of food biopolymers: From traditional to novel dehydration techniques, *Trends in Food Science & Technology*, 57(Part A): 116-131.
- Dev S.R.S., Raghavan V.G.S., 2012. Advancements in drying techniques for food, fiber, and fuel, *Drying Technology*, 30(11-12): 1147-1159.
- Ferrari C.C., Germer S.P.M., De Aguirre J.M., 2012. Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder, *Drying Technology*, 30(2): 154-163.
- Fogler S., 2009. *Μηχανική Χημικών Αντιδράσεων & Σχεδιασμός Αντιδραστήρων*, 4η έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα.
- Gonzalez M.I., 1996. The biotechnological utilization of cheese whey: a review, *Bioresource Technology*, 57(1): 1-11.

- Huang L.-l., Zhang M., 2012. Trends in development of dried vegetable products as snacks, *Drying Technology*, 30(5): 448-461.
- Huang L.-l., Zhang M., Mujumdar A.S., Sun D.-f., Tan G.-w., Tang S., 2009. Studies on decreasing energy consumption for a freeze-drying process of apple slices, *Drying Technology*, 27(9): 938-946.
- HunterLab, 1996. CIE L\*a\*b\* Color Scale, HunterLab the Color Management Company, Applications Note, 8 (7).
- ISO 5534, IDF 4, 2004. Cheese and processed cheese -- Determination of the total solids content (Reference method), International Organization for Standardization.
- ISO 707, IDF 50, 2008. Milk and milk products -- Guidance on sampling, International Organization for Standardization.
- Jafari S.M., Ghalegi Ghalenoei M., Dehnad D., 2017. Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder, *Powder Technology*, 311: 59-65.
- Jafari S.M., Ghanbari V., Ganje M., Dehnad D., 2016. Modeling the drying kinetics of green bell pepper in a heat pump assisted fluidized bed dryer, *Journal of Food Quality*, 39(2): 98-108.
- Jafari S.M., Azizi D., Mirzaei H., Dehnad D., 2016. Comparing quality characteristics of oven-dried and refractance window-dried kiwifruits, *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(3): 362-372.
- Jangam S.V., 2011. An overview of recent developments and some R&D challenges related to drying of foods, *Drying Technology*, 29(12): 1343-1357.
- Jun W., Linlin W., Ling H., Renqing D., Pengcheng W., Fujun D., 2014. Parameters screening of Qula hot-air drying and evaluation of color quality, *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 30(16): 296-304.
- Kaminarides S., Nestoratos K., Massouras T., 2013. Effect of added milk and cream on the physicochemical, rheological and volatile compounds of Greek whey cheeses, *Small Ruminant Research*, 113(s 2-3): 446-453.
- Kandarakis G.J., 1986. Traditional whey cheeses, *International Dairy Federation Bulletin*, 202: 118-124.
- Kaya A., Aydin O., Demirtas C., 2007. Drying kinetics of red delicious apple, *Biosystems Engineering*, 96(4): 517-524.

- Koc B., Eren I., Kaymak Ertekin F., 2008. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method, *Journal of Food Engineering*, 85(3): 340-349.
- Krokida M.K., Foundoukidis E., Maroulis Z., 2004. Drying constant: Literature data compilation for foodstuffs, *Journal of Food Engineering*, 61(3): 321-330.
- Lewicki P.P., Pawlak G., 2003. Effect of drying on microstructure of plant tissue, *Drying Technology*, 21(4): 657-683.
- Lozano J.E., Rotstein E., Urbicain M.J., 1983. Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture contents, *Journal of Food Science*, 48(5): 1497-1502.
- Malekjani N., Jafari S.M., 2018. Simulation of food drying processes by Computational Fluid Dynamics (CFD); recent advances and approaches, *Trends in Food Science & Technology*, 78: 206-223.
- McGuire R.G., 1992. Reporting of objective color measurements. *Horticultural Science*, (27):1254-1255. Referred in: Holcroft D.M. & Kader A.A. 1999, Controlled atmosphere-induced changes in pH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, (17), 19-32.
- Moschopoulou E. and Moatsou G. 2016. Greek Dairy Products: In: "Mediterranean Food: Composition and Processing". Rui Cruz & Margarida Vieira (Eds.) CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp. 268-321.
- Mounir S., Allaf T., Mujumdar A.S., Allaf K., 2012. Swell drying: Coupling Instant Controlled Pressure Drop DIC to standard convection drying processes to intensify transfer phenomena and improve quality-An overview. *Drying Technology*, 30(14): 1508-1531.
- Mujumdar A.S., 2010. Drying R&D past, present and future, Jangam S.V., Thorat B.N. (Eds.), *R&D Needs, Challenges and Opportunities for Innovation in Drying Technology*, e-book.
- Papademas P., Bintsis T., Alichanidis E., Ardö Y., 2018. *Whey Cheeses (Heat Coagulated)*, *Global Cheesemaking Technology: Cheese Quality and Characteristics*, First Edition, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK.
- Pearce R.J., 1989. Thermal denaturation of whey proteins, *IDF Bull*, 238: 17-23.
- Peters D., 2006. Raw materials, *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.* 105: 1-30.
- Pinho A. R. C., Assis F. R., Peres A. P., Pintado M. E., Morais A. M.M.B., 2017. Dehydration of cheese by hot air, microwave and freeze-drying, *St. Cerc. St. CICBIA*, 18 (4):455-460.

- Praveen Kumar D.G., Umesh Hebbar H., Sukumar D., Ramesh M.N., 2005. Infrared and hot-air drying of onions, *Journal of Food Processing and Preservation*, 29(2): 132-150.
- Rahman S., Potluri L., 1990. Shrinkage and density of squid flesh during air drying, *Journal of Food Engineering*, 12(2): 133-143.
- Rewthong O., Soponronnarit S., Taechapiroj C., Tungtrakul P., Prachayawarakorn S., 2011. Effects of cooking, drying and pretreatment methods on texture and starch digestibility of instant rice, *Journal of Food Engineering*, 103(3): 258-264.
- Roos, Y.H., 1995. *Phase Transitions in Foods* (1st ed). Academic Press, London, UK.
- Sabarez H., 2016. *Drying of Food Materials*, Reference Module in Food Science.
- Saravacos G.D., 1967. Effect of the drying method on the water sorption of dehydrated apple and potato, *Journal of Food Science*, 32(1): 81-84.
- Singh R.P., Heldman D.R., 2014. *Introduction to Food Engineering*, Food Science and Technology, Fifth Edition, Academic Press.
- Sturm B., Hofacker W.C., Hensel O., 2012. Optimizing the drying parameters for hot-air-dried apples, *Drying Technology*, 30(14): 1570-1582.
- Van Brakel J., 1979. The choice and design of dryers - A personal view, *The Chemical Engineer*, 493-495.
- Yanniotis S., 2008. *Solving Problems in Food Engineering*, Springer, New York, USA.
- Zhang M., Jiang H., Lim R.-X., 2010. Recent developments in microwave-assisted drying of vegetables, fruits, and aquatic products-Drying kinetics and quality considerations, *Drying Technology*, 28 (11): 1307-1316.

## **Ελληνική Βιβλιογραφία**

- Ανυφαντάκης Ε., 2004. Τυροκομία Χημεία-Φυσικοχημεία-Μικροβιολογία, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- Γιαννιώτης Σ., 2000. Μηχανική Τροφίμων, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Γιαννιώτης Σ., 2011. Μηχανική Τροφίμων, Μέρος 1<sup>ο</sup>: Φαινόμενα μεταφοράς στη μηχανική τροφίμων, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Γιαννιώτης Σ., 2014. Μηχανική Τροφίμων, Μέρος 2<sup>ο</sup>: Βασικές διεργασίες επεξεργασίας τροφίμων, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Δημόπουλος Ε., 2013. «Παρασκευή και μελέτη τυριών τυρογάλακτος μειωμένης λιποπεριεκτικότητας», Μεταπτυχιακή μελέτη, Τμήματα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων και Επιστήμης Ζωικής Παραγωγής και Υδατοκαλλιεργειών, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Θειακός Αι., 2008. «Αφυδάτωση Ανθότυρου», Πτυχιακή Μελέτη, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Κανονισμός (ΕΕ) 1151/2012, ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ για τα συστήματα ποιότητας των γεωργικών προϊόντων και τροφίμων.
- Κατσαλήρου Μ., 2017. «Ανάλυση των απωλειών μάζας σε ψυχοσυντηρούμενα νεκταρίνια με την εφαρμογή υπολογιστικής ρευστοδυναμικής», Διπλωματική εργασία, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Κουμανδράκη Χ., 2017. «Μελέτη και εφαρμογή ωσμωτικής διεργασίας για την παραγωγή καινοτόμου προϊόντος αφυδατωμένου λευκού τυριού με βέλτιστη οργανοληπτική ποιότητα και μακρά διατηρησιμότητα», Διπλωματική εργασία, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Κροκίδα Μ., 1999. «Επίδραση της μεθόδου ξήρανσης στις ιδιότητες των αφυδατωμένων προϊόντων», Διδακτορική διατριβή, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Κροκίδα Μ., Κουρής Μ. Δ., Μαρούλης Ζ.Β., 2003. Σχεδιασμός Θερμικών Διεργασιών, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ.
- ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ, 2014. Τυροκομικά προϊόντα, Τυριά από τυρόγαλα, με ή χωρίς ωρίμανση, Υπουργείο Δικαιοσύνης, Διαφάνειας και Ανθρωπίνων Δικαιωμάτων.
- Λυγερού Β., Ασημακόπουλος Κ., Αραμπατζής Γ., 2005. Μεταφορά Μάζας, Εκδ.Παπασωτηρίου, Αθήνα.



- Μασούρας Θ., 2017. «Καινοτομία στο γαλακτοκομικό τομέα», Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων & Διατροφής του Ανθρώπου, Εργαστήριο Γαλακτοκομίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Οικονομοπούλου Β., 2014. «Ανάπτυξη τροφίμων πορώδους δομής», Διδακτορική διατριβή, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Σέμπου Α., 2014. «Προτυποποίηση και υπολογιστική προσομοίωση φαινομένων διάχυσης στη ξήρανση φρούτων», Διπλωματική εργασία, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Ταούκης Π., Ωραιπούλου Β., 2009. Επιστήμη και μηχανική διεργασιών τροφίμων, Εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα.