



**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ



## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

### **ΞΗΡΑΝΣΗ ΜΕ ΕΚΝΕΦΩΣΗ ΤΟΥ ΚΕΦΙΡ - ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΤΕΛΙΚΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ**

**Spray drying of kefir - study on the parameters affecting the  
final product quality**

**ΚΑΡΙΠΟΓΛΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2023**

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### **ΞΗΡΑΝΣΗ ΜΕ ΕΚΝΕΦΩΣΗ ΤΟΥ ΚΕΦΙΡ - ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΤΕΛΙΚΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ**

**Spray drying of kefir - study on the parameters affecting the  
final product quality**

#### **ΚΑΡΙΠΟΓΛΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

Υποβολή διπλωματικής εργασίας προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για την απονομή πτυχίου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών του Τμήματος Επιστήμης & Τεχνολογίας Τροφίμων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος με τίτλο "*Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας και Οργάνωσης Παραγωγής στη Βιομηχανία Τροφίμων*".

(Ταχ. Δ/ση: 57400 Σίνδος - Θεσσαλονίκης ΤΘ 141)

Επιβλέπων: Γούλας Αθανάσιος (Επίκουρος καθηγητής)

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2023

### **Δήλωση περί μη λογοκλοπής**

Δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω κάνει σαφείς αναφορές (συντάκτη, χρονολογία, εργασία, σελίδα) στις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, προτάσεων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε είναι παραφρασμένες. Καταλαβαίνω ότι αποτυχία να γίνει αυτό, ανέρχεται σε λογοκλοπή και θα θεωρηθεί λόγος αποτυχίας, σε αυτή την Διπλωματική Εργασία και του συνολικού βαθμού της.

**ΚΑΡΙΠΟΓΛΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η ξήρανση με εκνέφωση του όξινου γαλακτοκομικού προϊόντος – κεφίρ σε εργαστηριακό ξηραντήρα με θερμοκρασία εισόδου 140 °C, θερμοκρασία εξόδου 90 °C και με την χρήση διαφορετικών μέσων ενθυλάκωσης, όπως τρεχαλόζη, φρουκτοολιγοσακχαρίτες, πρωτεΐνες ορού γάλακτος, αραβικό κόμμι, καραγενάνη και μαλτοδεξτρίνη. Ειδικότερα, η μελέτη επικεντρώθηκε στις παράμετρους που επηρεάζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος σε συνδυασμό με τα διαφορετικά μέσα ενθυλάκωσης. Αναφορικά με τις παραμέτρους, το περιεχόμενο υγρασίας εμφανίστηκε χαμηλότερο στα δείγματα με την προσθήκη αραβικού κόμμιος, με το ποσοστό της υγρασίας σε όλο το εύρος των δειγμάτων να κυμαίνεται από 2,6% έως 5,7%. Η μέτρηση της οξύτητας παρουσίασε φυσιολογικά μειωμένες τιμές που κυμάνθηκαν από 0,71% μέχρι 0,93%, εν αντιθέσει με τη διαλυτότητα, όπου στην πλειοψηφία των δειγμάτων το διαλυτό μέρος αποτελούσε το μεγαλύτερο ποσοστό, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τα δείγματα με την προσθήκη μαλτοδεξτρίνης. Τα αποτελέσματα κατά τη μέτρηση της υγροσκοπικότητας είχαν παρόμοια χαρακτηριστικά για το σύνολο των δειγμάτων, αφού η προσρόφιση υγρασίας είχε αυξητική τάση σε σύγκριση με την αύξηση της σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντος. Όσον αφορά τις μετρήσεις της πυκνότητας και του χρώματος, τα ευρήματα έδειξαν ότι στο σύνολο τους τα δείγματα είχαν παρόμοια συμπεριφορά για την χύδην/στοιβαχτή πυκνότητα και το δείκτη λευκότητας αντίστοιχα. Οι μικροβιολογικές μετρήσεις για την παρουσία προβιοτικών, γαλακτικών βακτηρίων, λακτόκοκκων και ζυμών δεν στέφθηκαν με απόλυτη επιτυχία, καθώς παρά τις συνεχόμενες προσπάθειες που έγιναν, επιβεβαιώθηκε μόνο η παρουσία των λακτόκοκκων στα δείγματα σκόνης κεφίρ. Τέλος, το μέγεθος των σωματιδίων ήταν από ~2 μm έως ~50 μm με μέγιστο τα 10 μm και το σχήμα τους ήταν σφαιρικό, το οποίο αποτελεί τυπικό χαρακτηριστικό των υλικών που υφίστανται ξήρανση με εκνέφωση.

## ABSTRACT

In the present thesis, the spray drying of the acidic dairy product - kefir was studied in a laboratory dryer with an inlet temperature of 140 °C, an outlet temperature of 90 °C and using different encapsulation media such as trehalose, fructooligosaccharides (FOS), whey proteins, arabic gum, carrageenan and maltodextrin. In particular, the study focused on the parameters affecting the quality characteristics of the final product in combination with the different encapsulation media. Regarding the parameters, the moisture content appeared lower in the samples with the addition of gum arabic, with the percentage of moisture across the different samples ranging from 2.6% to 5.7%. The acidity measurements showed naturally reduced values ranging from 0.71% to 0.93%, in contrast to solubility, where in the majority of samples the soluble part was higher, with the samples with the addition of maltodextrin being a typical example. Furthermore, the results when measuring hygroscopicity had similar characteristics, since the moisture adsorption had an increasing trend compared to the increase in relative humidity of the environment. Regarding the density and colour measurements, the findings showed that the samples exhibited a similar behavior for bulk/tapped density and whiteness index respectively. The microbiological measurements for the viability of probiotics, lactic bacteria, lactococci and yeasts were not fully successful, as despite continuous efforts, only the presence of lactococci in the kefir powder samples was confirmed. Finally, the maximum particle size was 10 µm with a range from ~2 µm to ~50 µm and the shape was spherical, which is a typical characteristic of materials subjected to spray drying.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|   |    |
|---|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....   | 4  |
| ABSTRACT .....  | 5  |
| ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....  | 6  |
| ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....  | 8  |
| ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ .....   | 8  |
| ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....   | 9  |
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....  | 10 |
| 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....  | 11 |
| 2.1. Το κεφίρ ως γαλακτοκομικό προϊόν .....   | 11 |
| 2.1.1. Ιστορική αναδρομή – τρόποι παρασκευής – διαφοροποιήσεις.....                                 | 11 |
| 2.1.2. Προβιοτική – πρεβιοτική υπόσταση του κεφίρ και ισχυρισμοί υγείας που του αποδίδονται.....    | 13 |
| 2.1.3. Ο πολυσακχαρίτης κεφιράνη, απομόνωση, δυναμικές χρήσεις εφαρμογές και ισχυρισμοί υγείας..... | 16 |
| 2.2. Ξήρανση με εκνέφωση – η μέθοδος, εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων .....                       | 18 |
| 2.2.1. Βασικές αρχές και στάδια της μεθόδου, τύποι ξηραντήρων .....                                 | 18 |
| 2.2.2. Μέθοδοι εκνέφωσης που εφαρμόζονται .....   | 22 |
| 2.3. Ξήρανση με εκνέφωση του κεφίρ .....  | 24 |
| 2.3.1. Ξήρανση με εκνέφωση στη γαλακτοβιομηχανία – γενικές εφαρμογές.....                           | 24 |
| 2.3.2. Ξήρανση του κεφίρ .....  | 24 |
| 2.3.3. Προβλήματα κατά την ξήρανση προϊόντων και τρόποι αντιμετώπισης.....                          | 26 |
| 2.4. Υλικά που χρησιμοποιούνται ως βοηθητικά ξήρανσης στη βιομηχανία τροφίμων .....                 | 27 |
| 2.4.1. Μαλτοδεξτρίνες .....   | 27 |
| 2.4.2. Αραβικό κόμμι.....   | 28 |
| 2.4.3. Τρεχαλόζη.....   | 28 |
| 2.4.4. Φρουκτοολιγосακχαρίτες (FOS).....  | 29 |
| 2.4.5. Καραγενάνες.....   | 29 |
| 2.4.6. Πρωτεΐνες ορού γάλακτος.....   | 29 |
| 3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....   | 31 |
| 4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....   | 32 |
| 4.1. Παρασκευή του κεφίρ.....   | 32 |
| 4.2. Ξήρανση με εκνέφωση του κεφίρ .....  | 33 |
| 4.3. Μέτρηση υγρασίας δειγμάτων.....  | 35 |
| 4.4. Μέτρηση pH των δειγμάτων.....  | 35 |
| 4.5. Προσδιορισμός οξύτητας των δειγμάτων .....   | 36 |
| 4.6. Μέτρηση χύδην και στοιβαχτής πυκνότητας των δειγμάτων.....                                     | 37 |

|   |    |
|---|----|
| 4.7. Υπολογισμός δείκτη διαλυτότητας – Περιεχόμενο σε αδιάλυτα στερεά ..... | 37 |
| 4.8. Προσδιορισμός υγροσκοπικότητας των δειγμάτων μέσω ισόθερων προσρόφησης | 37 |
| 4.9. Κατανομή μεγέθους σωματιδίων δειγμάτων.....                            | 38 |
| 4.10. Μελέτη της μορφολογίας των δειγμάτων .....                            | 39 |
| 4.11. Μικροβιολογικές αναλύσεις .....                                       | 39 |
| 4.12. Προσδιορισμός χρώματος.....   | 40 |
| 4.13. Ανασύσταση των δειγμάτων.....   | 41 |
| 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....   | 42 |
| 5.1. Υγρασία .....  | 42 |
| 5.2. Οξύτητα .....  | 43 |
| 5.3. Διαλυτότητα.....   | 44 |
| 5.4. Υγροσκοπικότητα .....  | 45 |
| 5.5. Χύδην και στοιβαχτή πυκνότητα .....                                    | 47 |
| 5.6. Δείκτης λευκότητας .....   | 48 |
| 5.7. Κατανομή μεγέθους σωματιδίων .....                                     | 49 |
| 5.8. Μελέτη των δειγμάτων με συνεστιακή μικροσκοπία.....                    | 51 |
| 5.9. Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων .....                           | 53 |
| 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....   | 55 |
| 7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....                                     | 56 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....  | 57 |

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

|  |    |
|--|----|
| Πίνακας 1: Παραδείγματα μικροοργανισμών που βρίσκονται σε κόκκους κεφίρ. (Bourrie et al., 2016).....   | 12 |
| Πίνακας 2:Παραδείγματα μικροοργανισμών έναντι των οποίων το κεφίρ αναπτύσσει αντιμικροβιακή δράση (Bourrie et al., 2016).....  | 14 |
| Πίνακας 3: Προτεινόμενες μέθοδοι απομόνωσης και καθαρισμού της κεφίρανης (Συλλογή μεθόδων από Rimada & Abraham, 2003; Ruas-Mediedo & de los Reyes-Gavilan, 2005) ..... | 17 |
| Πίνακας 4: Σύσταση των καλλιιεργειών (Christian-Hansen, 2021) για την παρασκευή των δειγμάτων κεφίρ .....  | 32 |
| Πίνακας 5:Σύσταση δειγμάτων κεφίρ προς ξήρανση με εκνέφωση.....  | 33 |
| Πίνακας 6: Σχετικές υγρασίες (RH%) κορεσμένων διαλυμάτων αλάτων στους 25°C που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των ισόθερμων προσρόφησης .....                   | 38 |
| Πίνακας 7: Μετρήσεις υγρασίας στο μέγιστο ποσοστό σχετικής υγρασίας 95% .....  | 46 |

## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

|   |    |
|---|----|
| Εικόνα 1: Το κεφίρ και οι κόκκοι του.....   | 11 |
| Εικόνα 2: Βασικά οφέλη του κεφίρ στην ανθρώπινη υγεία (Bourrie et al., 2016).....   | 13 |
| Εικόνα 3: Η χημική δομή της κεφίρανης, Glcp: γλουκοπυρανόζη, Galp: γαλακτοπυρανόζη (Kooiman, 1968; Micheli et al., 1999).....   | 15 |
| Εικόνα 4: Σχηματική διάταξη ξηραντήρα εκνέφωσης, των βασικών τμημάτων του και αναφορά των παραμέτρων που επηρεάζουν τις διεργασίες που επιτελούνται σε αυτά (Dobry et al., 2009)..... | 18 |
| Εικόνα 5:Διάταξη του τυπικού, ανοιχτού κύκλου, ομοροής, δύο σταδίων ξηραντήρα εκνέφωσης .....   | 20 |
| Εικόνα 6: Σκαρίφημα ξηραντήρα εκνέφωσης δύο σταδίων με ενσωματωμένη στατική ρευστοποιημένη κλίση όπως παρουσιάζεται από τους Anandharamakrishnan & Ishwarya, (2015).....              | 21 |
| Εικόνα 7: Τύποι εκνεφωτών.(Α) Φυγοκεντρικός (Β) υδραυλικός / ακροφυσίου απλής ροής (Γ) υδραυλικός / ακροφυσίου διπλής ροής (Anandharamakrishnan & Ishwarya, 2015)                     | 23 |
| Εικόνα 8: Προσκόλληση συσσωμάτων στον θάλαμο εκνέφωσης με την προσθήκη διοξειδίου του πυριτίου (Α) και χωρίς την προσθήκη διοξειδίου του πυριτίου (Β) (Evonik Industries, 2019).....  | 27 |
| Εικόνα 9: Δείγματα παραληφθείσας σκόνης αμέσως μετά την ξήρανση με εκνέφωση.  | 34 |
| Εικόνα 10: Εσωτερικού θαλάμου ξήρανσης μετά την ολοκλήρωση της ξήρανσης, με τις επικαθήσεις προϊόντος που σχηματίστηκαν στα τοιχώματα του θαλάμου ξήρανσης.....                       | 34 |
| Εικόνα 11: Δείγμα σκόνης που έχει παραμείνει στον κλίβανο ξήρανσης έπειτα από 24 h  | 35 |
| Εικόνα 12: Κάψες πορσελάνης με την προσθήκη άμμου, νωπού δείγματος και την γυάλινη ράβδο. ....  | 35 |
| Εικόνα 13: Δείγμα έπειτα από την ογκομέτρηση με NaOH N/4.....   | 36 |
| Εικόνα 14: Δείγματα έτοιμα προς τοποθέτηση στα διαφορετικά περιβάλλοντα συνθηκών σχετικής υγρασίας (RH%) .....  | 38 |
| Εικόνα 15: Ανασυσταμένα δείγματα κεφίρ. ....  | 41 |



## ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

|  |    |
|--|----|
| Σχήμα 1:Αποτελέσματα του προσδιορισμού υγρασίας των νωπών δειγμάτων κεφίρ.....   | 42 |
| Σχήμα 2:Αποτελέσματα του προσδιορισμού υγρασίας δειγμάτων σκόνης κεφίρ.....  | 42 |
| Σχήμα 3: Αποτελέσματα του προσδιορισμού οξύτητας των δειγμάτων νωπού κεφίρ και ανασυσταμένων δειγμάτων.....  | 43 |
| Σχήμα 4:Αποτελέσματα του προσδιορισμού της διαλυτότητας και του περιεχομένου σε διαλυτά και αδιάλυτα συστατικά των δειγμάτων σκόνης.....   | 44 |
| Σχήμα 5:Αποτελέσματα ισόθερων προσρόφησης των δειγμάτων κεφίρ σε μορφή σκόνης.   | 46 |
| Σχήμα 6:Αποτελέσματα μετρήσεων χύδην και στοιβαχτής πυκνότητας.....  | 47 |
| Σχήμα 7:Αποτελέσματα μέτρησης δείκτη λευκότητας των δειγμάτων κεφίρ σε μορφή σκόνης, 1 <sup>η</sup> μέτρηση εντός 30 ημερών από την ξήρανση, 2 <sup>η</sup> μέτρηση εντός 45 ημερών από την ξήρανση, 3 <sup>η</sup> εντός 60 ημερών από την ξήρανση..... | 48 |
| Σχήμα 8: Κατανομές μεγέθους σωματιδίων των δειγμάτων σκόνης που παράγονται με διαφορετικά μέσα ενθυλάκωσης.....  | 49 |
| Σχήμα 9:Κατανομή μεγέθους σωματιδίων των νωπών δειγμάτων που παράγονται με διαφορετικά μέσα ενθυλάκωσης.....   | 50 |
| Σχήμα 10:Κατανομή μεγέθους σωματιδίων του δείγματος κεφίρ με την προσθήκη τρεχαλόζης 2% για νωπό, ανασυσταμένο και κόνεος δείγμα.....  | 50 |
| Σχήμα 11: Μικροφωτογραφίες συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης των δειγμάτων κεφίρ με χρήση φρουκτοολιγосακχαριτών ως μέσο ενθυλάκωσης.....   | 51 |
| Σχήμα 12: Μικροφωτογραφίες συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης των δειγμάτων κεφίρ με χρήση τρεχαλόζης σε ποσοστό 2% ως μέσο ενθυλάκωσης.....   | 52 |
| Σχήμα 13:Μικροφωτογραφίες συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης των δειγμάτων κεφίρ με χρήση μαλτοδεξτρίνης σε ποσοστό 6% ως μέσο ενθυλάκωσης.....  | 53 |
| Σχήμα 14: Καταμέτρηση των αποικιών των δειγμάτων για τους λακτόκοκκους εκφρασμένο σε λογαριθμικούς κύκλους σε σχέση με τον αρχικό πληθυσμό των νωπών δειγμάτων   | 54 |

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κεφίρ αποτελεί ένα προϊόν ζύμωσης του γάλακτος, το οποίο είναι ευρέως γνωστό σε πάρα πολλές χώρες ανά τον κόσμο. Είναι ένα προϊόν με πολλαπλά οφέλη για την υγεία και ευεξία του ανθρώπινου σώματος (Rosa et al., 2017), ενώ σε κάποιες χώρες προτείνεται ως μέσο αντιμετώπισης μεταβολικών και γαστρεντερικών διαταραχών, ρύθμισης του βάρους και αλλεργιών. Ειδικότερα, το κεφίρ τα τελευταία χρόνια αποτελεί ένα προϊόν που αποκτά ολοένα και μεγαλύτερο αγοραστικό κοινό, καθώς αναπτύσσονται συνεχώς νέοι και καινοτόμοι συνδυασμοί γεύσεων.

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής και η υπέρμετρη ζήτηση λόγω της αύξησης του πληθυσμού έχουν δημιουργήσει την ανάγκη για προϊόντα που να διαθέτουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, ευκολία στον χειρισμό και τη μεταφορά τους. Για το λόγο αυτό, τα τρόφιμα τα οποία διατίθενται υπό αφυδατωμένη ή ξηρή μορφή έχουν αποκτήσει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και αποτελούν ένα σπουδαίο πεδίο έρευνας. Μια από τις μεθόδους ξήρανσης είναι η ξήρανση με εκνέφωση, η οποία χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα εργασία. Η ξήρανση με εκνέφωση/ψεκασμό βρίσκει συχνή εφαρμογή στη βιομηχανία γάλακτος και αποτελεί μια από τις οικονομικότερες μεθόδους, παρόλο που συμβαίνει ποιοτική υποβάθμιση του προϊόντος λόγω των υψηλών θερμοκρασιών.

## 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

### 2.1. Το κεφίρ ως γαλακτοκομικό προϊόν

#### 2.1.1. Ιστορική αναδρομή – τρόποι παρασκευής – διαφοροποιήσεις

Ως ετυμολογία, η λέξη “κεφίρ” προέρχεται από τη Νοτιοδυτική Ασία και την Ανατολική Ευρώπη, με καταγωγή από το σλαβικό λεξιλόγιο και τον όρο “keif” που μεταφράζεται ως “καλή ζωή” ή από την τουρκική λέξη “keyif” που σημαίνει “καλή αίσθηση”, ως αποτέλεσμα της δράσης και της ευεξίας που προσδίδει στον ανθρώπινο οργανισμό. Οι πρώτες αναφορές λαμβάνουν χώρα πριν 2.000 χρόνια στον Καύκασο, στην περιοχή της Οσσετίας, όπου με τα σημερινά δεδομένα πρόκειται για ένα γεωγραφικό σημείο ανάμεσα στη Ρωσία και τη Γεωργία. Το γαλακτοκομικό αυτό προϊόν παράγεται ως επί το πλείστον από κόκκους κεφίρ με γάλα διαφόρων τύπων ζωικής προέλευσης όπως αγελαδινό, αιγοπρόβειο ή βουβαλίσιο, όπου διαφέρει ανάλογα τη χώρα και τον τόπο παρασκευής.

Οι τρόποι παρασκευής του κεφίρ είναι κατά κύριο λόγο δύο. Η παραδοσιακή μέθοδος, που γίνεται με την χρήση κόκκων κεφίρ και ο χρόνος και η θερμοκρασία ζύμωσης του γάλακτος δεν λαμβάνονται σε μεγάλο βαθμό υπόψη και προορίζεται για οικιακή χρήση και η εμπορικότερη διαδικασία παραγωγής που πραγματοποιείται κατά κύριο λόγο με τη χρήση καθαρών οξυγαλακτικών καλλιεργειών (de Oliveira Leite et al., 2013). Αναφορικά με τη χρήση οξυγαλακτικών καλλιεργειών, οι μικροοργανισμοί οι οποίοι συνήθως χρησιμοποιούνται, έχουν απομονωθεί από καλλιέργειες εκκίνησης ή κόκκους κεφίρ και αποτελούνται συνήθως από λυοφιλοποιημένα οξυγαλακτικά βακτήρια (Leite et al., 2012).

Πιο συγκεκριμένα, η μικρογλωρίδα των κόκκων κεφίρ αποτελεί μια συμβιωτική κατάσταση μεταξύ ζυμών και βακτηρίων και η ταυτοποίηση των μικροοργανισμών που βρίσκονται στους κόκκους του κεφίρ είναι μια πολύπλοκη διαδικασία. Για το λόγο αυτό η



*Εικόνα 1: Το κεφίρ και οι κόκκοι κεφίρ.*

δημιουργία νέας και η ανάπτυξη της συμβιωτικής καλλιέργειας των κόκκων γίνεται από τη διάσπαση των αρχικών κόκκων κεφίρ και την ανάπτυξη των νέων τμημάτων που προκύπτουν (Koroleva, 1988). Επιπλέον, η διαφοροποίηση της μικροχλωρίδας των τμημάτων στο εσωτερικό των κόκκων είναι έντονη, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τις ζύμες, όπου στα επιφανειακά τμήματα εμφανίζονται να έχουν την ιδιότητα ζύμωσης της λακτόζης ενώ στα εσωτερικά όχι.

Οι μικροοργανισμοί που αποτελούν την μικροχλωρίδα των κόκκων κεφίρ είναι οι εξής:

Λακτόκοκκοι: Οι λακτόκοκκοι που βρίσκονται στο κεφίρ είναι κατά κύριο λόγο οι *Lactococcus lactis* και *Lactococcus cremoris*, μέσω των οποίων γίνεται η παραγωγή του γαλακτικού οξέος και οι *Leuconostoc mesenteroides* και *Leuconostoc dextranicum* που υποβοηθούν στην χαρακτηριστική γεύση και άρωμα του κεφίρ (Ζερφυρίδης, 2001).

Λακτοβάκιλλοι: Οι λακτοβάκιλλοι που υπάρχουν είναι κατά βάση οι *Lactobacillus brevis*, *L. casei*, *L. bulgaricus* και *L. helveticus* που συμβάλλουν στην σταθερότητα και την αύξηση του ιζώδους (Irigoyen et al., 2005).

Ζύμες: Οι ζύμες *Kluyveromyces marxianus*, *Saccharomyces cerevisiae* και *Candida kefir* αποτελούν τη βάση για την παρασκευή του κεφίρ, που αποτελεί ένα ζυμωμένο γαλακτοκομικό προϊόν, διότι παρέχουν τις απαραίτητες πρωτεΐνες και αμινοξέα, υποβοηθούν στη μεταβολή του pH και λόγω της παραγωγής κάποιων ενδογενών μεταβολιτών αποτελούν το ιδανικό υπόστρωμα για την ανάπτυξη των οξυγαλακτικών βακτηρίων (Simova et al., 2002), ενώ παράλληλα προσδίδουν την χαρακτηριστική επίγευση στο κεφίρ.

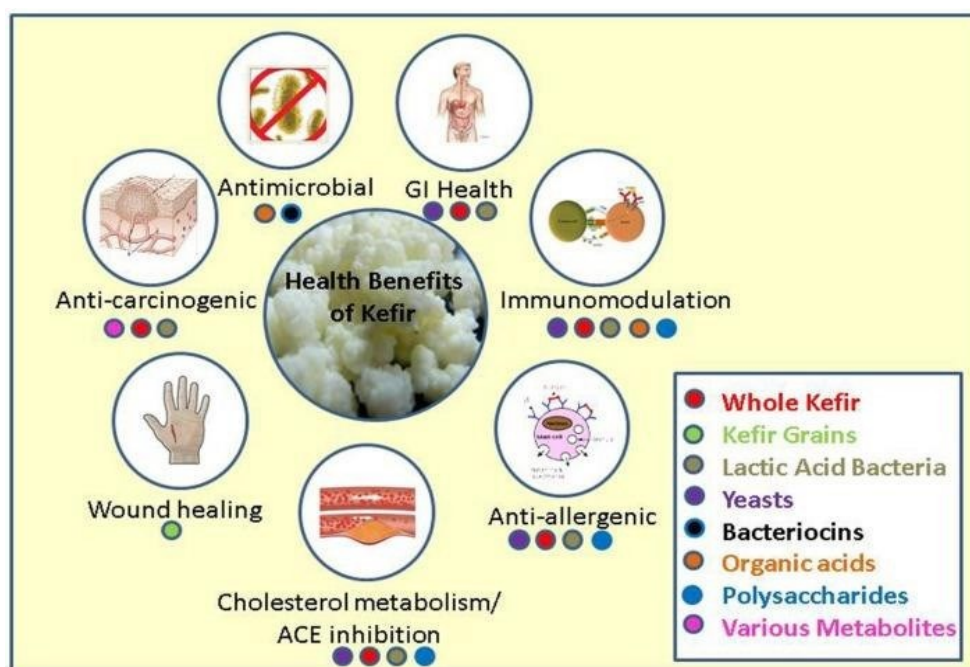
Οξυγαλακτικά βακτήρια: Τα χαρακτηριστικά βακτήρια είναι το *Acetobacter aceti* και *Acetobacter rascens*, τα οποία παράγουν το οξικό οξύ που είναι απαραίτητο για τη ζύμωση του προϊόντος. Είναι υπεύθυνα για την αύξηση του ιζώδους και τη σταθερότητα του τελικού προϊόντος (Irigoyen et al., 2005).

*Πίνακας 1: Παραδείγματα μικροοργανισμών που βρίσκονται σε κόκκους κεφίρ. (Bourrie et al., 2016).*

|   |  |
|---|--|
| <i>Lactobacillus kefiranofaciens</i>    | Santos et al., 2003; Mainville et al., 2006; Chen et al., 2008                             |
| <i>Lactobacillus casei</i>              | Simova et al., 2002; Nalbantoglu et al., 2014  |
| <i>Lactococcus lactis subsp. lactis</i> | Angulo et al., 1993; Garrote et al., 2001; Simova et al., 2002                             |
| <i>Streptococcus thermophilus</i>       | Simova et al., 2002; Yüksekdağ et al., 2004; Mainville et al., 2006; Garofalo et al., 2015 |
| <i>Leuconostoc mesenteroides</i>        | Witthuhn et al., 2005; Mainville et al., 2006  |
| <i>Bifidobacterium spp</i>              | Marsh et al., 2013   |
| <i>Saccharomyces cerevisiae</i>         | Angulo et al., 1993; Marquina et al., 2002; Simova et al., 2002                            |

## 2.1.2. Προβιοτική – πρεβιοτική υπόσταση του κεφίρ και ισχυρισμοί υγείας που του αποδίδονται

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) ως ορισμός για τα προβιοτικά είναι “ζωντανοί μικροοργανισμοί οι οποίοι όταν χορηγούνται σε κατάλληλες ποσότητες έχουν ευεργετικές επιδράσεις στην υγεία του ξενιστή”. Το κεφίρ, ως ζυμωμένο γαλακτοκομικό προϊόν περιέχει γαλακτικά βακτήρια, που είναι ευρέως γνωστά και αποδεκτά πως έχουν προβιοτικές ιδιότητες που κατά την κατανάλωση του προϊόντος εκφράζονται θετικά στην υγεία του καταναλωτή



Εικόνα 2: Βασικά οφέλη του κεφίρ στην ανθρώπινη υγεία (Bourrie et al., 2016).

Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον για το κεφίρ στο ευρύ κοινό και τις ευεργετικές ιδιότητες που έχει στην ανθρώπινη υγεία και ευεξία. Τα πολλαπλά οφέλη που παρουσιάζει, περιλαμβάνουν την προστατευτική δράση έναντι των παθογόνων μικροοργανισμών του εντέρου, τη βελτίωση της μικροχλωρίδας του εντερικού σωλήνα, τη βελτίωση των συμπτωμάτων της δυσανεξίας στη λακτόζη, την αντιφλεγμονώδη, αντικαρκινική και αντιμικροβιακή δράση (Bengoa et al., 2018; Bellikci-Koyu et al., 2019 ; Guzel-Seydim et al., 2011). Πιο συγκεκριμένα, το κεφίρ ως ρόφημα διαθέτει αντιμικροβιακή δραστηριότητα παρόμοια με αυτή της αμοξικιλίνης, της αμπικιλίνης και της κεφτριαξόνης (Cevikbas et al., 1994; Huseini et al., 2012; Rodrigues et al., 2005). Η δράση αυτή οφείλεται στην παραγωγή αντιμικροβιακών ενώσεων από ορισμένα οξυγαλακτικά βακτήρια, σε συνδυασμό με τα οργανικά οξέα (γαλακτικό οξύ), του υπεροξειδίου του υδρογόνου, της

αιθανόλης και ορισμένων πεπτιδίων (βακτηριοσίνες). Έρευνες που έλαβαν χώρα από τον Garrote και τους συναδέλφους του κατέδειξαν την αντιμικροβιακή δράση του αγελαδινού γάλακτος, το οποίο είχε ζυμωθεί από κόκκους κεφίρ έναντι βακτηρίων, με το συμπέρασμα που προέκυψε να είναι η δημιουργία βακτηριοστατικών συστατικών κατά τη διάρκεια της ζύμωσης για την παρασκευή του κεφίρ. Επιπλέον, εκτός της αντιμικροβιακής δράσης που διαθέτει το κεφίρ ως σύνολο, υπάρχουν και μεμονωμένα μικροοργανισμοί που παράγουν αντιμικροβιακές ενώσεις όπως είναι ο *Leu. mesenteroides* και *Lb. plantarum*. Οι δύο αυτοί μικροοργανισμοί αναστέλλουν βακτήρια και παρουσιάζουν σταθερότητα σε αυξημένες θερμοκρασίες, ενώ παρουσιάζουν δραματική μείωση της αντιμικροβιακής τους δράσης έναντι της έκθεσης σε πρωτεολυτικά ένζυμα. Τέλος, οι *Lb. kefiranofaciens*, *Lb. kecidophilus* και *S. thermophiles* παρουσιάζουν ανασταλτικές ιδιότητες σε μια πληθώρα παθογόνων βακτηρίων όπως τα *E. coli*, *L. monocytogenes*, *S. typhimurium*, *S. aureus*, *S. enteritidis* και *Y. enterocolitica* (Golowczyc et al., 2008).

*Πίνακας 2: Παραδείγματα μικροοργανισμών έναντι των οποίων το κεφίρ αναπτύσσει αντιμικροβιακή δράση (Bourrie et al., 2016).*

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| <i>Staphylococcus aureus</i>  | Cevikbas et al., 1994   |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | Cevikbas et al., 1994; Rodrigues et al., 2005; Huseini et al., 2012                     |
| <i>Escherichia coli</i>       | Santos et al., 2003; Rodrigues et al., 2005; Golowczyc et al., 2008; Leite et al., 2015 |
| <i>Listeria monocytogenes</i> | Ryan et al., 1996; Santos et al., 2003; Rodrigues et al., 2005; Leite et al., 2015      |
| <i>Salmonella enterica</i>    | Golowczyc et al., 2008; Leite et al., 2015  |
| <i>Salmonella typhimurium</i> | Santos et al., 2003; Rodrigues et al., 2005; Golowczyc et al., 2008                     |
| <i>Yersinia entocolitica</i>  | Santos et al., 2003   |

Ένας ακόμη σημαντικός λόγος για το μεγάλο ενδιαφέρον που δείχνουν οι καταναλωτές για το συγκεκριμένο προϊόν, είναι η ικανότητα του να μειώνει τα επίπεδα χοληστερόλης στο αίμα, κάτι που οφείλεται κυρίως στη δράση της μικροχλωρίδας που περιέχει. Οι πιθανοί μηχανισμοί μεταβολής των επίπεδων χοληστερόλης από τα προβιοτικά βακτήρια που έχουν περιγραφεί, επικεντρώνονται στην ανταγωνιστική δέσμευση και απορρόφηση της από τα αυτά, στην παραγωγή προπιονικού οξέος και την αναστολή δράσης του ενζύμου HMG-CoA ρεντουκτάσης καθώς και την αποικοδόμηση των χολικών οξέων στο έντερο με τελικό αποτέλεσμα την αυξημένη υπατική απορρόφηση της χοληστερόλης (Rosa et al., 2017).

Η συστηματική κατανάλωση κεφίρ είναι ικανή να ρυθμίσει τη σύσταση της εντερικής μικροχλωρίδας εμπλουτίζοντάς τη σε προβιοτικά βακτήρια και ενισχύοντας το





βιωσιμότητα τους και την ικανότητα να εποικήσουν το πεπτικό σύστημα του ξενιστή προσδίδοντας σε αυτόν τις ευεργετικές τους ιδιότητες (Katan et al., 2012). Για το λόγο αυτό, απαραίτητη κρίνεται η θέσπιση ελάχιστων επιπέδων συγκέντρωσης που θα διαθέτουν τα ανάλογα προϊόντα, κάτι που θα βελτιώσει την αξιοπιστία τους και την προστασία του καταναλωτή (Donovan et al., 2012).

### 2.1.3. Ο πολυσακχαρίτης κεφιράνη, απομόνωση, δυναμικές χρήσεις εφαρμογές και ισχυρισμοί υγείας

Η κεφιράνη ένας υδατοδιαλυτός έτερο-εξω-πολυσακχαρίτης, παράγεται από συγκεκριμένα γαλακτικά βακτήρια όπως το *Lactobacillus kefiranofaciens* που προαναφέρθηκε και αποτελεί περίπου το μισό της μάζας των κόκκων του κεφίρ επί ξηρού βάρους (Abraham & De Antoni, 1999). Ο ρόλος της κεφιράνης, είναι η προστασία των βακτηριακών κυττάρων έναντι δυσμενών συνθηκών του περιβάλλοντος όπου αυτά αναπτύσσονται (Farnworth, 2005). Σύμφωνα με την πλειονότητα των ερευνητών, οι βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης των βακτηρίων αναφορικά με την παροχή οξυγόνου, το pH, τη θερμοκρασία και το χρόνο ζύμωσης, οδηγούν σε αύξηση των επιπέδων παραγωγής των εξωκυτταρικών πολυσακχαριτών όπως η κεφιράνη. Αντιθέτως υπάρχουν άλλοι που υποστηρίζουν ότι η παραγωγή πολυσακχαριτών είναι σε βέλτιστα επίπεδα, όταν τα οξυγαλακτικά βακτήρια (LAB- Lactic Acid Bacteria) βρίσκονται σε δυσχερείς συνθήκες ανάπτυξης (Chen et al., 2008).

Η απομόνωση της κεφιράνης, όπως και όλες οι τεχνικές απομόνωσης ενός πολυσακχαρίτη για να θεωρούνται επιτυχημένες θα πρέπει να εξασφαλίζουν ικανοποιητικούς βαθμούς ανάκτησης και το προϊόν να παραλαμβάνεται σε καλό βαθμό καθαρότητας. Σε ένα πολύπλοκο μίγμα ζύμωσης όπως το κεφίρ, η απομόνωση ενός πολυσακχαρίτη είναι συνήθως ασύμφορη οικονομικά, από την πλευρά της εκτεταμένης χρήσης του στα τρόφιμα, εκτός αν γίνεται για σκοπούς έρευνας ή εξειδικευμένες εφαρμογές υψηλής αξίας. Τα γενικά βήματα που ακολουθούνται για την απομόνωση και τον καθαρισμό του πολυσακχαρίτη συμπεριλαμβάνουν την απομάκρυνση του από τα βακτηριακά κύτταρα συνήθως, με θέρμανση και φυγοκέντριση, τον καθαρισμό του από πρωτεΐνες και πεπτίδια, με όξινη καταβύθιση αυτών, και τέλος την παραλαβή και καθαρισμό του πολυσακχαρίτη με επαναλαμβανόμενες αλκοολικές καταβυθίσεις του τελευταίου με ενδιάμεσα στάδια επαναδιαλυτοποίησης του σε νερό (Rimada et al., 2003; Ruas-Mediedo et al., 2005). Γενικότερα, η διαδικασία απομόνωσης και καθαρισμού ενός πολυσακχαρίτη από ένα σύνθετο μίγμα ζύμωσης όπως το κεφίρ μπορεί να χρησιμοποιήσει πολλές διαφορετικές διεργασίες όπως φαίνεται στον ακόλουθο Πίνακα 3.



Πίνακας 3: Προτεινόμενες μέθοδοι απομόνωσης και καθαρισμού της κεφιράνης (Συλλογή μεθόδων από Rimada & Abraham, 2003; Ruas-Mediedo & de los Reyes-Gavilan, 2005).

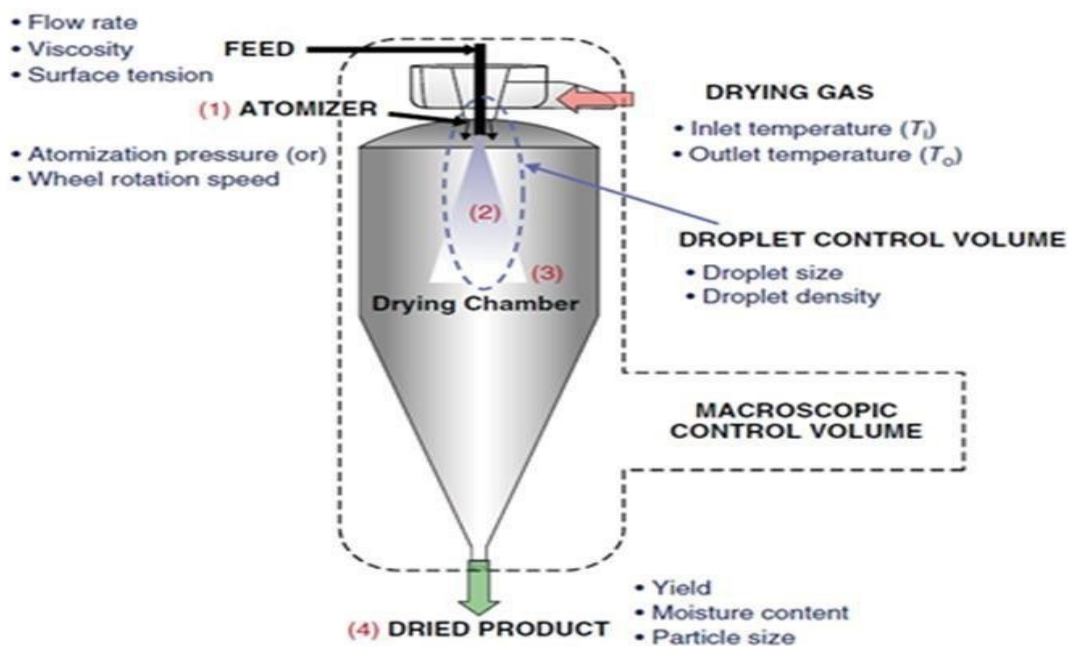
| Μέθοδος  | Σημασία /Σκοπός  |
|--|--|
| 1 Φυγοκέντριση                                 | Απομάκρυνση των βακτηριακών κυττάρων από το διάλυμα του κεφίρ  |
| 2 Θερμική επεξεργασία (100 °C)                 | Παραλαβή της κεφιράνης που είναι συνδεδεμένη με τα κύτταρα που την παράγουν  |
| 3 Καταβύθιση με αιθανόλη                       | Παραλαβή του πολυσακχαρίτη με μορφή ιζήματος ύστερα από φυγοκέντριση   |
| 4 Κατεργασία με τριγλωροξικό οξύ               | Απομάκρυνση των βακτηριακών κυττάρων και των πρωτεϊνών   |
| 5 Κατεργασία με πρωτεΐνάσες                    | Υδρόλυση των πρωτεϊνών και απομάκρυνση των πεπτιδίων από τα διαλύματα του πολυσακχαρίτη                                      |
| 6 Διάλυση                                      | Απομάκρυνση συστατικών του διαλύματος μικρότερων από το προκαθορισμένο μέγεθος των πόρων της μεμβράνης που θα χρησιμοποιηθεί |
| 7 Υπερδιήθηση (micro-ultra-filtration)         | Απομάκρυνση συστατικών με διήθηση αλλά και πιθανή κλασματοποίηση του πολυσακχαρίτη με βάση το μέγεθος των αλυσίδων του       |
| 8 Διαχωρισμός φάσεων με πολυαιθυλενική γλυκόλη | Παραλαβή του πολυσακχαρίτη με μορφή ιζήματος ύστερα από φυγοκέντριση   |

Η κεφιράνη δυνητικά, υπό την προϋπόθεση της μεγάλης κλίμακας βιώσιμης παραγωγής της, βρίσκει αρκετές εφαρμογές στην βιομηχανία τροφίμων και, όπως και άλλοι πολυσακχαρίτες, δύναται να χρησιμοποιηθεί ως ενισχυτικό της υφής των τροφίμων. Πιο συγκεκριμένα η προσθήκη κεφιράνης σε όξινης πηκτές γάλακτος επηρέασε την ρεολογική συμπεριφορά τους καθώς προκάλεσε αύξηση του ιξώδους, του θιξοτροπικού χαρακτήρα και της ελαστικότητας τους (Dimitreli et al., 2011). Να τονισθεί ότι, η συγκέντρωση έφτασε μέχρι τα 300 mg/L καθώς περαιτέρω προσθήκη δεν έδωσε βελτίωση των ρεολογικών χαρακτηριστικών (Rimada & Abraham, 2006). Ακόμα, μια εφαρμογή είναι η χρήση κεφιράνης για την παρασκευή εδωδιμων/βιοδιασπώμενων μεμβρανών. Οι έρευνες έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη διαφόρων βιοπολυμερών ως υλικά συσκευασίας, όπου ως βιοδιασπώμενα είναι φιλικά προς το περιβάλλον (Siracusa et al., 2008).

## 2.2. Ξήρανση με εκνέφωση – η μέθοδος, εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων

### 2.2.1. Βασικές αρχές και στάδια της μεθόδου, τύποι ξηραντήρων

Η ξήρανση με εκνέφωση θεωρείται από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους ξήρανσης στη βιομηχανία τροφίμων. Χαρακτηρίζεται από τη μετατροπή μιας υγρής τροφοδοσίας σε ξηρό προϊόν με μορφή σκόνης και η αρχή που βασίζεται η λειτουργία της είναι η δημιουργία μέσω εκνέφωσης μιας έντονα διεσπαρμένης κατάστασης υγρού σε μια ζώνη αερίου υψηλής θερμοκρασίας, ακολουθούμενη από ταχεία εξάτμιση και ξήρανση των σταγονιδίων (Γούλα, 2004). Σε μια τυπική μονάδα ξήρανσης εκνέφωσης, το ρευστό τροφοδοσίας μπορεί να είναι διάλυμα στερεών, αιώρημα ή γαλάκτωμα, που αντλείται μέσω ενός συστήματος αντλίας και εκνεφωτή στην κορυφή του θαλάμου ξήρανσης. Εν συνεχεία, τα σταγονίδια, τα οποία έχουν



Εικόνα 4: Σχηματική διάταξη ξηραντήρα εκνέφωσης, των βασικών τμημάτων του και αναφορά των παραμέτρων που επηρεάζουν τις διεργασίες που επιτελούνται σε αυτά (Dobry et al., 2009).:1. Τροφοδοσία-Εκνεφωτής, παράμετροι: παροχή τροφοδοσίας, ιξώδες, επιφανειακή τάση, πίεση εκνέφωσης, ταχύτητα περιστροφής δίσκου, 2-3.Θάλαμος ξήρανσης είσοδος αέρα ξήρανσης, παράμετροι: Θερμοκρασίες εισόδου/εξόδου, μέγεθος σταγονιδίων και πυκνότητα νέφους, 4.Εξόδος κονιοποιημένου προϊόντος, παράμετροι απόδοση, περιεκτικότητα σε υγρασία, μέγεθος σωματιδίων.

διάμετρο 40 έως 150  $\mu\text{m}$ , μέσα στον θάλαμο ξήρανσης έρχονται σε επαφή με θερμό αέρα. Με τη σύμπραξη του θερμού αέρα, ο οποίος έχει περάσει πρώτα από θερμαντήρα και διασπορέα και κυκλοφορεί σε ομορροή ή αντιρροή, επιτυγχάνεται ταχύτατα η εξάτμιση της περιεχόμενης υγρασίας των σταγονιδίων, εξαιτίας της μεγάλης επιφάνειας επαφής των πολύ μικρών σταγονιδίων με το θερμό αέριο ρεύμα. Τα μεγάλα σωματίδια σκόνης τρόφιμου που προκύπτουν από τη διαδικασία της ξήρανσης απομακρύνονται στη συνέχεια προς τον πυθμένα του θαλάμου, ενώ τα μικρά διαχωρίζονται από τον αέρα με τη βοήθεια κυκλώνων και σακόφιλτρων. Η βασική αρχή της ξήρανσης με εκνέφωση είναι η μεταφορά της θερμότητας που λαμβάνει χώρα μεταξύ του θερμού αέρα, υπό ατμοσφαιρική πίεση, και της εκνεφωμένης παροχής του υγρού τροφίμου. Κατά την διάρκεια της ξήρανσης, τα σωματίδια που εξαπλώνονται στην περιοχή γύρω από τον εκνεφωτή, εξέρχονται από τον πυθμένα του θαλάμου στην πλειονότητά τους (Dobry et al. 2009). Το στάδιο του διαχωρισμού ολοκληρώνεται, όταν η σκόνη η οποία παρασύρεται από το ρεύμα ξήρανσης που δημιουργείται, ανακτάται από ένα διαχωριστήρα κυκλώνα ή φίλτρο ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων (Εικόνα 4). Αξίζει να σημειωθεί ότι, η διαδικασία ξήρανσης ολοκληρώνεται συνήθως εντός του ενός δευτερολέπτου (1 s) ενώ η προκύπτουσα σκόνη εξέρχεται σε μικρό χρονικό διάστημα από τον ξηραντήρα.

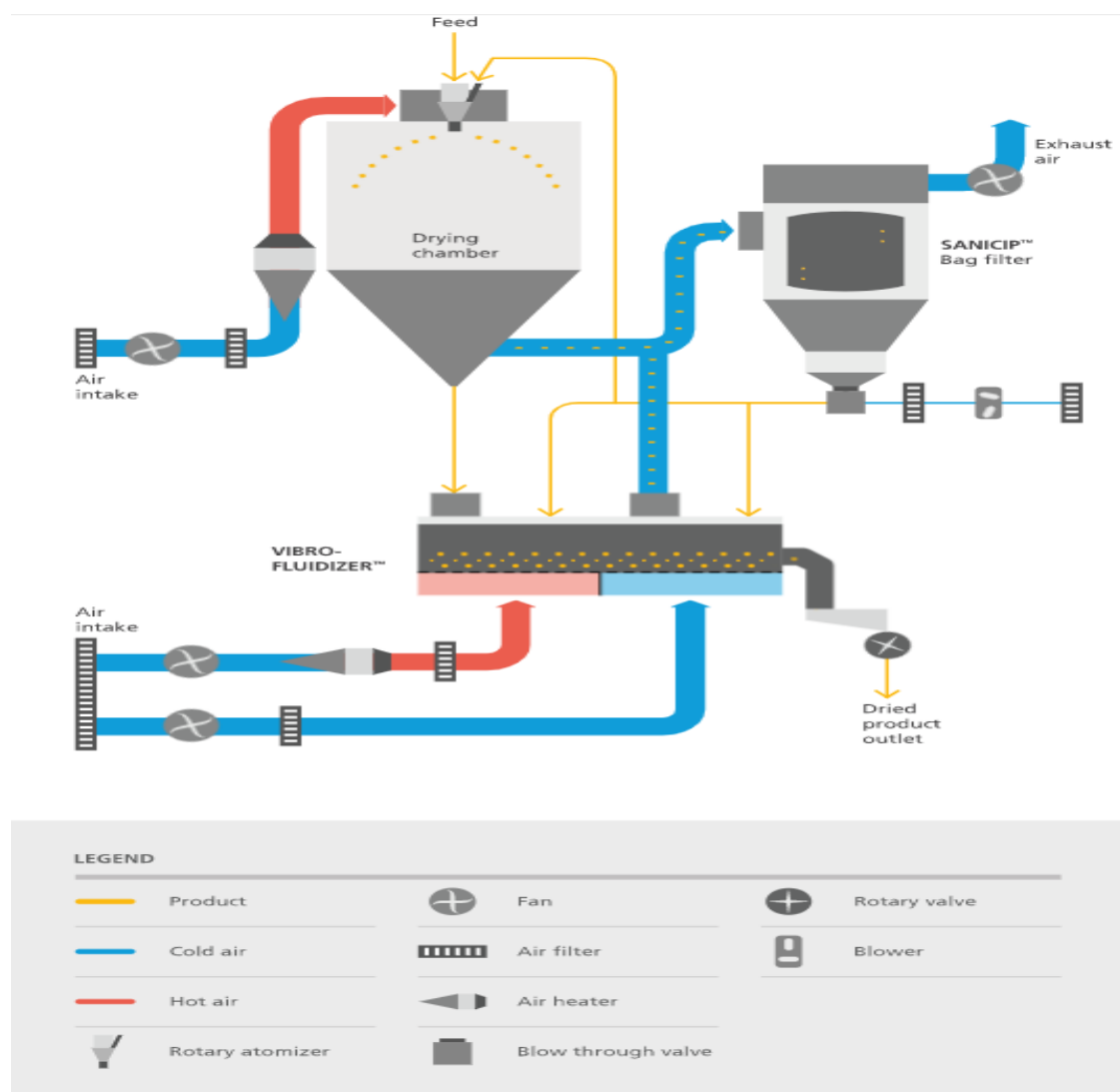
Η μέθοδος της ξήρανσης με εκνέφωση χρησιμοποιείται για την πλειονότητα των εμπορικά διαθέσιμων εγκλεισμένων υλικών ή συστατικών που προορίζονται για χρήση σε προϊόντα τροφίμων. Αυτό οφείλεται στο ότι αποτελεί μια οικονομική και ευέλικτη μέθοδο, δεδομένου ότι προσφέρει μια πληθώρα επιλογών για τον φορέα ενθυλάκωσης. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι προσφέρει παραγωγή καλής ποιότητας σωματιδίων, δύναται να χρησιμοποιηθεί για θερμοευαίσθητα συστατικά, καθώς ο χρόνος έκθεσης των μικροσωματιδίων σε υψηλές θερμοκρασίες είναι μικρός και η θερμοκρασία στον πυρήνα δεν ξεπερνά γενικά τους  $100^{\circ}\text{C}$  (de Vos et al., 2010; Pu et al., 2011; Schafroth et al., 2011).

Επιπλέον προσφέρει σημαντικές δυνατότητες, όπως:

- Ξήρανση υλικών που καταστρέφονται ή οξειδώνονται εύκολα ή ακόμα και υλικών με θερμοπλαστικό ή υγροσκοπικό χαρακτήρα με εφαρμογή κατάλληλων τροποποιήσεων.
- Ξήρανση βιολογικών και φαρμακευτικών προϊόντων σε ατμοσφαιρική πίεση ή/και αδρανή ατμόσφαιρα.
- Προσαρμοστικότητα στους κοινώς χρησιμοποιούμενους εξοπλισμούς επεξεργασίας.
- Πλήρης αυτοματοποίηση της διαδικασίας.
- Επίτευξη υψηλών συντελεστών θερμικής απόδοσης, όπου η συντελούμενη πτώση της θερμοκρασίας αέρα ξήρανσης κατά τη διέλευση από τον θάλαμο ξήρανσης είναι μεγάλη.

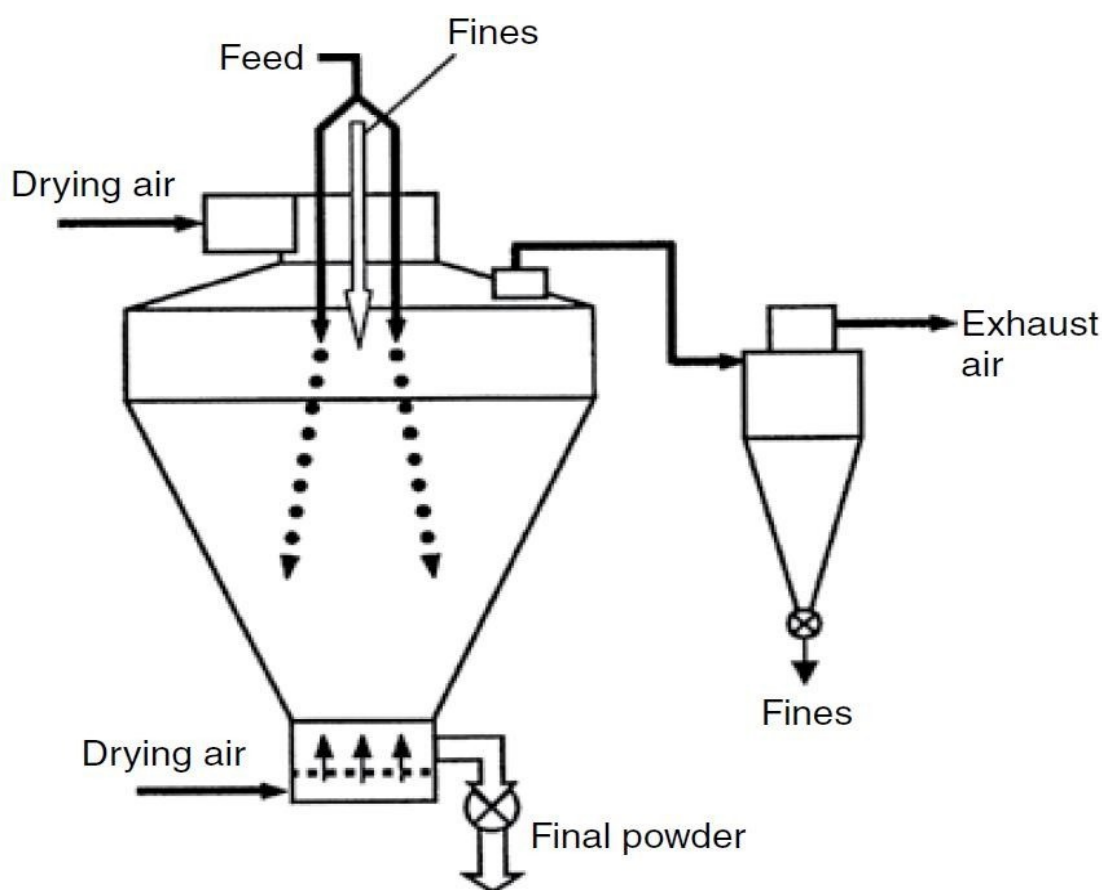
Αναφορικά με τους τρόπους κατηγοριοποίησης των ξηραντήρων υπάρχουν αρκετοί τρόποι. Με βάση την κατεύθυνση της ροής του αέρα ξήρανσης και του εκνεφωμένου υγρού

τροφοδοσίας, διακρίνονται σε ομορροής, αντιρροής και μεικτής ροής, ανάλογα με την επαναχρησιμοποίηση ή μη του αέρα ξήρανσης ως ανοιχτού, κλειστού ή ενδιάμεσου κύκλου, με βάση τον αριθμό των σταδίων που πραγματοποιείται η ξήρανση (ένα, δύο ή τρία στάδια), με τα ακόλουθα στάδια να είναι συνήθως ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης και τέλος με βάση την αναλογία του λόγου ύψους προς πλάτος σε βραχέος (2:1) ή επιμήκους σώματος (5:1) (Anandharamakrishnan & Ishwarya, 2015). Στα παρακάτω σχήματα διακρίνονται κάποιοι βασικοί τύποι ξηραντήρων:



Εικόνα 5: Διάταξη του τυπικού, ανοιχτού κύκλου, ομορροής, δύο σταδίων ξηραντήρα εκνέφωσης NIRO® Spray Dryer της GEA. Επεξήγηση σχήματος: Κίτρινα βέλη: προϊόν || Μπλε βέλη: ψυχρός αέρας || Κόκκινα βέλη: θερμός αέρας || Rotary atomizer: φυγοκεντρικός εκνεφωτής || Fan: φυγοκεντρικός φουσητήρας || Air filter: φίλτροαέρα || Air heater: θερμαντήρας αέρα || Blow through valve: βαλβίδα εκτόνωσης || Rotary valve: περιστροφική βάνα || Blower: φουσητήρας || Vibro-Fluidizer: ξηραντήρας ρευστοποιημένης κλίνης || Air-intake: είσοδος αέρα || Dried product outlet: έξοδος ξηρού προϊόντος || Feed: τροφοδοσία προϊόντος στον ξηραντήρα || Drying chamber: θάλαμος ξήρανσης || Bag-filter: σακόφιλτρα || Exhaust air: εξερχόμενος του ξηραντήρα αέρας.

Στην Εικόνα 5 παρατηρείται μια διαδεδομένη διάταξη στην βιομηχανία γάλακτος. Παράγει ομοιόμορφη σκόνη με καλή συσσωμάτωση και ρευστότητα, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις σκόνης γαλακτοκομικών προϊόντων. Το υγρό προϊόν προς τροφοδοσία εκνεφώνεται με καθοδική κατεύθυνση μέσω ακροφυσίων, ενώ παράλληλα εισέρχεται και θερμός αέρας με μεγάλη ταχύτητα ροής. Η ομορροή μεταξύ του θερμού αέρα και του υγρού προϊόντος δεν επιτρέπει την προσκόλληση προϊόντος στα τοιχώματα του θαλάμου. Με τον τρόπο αυτό, τα σωματίδια σκόνης που έχουν υποστεί επαρκή συσσωμάτωση και διαθέτουν το κατάλληλο βάρος προχωρούν στη στατική ρευστοποιημένη κλίνη για περαιτέρω ξήρανση, ενώ ακολουθεί το τελικό στάδιο ξήρανσης και ψύξης σε ένα δονούμενο ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης. Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί η έξοδος του αέρα, βρίσκεται στο άνω μέρος του θαλάμου, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ανοδικά ρεύματα αέρα που παρασύρουν και τα λεπτόκοκκα ή μη επαρκή συσσωματώμενα σωματίδια, για να οδηγηθούν σε ανακύκλωση είτε στο θάλαμο ξήρανσης είτε στον δονούμενο ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης.



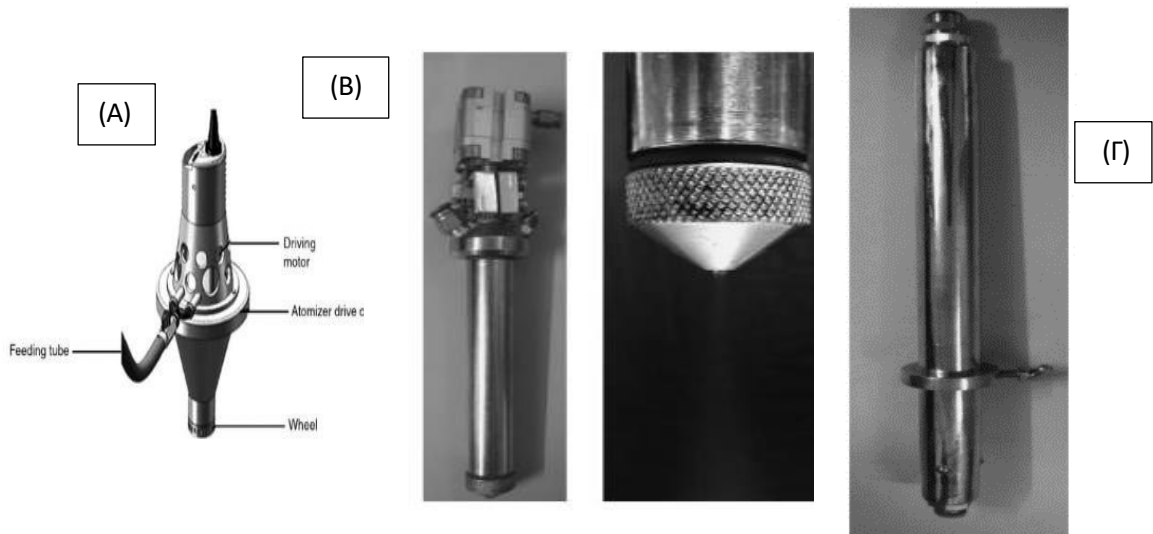
Εικόνα 6: Σκαρίφημα ξηραντήρα εκνέφωσης δύο σταδίων με ενσωματωμένη στατική ρευστοποιημένη κλίνη όπως παρουσιάζεται από τους Anandharamakrishnan & Ishwarya, (2015). Επεξήγηση σχήματος: Drying air: αέρας ξήρανσης || Feed: προϊόν τροφοδοσίας || Fines: λεπτόκοκκα σωματίδια σκόνης || Exhaust air: αέρας εξερχόμενος του ξηραντήρα || Final powder: Τελική σκόνη του προϊόντος.

Στην Εικόνα 6 παρατηρείται ένας τυπικός, ανοιχτού κύκλου, ομοροής, δύο σταδίων ξηραντήρας εκνέφωσης που βρίσκει χρήση στη βιομηχανία τροφίμων και χημικών προϊόντων. Η σκόνη που παράγεται χαρακτηρίζεται λεπτόκοκκη και το μέγεθός της είναι μεταξύ 20-300  $\mu\text{m}$ . Τα χαρακτηριστικά σε αυτό τον τύπο ξηραντήρα είναι η ενσωματωμένη ρευστοποιημένη κλίνη και η περιφερειακή έξοδος του αέρα, όπου δημιουργεί ανοδικά ρεύματα αέρα. Η εκνέφωση πραγματοποιείται με εκνεφωτές τύπου ακροφυσίου ή φυγοκεντρικούς, ενώ ο αέρας ξήρανσης προέρχεται από το περιβάλλον, και αφού προηγουμένως εξυγιανθεί και θερμανθεί, εισέρχεται στο θάλαμο μέσω ενός διαχυτή που εξασφαλίζει την ομοιόμορφη κατανομή του στο θάλαμο. Τέλος, είναι εφικτός ο συνδυασμός με περισσότερους ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης σε σειρά, μειώνοντας το ποσό καταναλισκόμενης ενέργειας.

### 2.2.2. Μέθοδοι εκνέφωσης που εφαρμόζονται

Η μέθοδος και ο μηχανισμός εκνέφωσης είναι ζωτικής σημασίας και έχει καθοριστικό ρόλο στην απόδοση της ξήρανσης. Υπάρχουν 4 βασικοί μηχανισμοί εκνέφωσης (Anandharamakrishnan & Ishwarya, 2015), οι οποίοι είναι ο φυγοκεντρικός, ο υδραυλικός / ακροφυσίου μονής ροής, ο υδραυλικός / ακροφυσίου διπλής ροής και ο εκνεφωτής υπερήχων. Η κατηγοριοποίηση αυτή γίνεται με βάση την ενέργεια που χρησιμοποιείται για την εκνέφωση, τη σχέση μεταξύ των παραμέτρων της εκνέφωσης, του μεγέθους των επιδιωκόμενων σωματιδίων και τις ιδιότητες του υγρού τροφοδοσίας που αποτελούν τις ποιοτικές παραμέτρους. Παράλληλα υπάρχουν και οι ποσοτικές παράμετροι που διέπουν τη λειτουργία του κάθε είδους εκνεφωτή, όπως η φυγόκεντρος δύναμη, η πίεση, η ηλεκτρική ενέργεια, το μέσο μέγεθος των σωματιδίων σε  $\mu\text{m}$  και η παροχή τροφοδοσίας σε L/h.

Στην περίπτωση των φυγοκεντρικών εκνεφωτών, η υγρή παροχή τροφοδοσίας επιταχύνεται σε ταχύτητες που αγγίζουν τα 200 m/s, λόγω της φυγόκεντρος δυνάμεως που της ασκείται καθώς αυτή πέφτει στην επιφάνεια του περιστρεφόμενου δίσκου, και κινούμενη προς την περιφέρεια μετατρέπεται σε σταγονίδια που εμφανίζονται να κινούνται περιστροφικά στο εσωτερικό του θαλάμου ξήρανσης. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτού του τύπου είναι η ικανότητα χειρισμού υψηλών ρυθμών τροφοδοσίας, η παραγωγή ομοιόμορφων σταγονιδίων και η ικανότητα λειτουργίας σε χαμηλή πίεση. Σαν αρνητικό για το συγκεκριμένο τύπο εκνεφωτή θα πρέπει να αναφερθεί η αδυναμία του να διαχειριστεί υψηλού ιξώδους παχύρρευστα υγρά.



Εικόνα 7: Τύποι εκνεφωτών. (Α) Φυγοκεντρικός (Β) υδραυλικός / ακροφυσίου απλής ροής (Γ) υδραυλικός / ακροφυσίου διπλής ροής (Anandharamakrishnan & Ishwarya, 2015).

Στον υδραυλικό εκνεφωτή ακροφυσίου απλής ροής η πηγή ενέργειας για την εκνέφωση είναι η υψηλή πίεση του υγρού τροφοδοσίας, που προέρχεται συνήθως από εμβολοφόρες αντλίες θετικής εκτόπισης, προκαλώντας την εκνέφωση του όταν αυτό εκτονώνεται απότομα, σε ατμοσφαιρική πίεση, κατά την έξοδό του από το στόμιο του ακροφυσίου. Η διάμετρος του στομίου και η πίεση τροφοδοσίας καθώς και το σχετικό ιξώδες μεταξύ του αέρα και του υγρού, καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το μέγεθος των σταγονιδίων που δημιουργούνται υπερνικώντας τις ιδιότητες του υγρού τροφοδοσίας σχετικά με το ιξώδες και την επιφανειακή τάση. Πλεονεκτήματά της χρήσης του συγκεκριμένου τύπου εκνεφωτών είναι η ο καλύτερος έλεγχος του μεγέθους των δημιουργούμενων σταγονιδίων, μέσω της πίεσης και της διαμέτρου του στομίου, η έλλειψη κινούμενων μερών στον εκνεφωτή, η ευκολότερη διαχείριση της κατεύθυνσης του νέφους στο εσωτερικό του θαλάμου ξήρανσης καθώς και η δυνατότητα χρήσης περισσότερων του ενός εκνεφωτών σε κάθε ξηραντήρα κάνοντας πιο εύκολα διαχωρίσιμη τη συνεχή λειτουργία του σε περίπτωση βλαβών στα ακροφύσια.

Στους υδραυλικούς εκνεφωτές ακροφυσίου διπλής ροής εκτός της υψηλής πίεσης του υγρού τροφοδοσίας η διάσπαση του υγρού γίνεται επιπλέον και με αέρα υψηλής ταχύτητας όπου ο πεπιεσμένος αέρας δημιουργεί ένα επιπρόσθετο διατμητικό πεδίο παράγοντας ένα ευρύ φάσμα μεγεθών σταγονιδίων. Το αρνητικό γνώρισμα του συγκεκριμένου τύπου εκνεφωτή είναι η απαίτηση για διατάξεις πεπιεσμένου αέρα που αυξάνουν σημαντικά το κόστος λειτουργίας. Και στις δύο περιπτώσεις εκνεφωτών ακροφυσίων, και ιδιαίτερα στην περίπτωση του διπλού, σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί η ικανότητά τους να διαχειρίζονται



υγρά τροφοδοσίας με υψηλό ιξώδες, που πολλές φορές βελτιώνεται σημαντικά με την προθέρμανση του υγρού τροφίμου προς ξήρανση.

Τέλος, στους εκνεφωτές υπερήχων υψηλής συχνότητας το υγρό τροφοδοσίας διέρχεται ανάμεσα στους πιεζοηλεκτρικούς δίσκους που διαθέτει η συσκευή και υποβάλλεται σε υπερηχητικούς κραδασμούς οι οποίοι προκαλούν την κίνηση των μορίων, διαταράσσοντας την επιφανειακή τάση του υγρού και δημιουργώντας σταγονίδια του εκάστοτε υγρού.

## 2.3. Ξήρανση με εκνέφωση του κεφίρ

### 2.3.1. Ξήρανση με εκνέφωση στη γαλακτοβιομηχανία – γενικές εφαρμογές

Η ξήρανση με εκνέφωση στη βιομηχανία γαλακτοκομικών προϊόντων έχει εξέχουσα θέση, διότι εκτός από το γεγονός ότι αποτελεί μια από τις οικονομικότερες μεθόδους ξήρανσης, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, διευκολύνει τη μεταφορά και αποθήκευση των προϊόντων, που είναι έτοιμα προς κατανάλωση με μια απλή ανασύσταση, ενώ επιπρόσθετα επιτυγχάνει τη μείωση του μικροβιολογικού φορτίου, που προκαλεί ποιοτική υποβάθμιση, εξασφαλίζοντας παράταση του χρόνου διατηρησιμότητας των προϊόντων.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις στην επεξεργασία τροφίμων έχουν συμβάλει στην ανάπτυξη νέων μεθόδων ή/και στον συνδυασμό των ήδη υπαρχόντων με σκοπό την επίτευξη των επιθυμητών στόχων. Έτσι και στην περίπτωση της ξήρανσης προϊόντων, η ξήρανση με εκνέφωση αποτελεί ένα αρχικό στάδιο της ξήρανσης με ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης συνήθως να ακολουθούν με σκοπό την παραγωγή προϊόντων με αυξημένο βάρος, καλύτερη ανασύσταση και το επιθυμητό επίπεδο υγρασίας. Η ξήρανση με εκνέφωση απευθύνεται κυρίως σε δραστηριότητες μεγάλης κλίμακας, διότι η ενεργειακή κατανάλωσή της είναι σχετικά υψηλή. Τα πιο δημοφιλή αφυδατωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα είναι η σκόνη γάλακτος, οι βρεφικές τροφές, τα καζεϊνικά άλατα, οι αφυδατωμένες πρωτεΐνες ορού γάλακτος, ο αποπρωτεϊνομένος ορός γάλακτος και τα όξινα γαλακτοκομικά ροφήματα. Τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν και παραπάνω, βρίσκουν πολλές εφαρμογές στους κλάδους της αρτοποιίας, ζαχαροπλαστικής κ.α.

### 2.3.2. Ξήρανση του κεφίρ

Το κεφίρ είναι ένα ζυμωμένο προϊόν γάλακτος, το οποίο λαμβάνεται με διαφορετικούς τρόπους, κυρίως από την δράση των κόκκων κεφίρ ή των οξυγαλακτικών καλλιεργειών (Teijeiro et al., 2018). Δεδομένου ότι αποτελεί ένα προϊόν με πολλαπλά οφέλη για την ανθρώπινη υγεία, μπορεί δυνητικά η διάθεση του υπό μορφή αφυδατωμένης σκόνης, που προκύπτει μέσω της ξήρανσης με εκνέφωση, να αποτελεί μια λύση για ένα προϊόν με



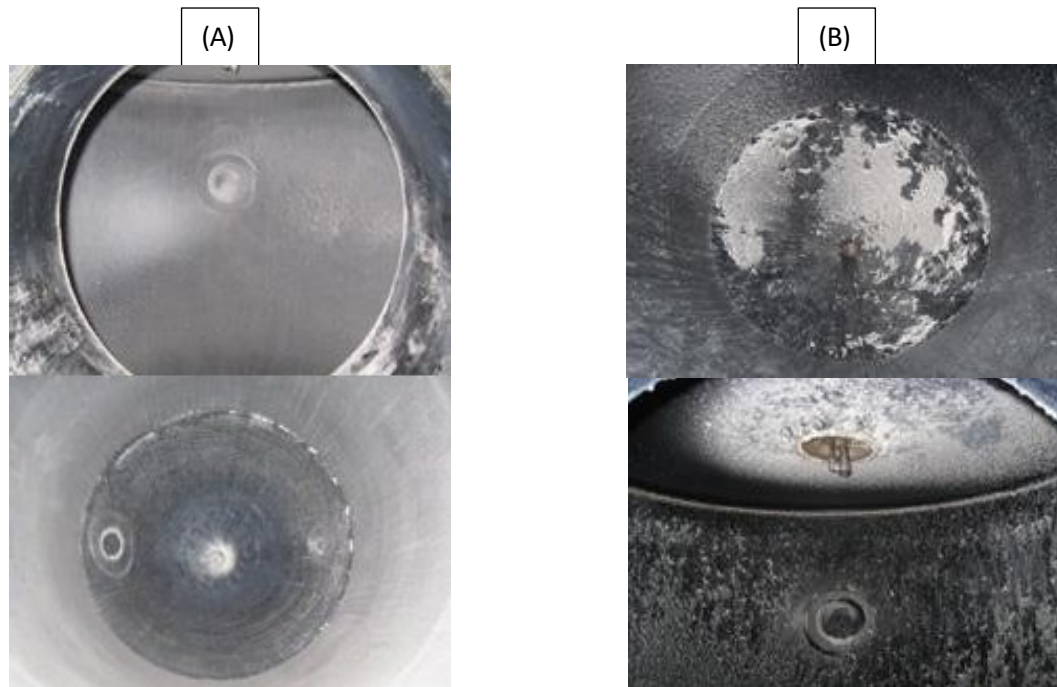
μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, με οικονομικότερη αποθήκευση, μεταφορά και διάθεση, κάνοντάς το διαθέσιμο σε ένα ευρύτερο καταναλωτικό κοινό, ενώ συγχρόνως μπορεί να αποτελέσει ένα τρόπο για την αύξηση της αγοραστικής αξίας του προϊόντος. Αναφορικά με τη διαδικασία παραγωγής, οι κυριότεροι παράγοντες κατά την ξήρανση είναι οι ορισμένες θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του αέρα ξήρανσης από τον ξηραντήρα που αποτελούν μια ένδειξη του προφίλ θερμοκρασιών στις οποίες εκτίθεται το προϊόν κατά τη διεργασία.

Πιο συγκεκριμένα, η ξήρανση με εκνέφωση είναι μια διαδικασία όπου ένα υγρό προϊόν οδηγείται σε ψεκασμό μέσα σε ένα ρεύμα θερμού αέρα, προκειμένου να προκύψει ένα προϊόν υπό την μορφή σκόνης (Gharsallaoui et al., 2007). Κατά την διαδικασία ενθυλάκωσης το παρασκεύασμα ψεκάζεται σε ένα ρεύμα θερμού αέρα, όπου οι θερμοκρασίες του κυμαίνονται από 140 έως 220°C, με αποτέλεσμα να υπάρχει ταχεία απομάκρυνση του διαλύτη και να επέρχεται η δημιουργία σωματιδίων υπό την μορφή σκόνης (de Vos et al., 2010). Κατά τη ξήρανση του κεφίρ, ένας σημαντικός αριθμός μικροοργανισμών που περιέχονται στο αρχικό προϊόν δεν επιβιώνει, μειώνοντας κατ' αυτό τον τρόπο τη λειτουργική αξία του προϊόντος διότι δεν μπορεί να υπάρξει δεδομένη και απαιτούμενη συγκέντρωση προβιοτικών σε αυτό (Chen & Chen, 2007; de Vos et al., 2010). Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται διάφορα πρόσθετα ως μέσα ενθυλάκωσης, προκειμένου να προστατευθούν οι ευεργετικές του ιδιότητες, όπως τροποποιημένο άμυλο, μαλτοδεξτρίνες και κόμμεα. Αρχικά, το προϊόν ομογενοποιείται με το υλικό ενθυλάκωσης, αφού πρώτα αυτό διαλυθεί σε νερό για να χρησιμοποιηθεί σαν μέσο ενθυλάκωσης, και εν συνεχεία το προϊόν της ομογενοποίησης οδηγείται στην παροχή του ξηραντήρα και ψεκάζεται μέσω του εκνεφωτή. Οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο εσωτερικό του ξηραντήρα έχουν σαν αποτέλεσμα την εξάτμιση του νερού και τη δημιουργία των σωματιδίων υπό τη μορφή σκόνης, όπου παραλαμβάνεται από το δοχείο συλλογής.

Η εξάτμιση του νερού είναι ύψιστης σημασίας, διότι μειώνοντας το περιεχόμενο νερού, διασφαλίζεται η μικροβιολογική σταθερότητα, ελαττώνεται η βιολογική υποβάθμιση και το τελικό προϊόν αποκτά κάποιες ιδιότητες που είναι επιθυμητές (Estevinho et al., 2013). Ο περιορισμός που προκύπτει, όπως προαναφέρθηκε, είναι το μειωμένο ποσοστό επιβίωσης των μικροοργανισμών στο τελικό προϊόν. Το μέσο ενθυλάκωσης προστατεύει το υλικό του πυρήνα από μια σειρά παραγόντων που μπορούν να προκαλέσουν ποιοτική υποβάθμιση των επιθυμητών χαρακτηριστικών στο τελικό προϊόν. Οι ιδιότητες του μέσου ενθυλάκωσης που λαμβάνονται υπόψιν προκειμένου να αποφευχθούν τα παραπάνω, είναι το μοριακό βάρος, η διαλυτότητα στο νερό, η υαλώδης μετάπτωση, η μηχανική αντοχή κ.α.

### 2.3.3. Προβλήματα κατά την ξήρανση προϊόντων και τρόποι αντιμετώπισης

Όπως σε όλες τις διεργασίες επεξεργασίας τροφίμων έτσι και στην ξήρανση με εκνέφωση εμφανίζονται διάφορα προβλήματα που δυσχεραίνουν την εφαρμογή της και πρέπει να επιλύονται. Στα προβλήματα της μεθόδου, που πραγματεύεται η παρούσα μελέτη, εκτός από τη μειωμένη βιωσιμότητα των προβιοτικών μικροοργανισμών που προαναφέρθηκε, ανήκουν η ιδιότητα της παραγόμενης σκόνης πολλές φορές να συγκολλείται στο εσωτερικό των ξηραντήρων καθώς και των υπολοίπων μηχανημάτων διαχείρισης και επεξεργασίας της, προκαλώντας προβλήματα στην ομαλή λειτουργία τους, καθώς και η μετουσίωση των πρωτεϊνών. Η κολλητικότητα είναι ένα πρόβλημα που εμφανίζεται έντονο σε σκόνες που παράγονται από γαλακτοκομικά προϊόντα, όπως και αυτές που είναι πλούσιες σε σάκχαρα, οργανικά οξέα και άλατα.. Το φαινόμενο αυτό δημιουργεί σημαντική δυσκολία κατά την ανασύσταση, στην ποιότητα, την αποθήκευση και το χειρισμό της σκόνης (Adhikari, Howes, Shrestha, & Bhandari 2007). Λύσεις που μπορούν να μειώσουν την κολλητικότητα των κόνεων είναι η ξήρανση σε θερμοκρασίες μικρότερες από εκείνη της υαλώδους μετάπτωσης (Tg) των στερεών που φέρει η υγρή τροφοδοσία, ενώ περαιτέρω θετικό αποτέλεσμα μπορεί να υπάρξει με την αύξηση της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης των στερεών της υγρής τροφοδοσίας, με προσθήκη σε αυτή βοηθητικών ξήρανσης (π.χ μαλτοδεξτρίνη) ή την απομάκρυνση από αυτή των συστατικών που είναι υπεύθυνα για την κολλητικότητα (Truong, Bhandari, & Howes, 2005). Οι επιλογές βοηθητικών παραγόντων ξήρανσης που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι κυρίως μαλτοδεξτρίνες, διαφόρων ισοδυνάμων γλυκόζης (dextrose equivalent, DE), διάφορα κόμμεα καθώς επίσης, και πρωτεΐνες από διαφορετικές πηγές (πχ. ορού γάλακτος) οι οποίες δρώντας ως μέσο ενθυλάκωσης, αφού διαθέτουν την ιδιότητα να σχηματίζουν επιφάνεια χωρίς συγκολλητική ικανότητα (σχηματισμός φιλμ), μειώνουν την πιθανότητα προσκόλλησης των σωματιδίων στο θάλαμο εκνέφωσης. Για την αποφυγή συσσωμάτωσης των κόνεων και τη βελτίωση της διαχείρισης τους από της μηχανές συσκευασίας πολλές φορές προστίθενται σε αυτές σε χαμηλές συγκεντρώσεις βοηθητικά ρευστότητάς κόνεων όπως είναι διάφορες μορφές πυριτικών αλάτων (πχ. διοξείδιο του πυριτίου).



Εικόνα 8: Προσκόλληση συσσωμάτων στον θάλαμο εκνέφωσης με την προσθήκη διοξειδίου του πυριτίου (A) και χωρίς την προσθήκη διοξειδίου του πυριτίου (B) (Evonik Industries, 2019).

## 2.4. Υλικά που χρησιμοποιούνται ως βοηθητικά ξήρανσης στη βιομηχανία τροφίμων

### 2.4.1. Μαλτοδεξτρίνες

Οι μαλτοδεξτρίνες, όπως πολλοί άλλοι υδατάνθρακες χρησιμοποιούνται ευρέως ως μέσα ενθυλάκωσης (DeZarn, 1995). Προέρχονται συνήθως από την ενζυμική υδρόλυση του αμύλου και χαρακτηρίζονται από το βαθμό πολυμερισμού τους (degree of polymerization, DP) ή πιο εξειδικευμένα από τα το μέσο βαθμό ισοδυνάμων γλυκόζης (dextrose equivalent, DE) που έχουν τα μόρια του προϊόντος. Αποτελεί το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο βοηθητικό ξήρανσης χρησιμοποιούμενο είτε απλά ως φορέας, για τη μείωση της κολλητικότητας των κόνων, είτε ως μέσο ενθυλάκωσης, διότι παρουσιάζει σχετικά χαμηλό ιξώδες όταν βρίσκεται σε υψηλή συγκέντρωση στερεών και διαθέτει αυξημένη διαλυτότητα. Αρνητικό χαρακτηριστικό των μαλτοδεξτρινών αποτελεί η χαμηλή απόδοση ενθυλάκωσης λόγω απουσίας διεπιφανειακών ιδιοτήτων. Για το λόγο αυτό, συνδυάζεται με διαφορετικού τύπου άλλα συστατικά, όπως κόμμεα ή πρωτεΐνες που βελτιώνουν σημαντικά την απόδοση. Επίσης, προστατεύουν τα ενθυλακωμένα συστατικά από τυχόν οξειδώσεις, ενώ συγκρατούν μικρό ποσοστό ενθυλακωμένου συστατικού (Kenyon, 1995). Σύμφωνα με μελέτες, οι μαλτοδεξτρίνες με ισοδύναμα δεξτρόζης ανάμεσα στο 10 και 20 είναι κατάλληλες για χρήση

ως μέσο ενθυλάκωσης (Raja et al., 1989). Οι μαλτοδεξτρίνες αυτές προσδίδουν υψηλή συγκράτηση συστατικών, διότι αποφεύγεται ο σχηματισμός στερεής φάσης σε συγκέντρωση νερού έως 35,5% (Gharsallaoui, 2007).

#### 2.4.2. Αραβικό κόμμα

Το αραβικό κόμμα ή κόμμα ακακίας αποτελεί έναν φυσικό ολιγοσακχαρίτη που παραλαμβάνεται μετά από ξήρανση του χυμού που συλλέγεται από τα κλαδιά δέντρων ακακίας *Acacia senegal* και *Acacia seyal*. Η δομή του είναι φέρει πολλές διακλαδώσεις και έχει την ιδιότητα να διαλυτοποιείται με μεγάλη ευκολία σε νερό, διαλύματα αιθανόλης και χλωριούχου νατρίου, ενώ εμφανίζει περιορισμένη διαλυτότητα σε διαλύματα φυτικών ελαίων. Το ιξώδες των διαλυμάτων του είναι σε αρκετά χαμηλά επίπεδα και θεωρείται σχεδόν αμελητέο σε pH από 2 ως 10. Ο κύριος λόγος που χρησιμοποιείται ως μέσο ενθυλάκωσης είναι ότι έχει υψηλή γαλακτωματοποιητική ικανότητα και συμβάλει στη διατήρηση ευαίσθητων συστατικών κατά την ξήρανση. Επίσης, δρα ως ημιδιαπερατή μεμβράνη και προστατεύει μερικώς από την οξείδωση τα συστατικά που περικλείει, επηρεάζοντας την ανθεκτικότητα των ενθυλακωμένων προϊόντων (Gharsallaoui, 2007). Σε πολλές περιπτώσεις ξήρανσης προϊόντων γίνεται συνδυαστική χρήση αραβικού κόμματος και μαλτοδεξτρίνων που έχουν ως αποτέλεσμα βελτιωμένες συνθήκες ξήρανσης και το τελικό προϊόν να εμφανίζει καλύτερα χαρακτηριστικά (Ascheri et al., 2003)

#### 2.4.3. Τρεχαλόζη

Η τρεχαλόζη είναι ένας μη ανάγων δισακχαρίτης, όπου έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές μελέτες κυρίως για τη σταθεροποίηση πρωτεϊνών κατά την ξήρανση με εκνέφωση (Maa Y-F et al., 1997; Jin TH et al., 2010). Ο κύριος λόγος που χρησιμοποιείται ως μέσο ενθυλάκωσης είναι διότι σχηματίζει μια άμορφη μεμβράνη γύρω από τα ενθυλακωμένα συστατικά, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης ( $T_g=117^{\circ}\text{C}$ ) που εμφανίζει, προστατεύοντάς τα από τη θερμική καταπόνηση. Κύριο μειονεκτήματά της είναι ότι δεν διαθέτει μεγάλη διάρκεια ζωής, καθώς είναι ιδιαίτερα υγροσκοπική (Toniole et al., 2020) με αποτέλεσμα να υπόκειται εύκολα σε μικροβιακή αλλοίωση. Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι έχουν γίνει πολλές μελέτες για την προστασία της βιωσιμότητας των μικροοργανισμών κατά την αποθήκευση ή/και κατά την επεξεργασία με την χρήση τρεχαλόζης (Simona et al., 2002; Teixeira et al., 2009).

#### 2.4.4. Φρουκτοολιγосακχαρίτες (FOS)

Οι φρουκτοολιγосακχαρίτες (fructooligosaccharides, FOS) είναι πρεβιοτικοί υδατάνθρακες, που δεν απορροφώνται στο λεπτό έντερο, ζυμώνονται επιλεκτικά στο παχύ έντερο από προβιοτικά βακτήρια και ταξινομούνται ως ολιγοφρουκτόζη διότι ο βαθμός πολυμερισμού τους είναι συνήθως μικρότερος του 9. Διαθέτουν αυξημένη διαλυτότητα στο νερό σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος και ισχυρή γλυκαντική δράση. Επιπλέον παρουσιάζουν αυξημένη σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες και είναι ένας από τους λόγους που χρησιμοποιούνται ως μέσο ενθυλάκωσης κατά την ξήρανση με εκνέφωση. Ακόμα, προσδίδουν κρεμώδη υφή και ελαττώνουν την ενεργότητα νερού. Τέλος, συμβάλουν στην αύξηση της μικροβιολογικής σταθερότητας, ενώ αποτελώντας ένα από τα πιο διαδεδομένα πρεβιοτικά δρουν εκλεκτικά στην ανάπτυξη των επιθυμητών μικροοργανισμών που εποικίζουν το παχύ έντερο (Chen et al., 2007).

#### 2.4.5. Καραγενάνες

Η καραγενάνη είναι ένας φυσικός πολυσακχαρίτης που βρίσκεται κατά κύριο λόγο στα θαλάσσια φύκια και βρίσκει πάρα πολλές εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων ως πρόσθετο (ενισχυτής υφής, σταθεροποιητής, πηκτοματογόνος ουσία). Υπάρχουν διάφορες μορφές (ι,κ,λ) που προκύπτουν από διαφοροποιήσεις στα μόρια υδατανθράκων που την αποτελούν, ωστόσο η μορφή της που χρησιμοποιείται ευρέως είναι η κ-καραγενάνη, όπου διαθέτει την ικανότητα της πηκτωματοποίησης, της σταθεροποίησης του ιξώδους και της ενίσχυσης της γεύσης. Αναφορικά με την ενσωμάτωση της κ-καραγενάνης, πρέπει να πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες μεταξύ των 40 και 50°C. Το πρόσθετο αυτό δεν χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο ως μέσο ενθυλάκωσης (Hambleton et al., 2009), ωστόσο έχει γίνει χρήση του σε όξινα γαλακτοκομικά προϊόντα, διότι ευνοεί τις συνθήκες ανάπτυξης των προβιοτικών μικροοργανισμών (Chen & Chen et al., 2007).

#### 2.4.6. Πρωτεΐνες ορού γάλακτος

Οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος παρουσιάζουν την ικανότητα που απαιτείται για τον σχηματισμό τοιχώματος κατά την ενθυλάκωση συστατικών. Χρησιμοποιούνται ευρέως ως μέσο ενθυλάκωσης κατά την ξήρανση με εκνέφωση, όπως για παράδειγμα στην ενθυλάκωση άνυδρου λίπους γάλακτος (Young et al., 1993). Στο εμπόριο, οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος διατίθενται ως απομονωμένες πρωτεΐνες (πρωτεϊνικά

υπερσυμπυκνώματα) ορού (Whey Protein Isolate, WPI με 95-96% πρωτεΐνες) ή ως συμπυκνώματα πρωτεϊνών ορού (Whey Protein Concentrate, WPC-50, WPC-70), σε μορφή σκόνης. Οι απομονωμένες πρωτεΐνες ορού γάλακτος έχει αποδειχθεί ότι προσφέρουν καλή προστασία έναντι της οξειδωσης κατά τον μικροεγκλεισμό αιθέριων ελαίων, παρέχοντας παράλληλα αποτελεσματικό μικροεγκλεισμό των αρωματικών ενώσεων, με εφαρμογή της μεθόδου ξήρανσης με ψεκασμό. Η πιο σημαντική πρωτεΐνη ορού γάλακτος, η β-λακτογλοβουλίνη, διαθέτει ενδιαφέρουσες γαλακτωματοποιητικές ιδιότητες, όπως και ιδιότητες σχηματισμού αφρού, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία τροφίμων (Bernard et al., 2011).

### 3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η ξήρανση με εκνέφωση του όξινου γαλακτοκομικού προϊόντος – κεφίρ σε εργαστηριακό ξηραντήρα με τη χρήση διαφορετικών μέσων ενθυλάκωσης, όπως πρωτεΐνες ορού γάλακτος, αραβικό κόμμι, καραγενάνη και μαλτοδεξτρίνη. Ειδικότερα, η μελέτη επικεντρώθηκε στις παραμέτρους που επηρεάζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος σε συνδυασμό με τα διαφορετικά μέσα ενθυλάκωσης. Η έρευνα για παραγωγή σκόνης κεφίρ με ποιοτικότερα χαρακτηριστικά μπορεί να αναδείξει πλεονεκτήματα διαφοροποίησης, αφού θα προσδώσει διευρυμένες χρήσεις καλύπτοντας μεγαλύτερο φάσμα αναγκών. Μια σκόνη με ποιοτικά χαρακτηριστικά δίνει τη δυνατότητα στην ευκολότερη μεταφορά και αποθήκευση, άλλα και την απευθείας πώληση στον καταναλωτή, αφού η μόνη ενέργεια του καταναλωτή θα είναι η προσθήκη νερού στο προϊόν. Η διατήρηση και η ανάπτυξη των ποιοτικών παραμέτρων μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση κάποιων πρόσθετων που χρησιμεύουν ως μέσα ενθυλάκωσης/εγκλεισμού. Η τρεχαλόζη, οι φρουκτολιγোসακχαρίτες, το αραβικό κόμμι, η μαλτοδεξτρίνη, η καραγενάνη και οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος είναι πρόσθετα τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία γάλακτος. Τα πρόσθετα αυτά και οι ιδιότητές τους σε διαφορετικές συγκεντρώσεις εξετάστηκαν στην παρούσα διπλωματική διατριβή.

## 4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 4.1. Παρασκευή του κεφίρ

Η παρασκευή του κεφίρ πραγματοποιήθηκε με τη ζύμωση αγελαδινού γάλακτος του εμπορίου υψηλής παστερίωσης (UHT), με τη χρήση του προβιοτικού BB-12 και των οξυγαλακτικών καλλιεργειών XPL-1 και LAF4/10U της Christian Hansen (Κοπεγχάγη, Δανία), των οποίων η σύσταση, από πλευράς μικροβιακών στελεχών, παρουσιάζεται στον Πίνακα 4. Στο γάλα που χρησιμοποιούνταν, γίνονταν θερμική επεξεργασία στους 90°C για 10min προκειμένου να γίνει μετουσίωση των πρωτεϊνών του ορού και να υποβοηθηθεί η πήξη του. Οι ποσότητες καλλιέργειας που χρησιμοποιούνταν ήταν ορισμένες από τον κατασκευαστή και προσαρμόζονταν σύμφωνα με τη ζυμωμένη ποσότητα γάλακτος. Οι αναλογίες ήταν οι εξής:

- BB-12: 26,592g σε ποσότητα των 1.000L
- XPL-1: 4,635g σε ποσότητα των 500L
- LAF4/10U: 10,222g σε ποσότητα των 10.000L

Οι ζυμώσεις επωάζονταν στους 25°C για περίπου 24 ώρες χωρίς ανάδευση και το επιθυμητό pH ήταν 4,6, όπου με την επίτευξη του οποίου το κεφίρ διαμοιράζονταν σε ίσες ποσότητες και τα πρόσθετα/βοηθητικά ξήρανσης ως μέσα ενθυλάκωσης, προστίθονταν με τον κατάλληλο τρόπο/μορφή στο μίγμα της ζύμωσης προκειμένου αυτό στη συνέχεια να ξηραθεί με εκνέφωση και μελετηθούν οι ιδιότητες, οι παράμετροί και η αποτελεσματικότητα τους στο να βελτιώνουν τα χαρακτηριστικά του ξηρού προϊόντος.

Πίνακας 4: Σύσταση των καλλιεργειών (Christian-Hansen, 2021) για την παρασκευή των δειγμάτων κεφίρ.

| Σύνθεση του XPL-1   | Σύνθεση του BB-12                             | Σύνθεση του LAF4/10U           |
|---|---|--------------------------------|
| <i>Lactococcus lactis subsp. cremoris</i>                     | <i>Bifidobacterium animalis subsp. lactis</i> | <i>Kluyveromyces marxianus</i> |
| <i>Lactococcus lactis subsp. lactis biovar. diacetylactis</i> |   |                                |
| <i>Lactococcus lactis subsp. lactis</i>                       |   |                                |
| <i>Leuconostoc</i>  |   |                                |
| <i>Streptococcus thermophilus</i>                             |   |                                |



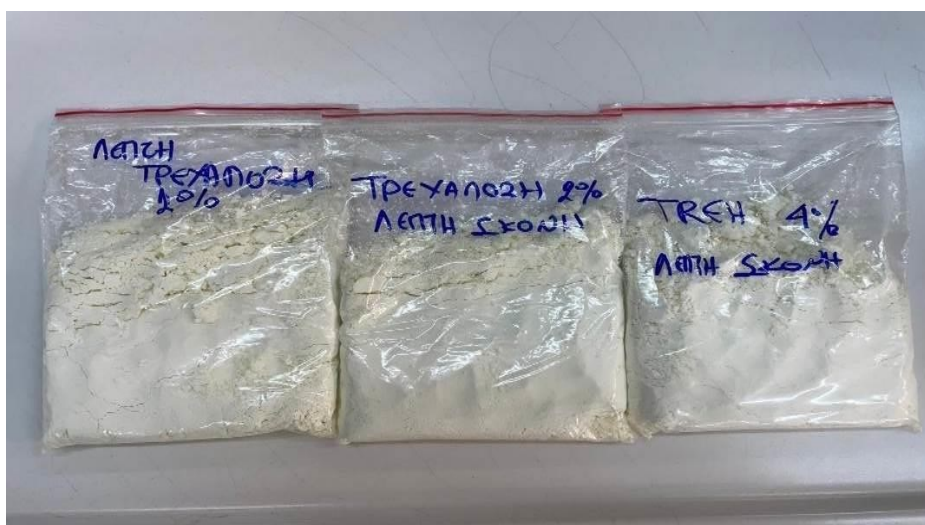
## 4.2. Ξήρανση με εκνέφωση του κεφίρ

Τα δείγματα κεφίρ των οποίων η ξήρανση με εκνέφωση μελετήθηκε με την προσθήκη διαφορετικών πρόσθετων ήταν τα προϊόντα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5. Πρόκειται για το κεφίρ χωρίς την προσθήκη κάποιου πρόσθετου (CONTROL), το κεφίρ με την προσθήκη τρεχαλόζης σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (TRH1%, TRH2%, TRH4%), με την προσθήκη φρουκτοολιγοσακχαριτών σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (FOS2%, FOS3%, FOS6%), με την προσθήκη καραγενάνης (Car0,5%), με την προσθήκη αραβικού κόμμεος (GA2%, GA4%, GA6%), με την προσθήκη μαλτοδεξτρίνης (MLD2%, MLD4%, MLD6%) και με την προσθήκη πρωτεϊνών γάλακτος (WHEY2%, WHEY5%, WHEY10%). Ένα δείγμα κεφίρ, χωρίς τη χρήση σε αυτό κάποιου βοηθητικού ξήρανσης, με σκοπό τη μελέτη της επίδρασης του χρόνου αποθήκευσης στα χαρακτηριστικά του παραγόμενου προϊόντος, παρέμεινε για 7 ημέρες σε θερμοκρασία 5°C πριν την ξήρανση του (TREAT).

*Πίνακας 5: Σύσταση δειγμάτων κεφίρ προς ξήρανση με εκνέφωση.*

| Κωδικός δείγματος | Στερεά γάλακτος (%κβ) | Πρόσθετο ενθυλάκωσης(%κβ) | RH% Αέρα ξήρανσης | Τελική ποσότητα σκόνης (g) |
|-------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------|----------------------------|
| CONTROL           | 10,06                 | -                         | 85                | 80,54                      |
| TRH1%             | 10,06                 | 1                         | 70                | 92,35                      |
| TRH2%             | 10,06                 | 2                         | 70                | 90,87                      |
| TRH4%             | 10,06                 | 4                         | 76                | 99,40                      |
| FOS2%             | 10,06                 | 2                         | 91                | 76,71                      |
| FOS3%             | 10,06                 | 3                         | 92                | 100,79                     |
| FOS6%             | 10,06                 | 6                         | 92                | 87,43                      |
| Car0,5%           | 10,06                 | 0,5                       | 85                | 84,10                      |
| GA2%              | 10,06                 | 2                         | 87                | 68,10                      |
| GA4%              | 10,06                 | 4                         | 90                | 64,32                      |
| GA6%              | 10,06                 | 6                         | 68                | 75,89                      |
| MLD2%             | 10,06                 | 2                         | 78                | 61,90                      |
| MLD4%             | 10,06                 | 4                         | 78                | 69,78                      |
| MLD6%             | 10,06                 | 6                         | 78                | 99,40                      |
| WHEY2%            | 10,06                 | 2                         | 91                | 85,56                      |
| WHEY5%            | 10,06                 | 5                         | 91                | 82,43                      |
| WHEY10%           | 10,06                 | 10                        | 91                | 88,61                      |
| TREAT             | 10,06                 | Treat 7d-5°C              | 85                | 84,98                      |

Η ξήρανση με εκνέφωση των διαφορετικών δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σε συγκεκριμένες συνθήκες ξήρανσης, όπου η θερμοκρασία εισόδου ήταν ορισμένη στους 140°C και η θερμοκρασία εξόδου στους 90°C. Η μέση απόλυτη υγρασία του αέρα



Εικόνα 9: Δείγματα παραληφθείσας σκόνης αμέσως μετά την ξήρανση με εκνέφωση.

περιβάλλοντος κατά τις ημέρες ξήρανσης ήταν 0,013 Kg H<sub>2</sub>O/Kg ξηρού αέρα ενώ η αντίστοιχη υγρασία του αέρα στην έξοδο από τον ξηραντήρα ήταν 0,050 Kg H<sub>2</sub>O/Kg ξηρού αέρα. Η αρχική ποσότητα του εκάστοτε δείγματος ήταν ορισμένη στα 2,1 L και η ξήρανση έγινε σε ξηραντήρα εκνέφωσης (Mini Spray Dryer SD-19, MRC Laboratory-Instruments, Israel) με εκνεφωτή ακροφυσίου διπλού ρεύματος, τροφίμου – αέρα υπό πίεση, και μέγιστη παροχή τροφοδοσίας προϊόντος προς ξήρανση τα 5 L/ h.



Εικόνα 10: Εσωτερικού θαλάμου ξήρανσης μετά την ολοκλήρωση της ξήρανσης, με τις επικαθήσεις προϊόντος που σχηματίστηκαν στα τοιχώματα του θαλάμου

### 4.3. Μέτρηση υγρασίας δειγμάτων

Στα δείγματα τόσο στην αρχική τους μορφή (νωπά δείγματα) όσο στη μορφή σκόνης μετά τη διεργασία της ξήρανσης με εκνέφωση, γινόταν προσδιορισμός της υγρασίας με τη σταθμική μέθοδο με ξήρανση σε κλίβανο μέχρι σταθερού βάρους στους  $102\pm 1^\circ\text{C}$ . Αρχικά τα καψίδια/δειγματοφορείς προξηραίνονταν στους  $102\pm 1^\circ\text{C}$  για 1 h ενώ για τα νωπά δείγματα



*Εικόνα 12: Κάψες πορσελάνης με την προσθήκη άμμου, νωπού δείγματος και την γυάλινη ράβδο.*



*Εικόνα 11: Δείγμα σκόνης που έχει παραμείνει στον κλίβανο ξήρανσης έπειτα από 24 h.*

προσθέτονταν επίσης ποσότητα άμμου (25 g) μαζί με γυάλινη ράβδο. Εν συνεχεία, οι δειγματοφορείς τοποθετούνταν σε απλό ξηραντήριο μέχρι την ψύξη τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ακολούθως, γινόταν ζύγιση των δειγμάτων (3-5 g), και αμέσως μετά τα δείγματα ξηραίνονταν στον κλίβανο για 24 h στους  $102\pm 1^\circ\text{C}$ , μέχρι σταθερού βάρους.

Ο υπολογισμός της υγρασίας, γινόταν αφού πρώτα είχε υπολογισθεί η ξηρή ουσία με τον ακόλουθο τύπο:

$$| \varepsilon . O (\%) = \frac{\text{Τελική μάζα σκόνης}}{\text{Αρχική μάζα σκόνης}} \times 100$$

Ενώ η υγρασία υπολογιζόταν από τον εξής τύπο:

$$| \gamma (\%) = 100 - \varepsilon . O (\%)$$

### 4.4. Μέτρηση pH των δειγμάτων

Η μέτρηση του pH πραγματοποιούνταν σε διάφορες χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Αρχικά γινόταν μέτρηση του pH μετά την παραγωγή του κεφίρ, προκειμένου να ελεγχθεί εάν το προϊόν είχε φτάσει στα επιθυμητά επίπεδα ( $\text{pH}=4,6$ ), εν συνεχεία γινόταν μέτρηση μετά την προσθήκη του εκάστοτε πρόσθετου, ενώ

λαμβάνονταν και μέτρηση πριν τη διαδικασία της ξήρανσης με εκνέφωση. Τέλος, μέτρηση του pH πραγματοποιούνταν και μετά την ανασύσταση των δειγμάτων, προκειμένου να υπάρξει μια ολοκληρωμένη εικόνα. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν με τον μετρητή pH της EDT Instruments Ltd., (Ηνωμένο Βασίλειο) που διέθετε το Εργαστήριο γάλακτος και γαλακτοκομικών προϊόντων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων του Δι.Πα.Ε.

#### 4.5. Προσδιορισμός οξύτητας των δειγμάτων

Ο προσδιορισμός της οξύτητας βασίζεται στην αρχή ότι μια ισοδύναμη ποσότητα αλκάλειος εξουδετερώνει μια ισοδύναμη ποσότητα οξέος. Προκειμένου να γίνει η αντίδραση εξουδετέρωσης χρησιμοποιείται διάλυμα καυστικού νατρίου (NaOH). Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι εκφρασμένα ανάλογα με την κανονικότητα του καυστικού νατρίου (NaOH). Πιο συγκεκριμένα, με τη χρησιμοποίηση του NaOH N/10, η οξύτητα εκφράζεται κατά κύριο λόγο ως γαλακτικό οξύ (%). Όμως στην περίπτωση των όξινων γαλακτοκομικών προϊόντων και πιο συγκεκριμένα του κεφίρ που περιέχει αυξημένα επίπεδα γαλακτικού οξέος, η οξύτητα εκφράζεται σε βαθμούς Soxhlet-Henckel (°SH) με χρήση (0,25N) NaOH N/4.



Εικόνα 13: Δείγμα έπειτα από την ογκομέτρηση με NaOH N/4.

Η μέτρηση πραγματοποιούνταν στα νωπά και ανασυσταμένα δείγματα, όπου λαμβάνονταν ποσότητα 10 g κεφίρ του εκάστοτε δείγματος, εν συνεχεία προστίθονταν 10 mL νερό και 2-3 σταγόνες δείκτη φαινολοφθαλεΐνης. Τέλος, πραγματοποιούνταν τιτλοδότηση με χρησιμοποίηση NaOH 0,25N έως ότου το χρώμα του διαλύματος μετατρέπονταν λόγω του δείκτη σε ελαφρώς ρόδινο. Η οξύτητα σε βαθμούς Soxhlet-Henckel (°SH) υπολογίζονταν από τη σχέση:

$$^{\circ}\text{SH} = \frac{\text{mL } \frac{N}{4} \text{ NaOH}}{\text{Ποσότητα δείγματος}} \times 100$$

όπου N/4 NaOH είναι η ποσότητα του αντιδραστηρίου σε mL που καταναλώνονταν κατά την εξουδετέρωση. Για τη μετατροπή των βαθμών Soxhlet-Henckel (°SH) σε γαλακτικό οξύ (%) χρησιμοποιούνταν η ακόλουθη αναλογία:

$$1 \text{ } ^{\circ}\text{SH} = 0,025\% \text{ γαλακτικό οξύ}$$



#### 4.6. Μέτρηση χύδην και στοιβαχτής πυκνότητας των δειγμάτων

Η μέτρηση της χύδην (Bulk Density) και της στοιβαχτής (Tapped Density) πυκνότητας αφορά τις σκόνες των δειγμάτων. Ορισμένη ποσότητα σκόνης 5 g τοποθετούνταν σε ογκομετρικό κύλινδρο των 25 mL και ο όγκος που καταλαμβάνονταν στον κύλινδρο καταγράφονταν για τον προσδιορισμό της χύδην πυκνότητας. Για τον προσδιορισμό της στοιβαχτής πυκνότητας στη συνέχεια, ο ογκομετρικός κύλινδρος με την προζυγισμένη σκόνη υποβάλλονταν σε 30 κάθετα χτυπήματα με τη δύναμη της βαρύτητας από ύψος 3 cm σε σταθερή επιφάνεια, προκειμένου να επιτευχθεί η στοιβαξη της σκόνης. Να σημειωθεί ότι για κάθε δείγμα πραγματοποιούνταν 3 επαναληπτικές μετρήσεις ( $\pm$ τυπική απόκλιση).

#### 4.7. Υπολογισμός δείκτη διαλυτότητας – Περιεχόμενο σε αδιάλυτα στερεά

Για τον προσδιορισμό του δείκτη διαλυτότητας, σε πλαστικό σωληνάριο φυγοκέντρου ζυγίζονταν ορισμένη ποσότητα σκόνης κεφίρ (3 g) του εκάστοτε δείγματος, και ακολούθως με την προσθήκη δεκαπλάσιας ποσότητας απεσταγμένου νερού (30 mL) και ανάδευση, με αναδευτήρα στροβιλισμού (Vortex), για μερικά λεπτά γινόταν ανασύσταση και διάλυση των υδατοδιαλύτων συστατικών των δειγμάτων σκόνης. Τα ανασυσταμένα αυτά δείγματα ως είχαν στις φιάλες φυγοκέντρου υποβάλλονταν σε φυγοκέντριση στις 4500 rpm για 30 λεπτά. Το αδιάλυτο ίζημα και το υπερκείμενο υγρό διαχωρίζονταν και ακολουθούσε η ξήρανση μέχρι σταθερού βάρους για 24 h στους  $102 \pm 1^\circ\text{C}$ . Ο υπολογισμός του δείκτη διαλυτότητας και του περιεχομένου σε αδιάλυτα συστατικά γινόταν με τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\text{Δείκτης Διαλυτότητας (WSI)} = \frac{\text{Βάρος ξηρού διαλυτού μέρους του δείγματος}}{\text{βάρος αρχικού δείγματος επί ξηρού}} \times 100$$

$$\text{Αδιάλυτα συστατικά (IMC)} = \frac{\text{Βάρος ξηρού αδιάλυτου μέρους του δείγματος}}{\text{βάρος αρχικού δείγματος επί ξηρού}} \times 100$$

#### 4.8. Προσδιορισμός υγροσκοπικότητας των δειγμάτων μέσω ισόθερμων προσρόφησης

Η υγροσκοπικότητα των δειγμάτων σκόνης προσδιορίστηκε μέσω των ισόθερων προσρόφησης υγρασίας, όπου μετρούνταν το προσλαμβανόμενο βάρος υγρασίας που απορροφούνταν από τα δείγματα σκόνης που βρίσκονταν αποθηκευμένα σε διαφορετικές συνθήκες σχετικής υγρασίας για χρονικό διάστημα 10 ημερών στους 25°C. Στο σημείο αυτό, να τονισθεί ότι τα δείγματα προηγουμένως είχαν τοποθετηθεί σε κλίβανο για ξήρανση στους 50°C για 24 h. Τα περιβάλλοντα με τις διαφορετικές συνθήκες σχετικής υγρασίας που χρησιμοποιήθηκαν σε συνδυασμό με τα κορεσμένα διαλύματα αλάτων παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 6.



Εικόνα 14: Δείγματα έτοιμα προς τοποθέτηση στα διαφορετικά περιβάλλοντα συνθηκών σχετικής υγρασίας (RH%).

Πίνακας 6: Σχετικές υγρασίες (RH%) κορεσμένων διαλυμάτων αλάτων στους 25°C που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των ισόθερων προσρόφησης.

| Χημική ένωση  | Σχετική Υγρασία (%) |
|---|---------------------|
| LiCl  | 11,3                |
| CH <sub>3</sub> COOK                                  | 23                  |
| MgCl <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O                   | 33                  |
| K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                        | 43                  |
| Mg (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O | 54                  |
| NaCl  | 75                  |
| KCl   | 85                  |
| KNO <sub>3</sub>                                      | 95                  |

#### 4.9. Κατανομή μεγέθους σωματιδίων δειγμάτων

Για τον προσδιορισμό των κατανομών μεγέθους των σωματιδίων στα υγρά και στερεά δείγματα κεφίρ χρησιμοποιήθηκε συσκευή αναλυτή γωνιακής περίθλασης/σκέδασης Malvern Mastersizer 2000 laser diffraction analyzer (Malvern Instruments Ltd., Ηνωμένο Βασίλειο) σε σύζευξη ανάλογα με τα δείγματα με τον κατάλληλο δειγματολήπτη υγρών δειγμάτων Hydro 2000, ή δειγμάτων σκόνης Sirocco 2000. Ο δείκτης διάθλασης των δειγμάτων ορίστηκε στο 1,53 και προσδιορίστηκαν το διάμεσο μέγεθος της κατανομής όγκου

(D[0,5],  $\mu\text{m}$ ), ο μέσος σταθμισμένος όγκος (D[4,3],  $\mu\text{m}$ ), η μέση σταθμισμένη επιφάνεια (D[3,2],  $\mu\text{m}$ ) και η ειδική επιφάνεια (SSA,  $\text{m}^2/\text{g}$ ) των δειγμάτων.

#### 4.10. Μελέτη της μορφολογίας των δειγμάτων

Στα δείγματα σκόνης, τα νωπά και ανασυσταμένα δείγματα κεφίρ μελετήθηκε η υφή τους με τη χρήση συνεστιακής μικροσκοπίας σάρωσης. Η παραπάνω διαδικασία έλαβε χώρα με τη χρήση του συνεστιακού μικροσκοπίου Confocal Laser Scanning Microscope (CLSM) της εταιρείας Carl Zeiss (Jena, Γερμανία) και τη βοήθεια του προγράμματος ZEN LSM στον Η/Υ.

Για την προετοιμασία των νωπών και ανασυσταμένων δειγμάτων με τη βοήθεια πιπέτας μια ορισμένη ποσότητα δείγματος (σταγόνα) από το εκάστοτε προϊόν τοποθετούνταν σε αντικειμενοφόρο πλάκα σε συνδυασμό με μια σταγόνα από μίξη χρωστικών (Acridine Orange και Nile Red). Στη συνέχεια, οι δυο σταγόνες αναμειγνύονταν με τη βοήθεια σπάτουλας, καλύπτονταν με καλυπτρίδα και παρατηρούνταν στο μικροσκόπιο η δομή τους με τη χρήση εστιακών φακών ( $63\times$ ), ενώ ανά τακτά χρονικά διαστήματα γινόταν εμβάπτιση με έλαιο (Immersol) στον εστιακό φακό. Τέλος η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τη μελέτη των δειγμάτων σκόνης, η οποία όμως διαφοροποιήθηκε στο ότι δεν έγινε χρήση χρωστικής και για τη συγκράτησή τους πάνω στην αντικειμενοφόρο πλάκα κατά την παρατήρηση έγινε χρήση κολλητικής ταινίας διπλής όψευς.

#### 4.11. Μικροβιολογικές αναλύσεις

Ο μικροβιακός πληθυσμός των νωπών δειγμάτων και των δειγμάτων σκόνης προσδιορίστηκε με τη μέθοδο της καταμέτρησης αποικιών σε συνέχεια ανάπτυξης σε κατάλληλο στερεό θρεπτικό μέσο σε τριβλία Petri. Οι μικροοργανισμοί για τους οποίους έγινε προσπάθεια να προσδιοριστούν ήταν οι προβιοτικοί, οι λακτοβάκιλλοι, οι ζύμες και οι λακτόκοκκοι. Κατάλληλη αραιώση των δειγμάτων γινόταν με αραιωτικό μέγιστης ανάκτησης (Maximum Recovery Diluent) που παρασκευάζονταν σύμφωνα με τις οδηγίες του παρασκευαστή (Neogen Culture Media, Heywood UK).

Η προετοιμασία παρασκευής των υποστρωμάτων, αφορούσε τη δημιουργία υποστρωμάτων για ζύμες, προβιοτικούς, λακτόκοκκους και λακτοβάκιλλους όπως φαίνονται παρακάτω.

Υπόστρωμα Ζυμών: Το Y.G.C Agar (Neogen Culture Media, Heywood UK) ήταν το εκλεκτικό υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε για την απομόνωση και την ανάπτυξη των ζυμών. Το pH του υποστρώματος ρυθμιζόνταν στο 6,7.

Υπόστρωμα προβιοτικών: Το M.R.S Agar (Neogen Culture Media, Heywood UK) χρησιμοποιήθηκε, σε συνδυασμό με την προσθήκη κυστεΐνης και του αντιβιοτικού mupirocin, προκειμένου να δράσουν εκλεκτικά στην απομόνωση και ανάπτυξη των προβιοτικών (Bunesova et al., 2015). Η προσθήκη κυστεΐνης και αντιβιοτικού, ήταν σε αναλογία 0,05 g κυστεΐνη και 0,025 g αντιβιοτικού ανά 100 mL M.R.S Agar και γινόταν μετά την αποστείρωση του θρεπτικού υποστρώματος στους 121°C για 15 min.

Υπόστρωμα λακτόκοκκων: Η απομόνωση των λακτόκοκκων πραγματοποιήθηκε με την χρήση του M17 Agar (Millipore, Darmstadt Germany), το pH του υποστρώματος κυμαίνονταν γύρω στο 6,9.

Υπόστρωμα λακτοβακίλλων: Το M.R.S Agar (Neogen Culture Media, Heywood UK) χρησιμοποιήθηκε για την απομόνωση και ανάπτυξη των λακτοβακίλλων. Το pH του υποστρώματος ρυθμιζόνταν στο 6,6.

Τα παραπάνω υποστρώματα μετά την αποστείρωση σε αυτόκλειστο στους 121°C για 15 min., ψύχονταν στους 45-46°C, χυτεύονταν σε τριβλία Petri και αφηνόταν μέχρι τη στερεοποίηση τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος υπό σταθερό ρεύμα αέρα νηματικής ροής.

Η επώαση των μικροοργανισμών στα τριβλία γινόταν σε ειδικές για τον καθένα συνθήκες όπως παρουσιάζονται ακολούθως.

- Ζύμες: θερμοκρασία περιβάλλοντος για 5 ημέρες.
- Προβιοτικοί: τοποθέτηση σε ξηραντήρα υπό αναερόβιες συνθήκες που δημιουργούνται με κατάλληλα σκευάσματα αναερόβιου περιβάλλοντος anaerocult (Merck, Γερμανία) και επώαση σε κλίβανο στους 37°C για 72 ώρες.
- Λακτόκοκκοι: σε κλίβανο με αερόβιες συνθήκες στους 30°C για 48 ώρες.
- Λακτοβάκιλλοι: τοποθέτηση σε ξηραντήρα υπό αναερόβιες συνθήκες που δημιουργούνται με κατάλληλα σκευάσματα αναερόβιου περιβάλλοντος anaerocult (Merck, Γερμανία) και επώαση στους 37°C για 72 ώρες.

#### 4.12. Προσδιορισμός χρώματος

Ο προσδιορισμός του χρώματος έγινε με την χρήση του χρωματόμετρου MetaVue Paint Benchtop Spectrophotometer της εταιρείας X-rite, Inc. (Grand Rapids, Michigan, USA) και τη βοήθεια του αντίστοιχου λογισμικού Color iControl για το συγκεκριμένο όργανο. Οι



χρωματικοί παράγοντες που προσδιορίστηκαν ήταν το  $L^*$  ,  $a^*$  ,  $b^*$  και WI-ASTM. Ο παράγοντας  $L^*$  αφορά τις πληροφορίες που είναι σχετικές με τη φωτεινότητα και οι τιμές που παίρνει είναι από το 0 (μαύρο) μέχρι το 100 (λευκό). Το  $a^*$  παίρνει θετικές και αρνητικές τιμές, όπου οι θετικές αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κόκκινου και οι αρνητικές του πράσινου. Αντίστοιχα στο  $b^*$  οι θετικές τιμές αφορούν κίτρινες αποχρώσεις και οι αρνητικές του μπλέ. Τέλος έγινε εκτίμηση της λευκότητας με τον ειδικό δείκτη WI-ASTM.

#### 4.13. Ανασύσταση των δειγμάτων

Η ανασύσταση των δειγμάτων, αναφορικά με την αρχική περιεκτικότητα των δειγμάτων κεφίρ σε υγρασία, πραγματοποιήθηκε σε ποσοστό 100%. Πιο συγκεκριμένα με βάση την περιεκτικότητα σε υγρασία των δειγμάτων σκόνης και των νοπών δειγμάτων, υπολογίζονταν και προστίθονταν ορισμένη ποσότητα απεσταγμένου νερού ώστε να αντιστοιχεί στην αρχική υγρασία των νοπών δειγμάτων.



Εικόνα 15: Ανασυσταμένα δείγματα κεφίρ.

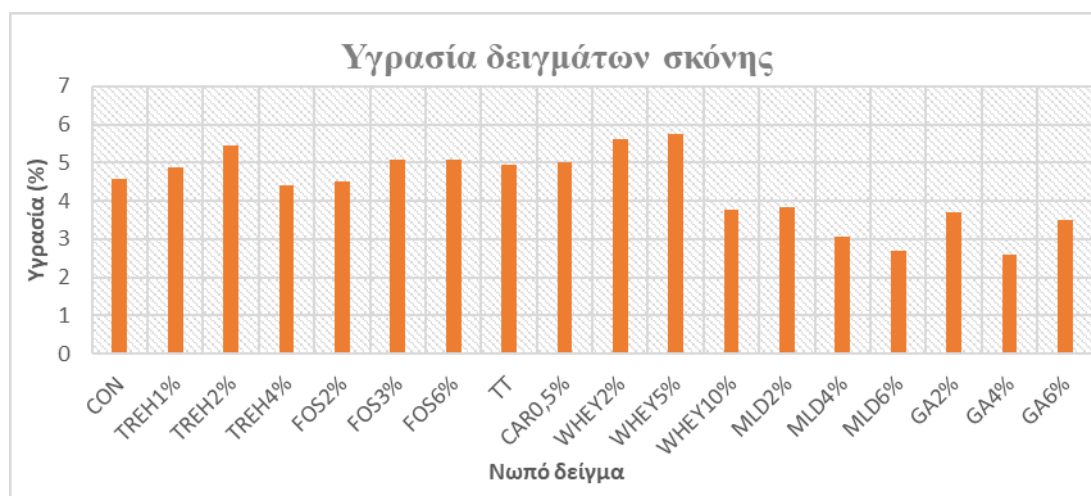
## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 5.1. Υγρασία

Η υγρασία αποτελεί μία από τις βασικές ιδιότητες της παραγόμενης σκόνης και επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό και άλλες χαρακτηριστικές ιδιότητες όπως είναι η διαλυτότητα, η πυκνότητα και η υγροσκοπικότητα. Ο προσδιορισμός της υγρασίας των δειγμάτων, πραγματοποιήθηκε τόσο στα νωπά όσο και στα δείγματα σκόνης (Σχήματα 1 και 2). Αναφορικά, με τις μετρήσεις των νωπών δειγμάτων παρατηρείται ότι στα διαφορετικά πρόσθετα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως μέσα ενθυλάκωσης υπάρχει μια σταδιακή μείωση του ποσοστού υγρασίας, με την αύξηση συγκέντρωσης του εκάστοτε μέσου ενθυλάκωσης.



Σχήμα 1: Αποτελέσματα του προσδιορισμού υγρασίας των νωπών δειγμάτων κεφίρ.



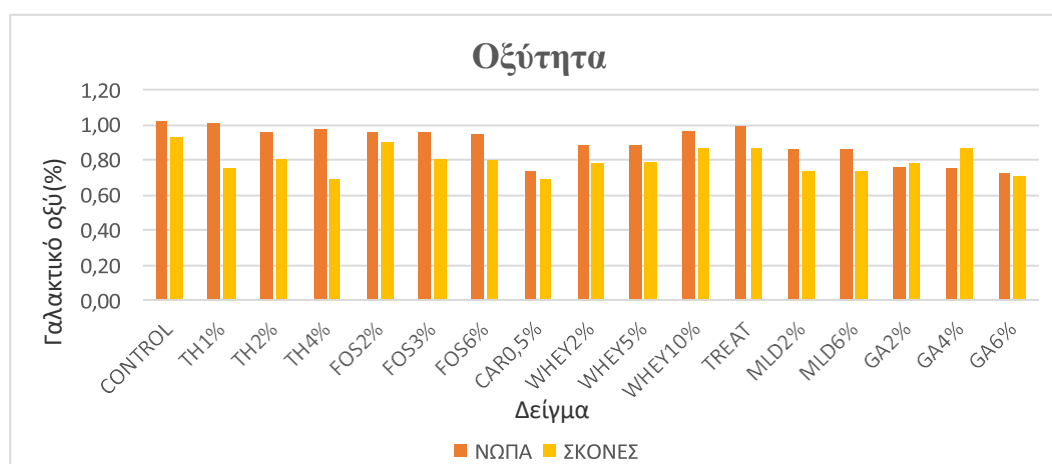
Σχήμα 2: Αποτελέσματα του προσδιορισμού υγρασίας δειγμάτων σκόνης κεφίρ.

Όσον αφορά το περιεχόμενο υγρασίας στα δείγματα των παραγόμενων κόνεων, το ποσοστό κυμαίνονταν από 2,6 έως 5,7%. Το χαμηλότερο ποσοστό παρατηρήθηκε στο δείγμα με την προσθήκη αραβικού κόμμεος σε συγκέντρωση 4%(GA4%), το οποίο μπορεί να οφείλεται στην μειωμένη ικανότητα συγκράτησης νερού που προσδίδει το αραβικό κόμμι, καθώς είναι φανερό ότι και τα τρία δείγματα με την προσθήκη κόμμεος παρουσιάζουν χαμηλότερα ποσοστά σε σύγκριση με το δείγμα μάρτυρα. Αντίθετα, τα δείγματα που περιείχαν πρωτεΐνες ορού γάλακτος διαθέτουν υψηλό ποσοστό υγρασίας, ιδιαίτερα εκείνα με συγκέντρωση 2% και 5%, εξαιτίας του υδρόφοβου χαρακτήρα που διαθέτουν, το οποίο περιορίζει την διάχυση του ενθυλακωμένου συστατικού (Bylaite et al., 2001).

Γενικότερα, η περιεκτικότητα της παραγόμενης σκόνης σε υγρασία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες στις οποίες γίνεται η ξήρανση, όπως είναι η διαφορά μεταξύ των θερμοκρασιών εισόδου-εξόδου καθώς και η παροχή τροφοδοσίας του αέρα ξήρανσης στον ξηραντήρα. Για το λόγο αυτό, όταν η θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα είναι αρκετά υψηλή, το περιεχόμενο υγρασίας που παραλαμβάνεται από το αυτόν είναι αρκετά μεγαλύτερο.

## 5.2. Οξύτητα

Οι τιμές οξύτητας των νωπών δειγμάτων κυμάνθηκαν μεταξύ 0,72% και 1,02% σε γαλακτικό οξύ, ενώ για τα ανασυσταμένα δείγματα σκόνης οι τιμές, όπως ήταν αναμενόμενο, στις περισσότερες περιπτώσεις ήταν μειωμένες ανάμεσα στο 0,71% και μέχρι 0,93%, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3. Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελεί το δείγμα με την προσθήκη αραβικού κόμμεος συγκέντρωσης 4% (GA4%), που εμφάνισε υψηλότερη τιμή οξύτητας μετά το πέρας της ξήρανσης με εκνέφωση. Με βάση το παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι η προσθήκη

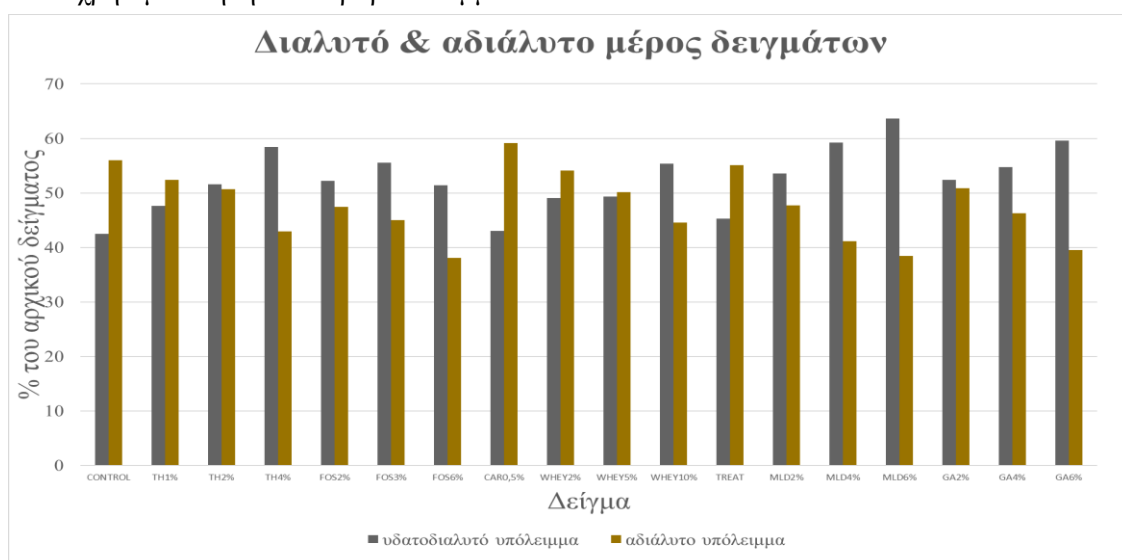


Σχήμα 3: Αποτελέσματα του προσδιορισμού οξύτητας των δειγμάτων νωπού κεφίρ και ανασυσταμένων δειγμάτων.

αραβικού κόμμεος αυξάνει την βιωσιμότητα των βακτηρίων γαλακτικού οξέος, ενώ παρόμοια αποτελέσματα έδειξε και η έρευνα που διεξήχθη από τους Al-Nuaimi et al. (2015) κατά την οποία χρησιμοποιήθηκε αραβικό κόμμι ως πρεβιοτικό σε κεφίρ, με αποτέλεσμα την αύξηση της οξύτητας και την περαιτέρω ανάπτυξη των *Lactobacillus acidophilus* και *Bifidobacterium lactis* κατά το χρονικό διάστημα αποθήκευσης του κεφίρ. Αντίθετα, τα δείγματα με την προσθήκη τρεχαλόζης, ως μέσο εγκλεισμού, δεν υποβλήθηκαν ιδιαίτερα στη διατήρηση της οξύτητας σε σύγκριση με τον προσδιορισμό της οξύτητας που διεξήχθη πριν την ξήρανση με εκνέφωση, το οποίο επιβεβαιώνεται και από την μελέτη του Linders (1997) κατά την ξήρανση με εκνέφωση του βακτηρίου *Lactobacillus plantarum* με τη χρήση μέσων ενθυλάκωσης, όπως σορβιτόλη, τρεχαλόζη και μαλτόζη, με την τρεχαλόζη να αποδίδει τα λιγότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα για την επιβίωση του βακτηρίου, με μία από τις βασικές παραμέτρους να είναι η μείωση της οξύτητας στο τελικό προϊόν που βρίσκονταν υπό την μορφή σκόνης.

### 5.3. Διαλυτότητα

Η διαλυτότητα είναι πιθανόν να επηρεαστεί από διάφορους παράγοντες, όπως είναι η θερμοκρασία που πραγματοποιείται η ξήρανση με εκνέφωση, η σύνθεση του αρχικού προϊόντος και η υγρασία που διαθέτει το τελικό ξηρό προϊόν. Όπως είναι φανερό στο Σχήμα 4, τα δύο δείγματα με την προσθήκη μαλτοδεξτρίνης (MLD2%-MLD4%) διαθέτουν αυξημένη διαλυτότητα, το οποίο πιθανώς να επηρεάζεται από την ικανότητα της μαλτοδεξτρίνης να βελτιώνει τη διαλυτότητα στις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται ως μέσο ενθυλάκωσης (Gharsallaoui, 2007), ενώ το ίδιο συμβαίνει και στις περιπτώσεις δειγμάτων όπου χρησιμοποιήθηκε το αραβικό κόμμι.

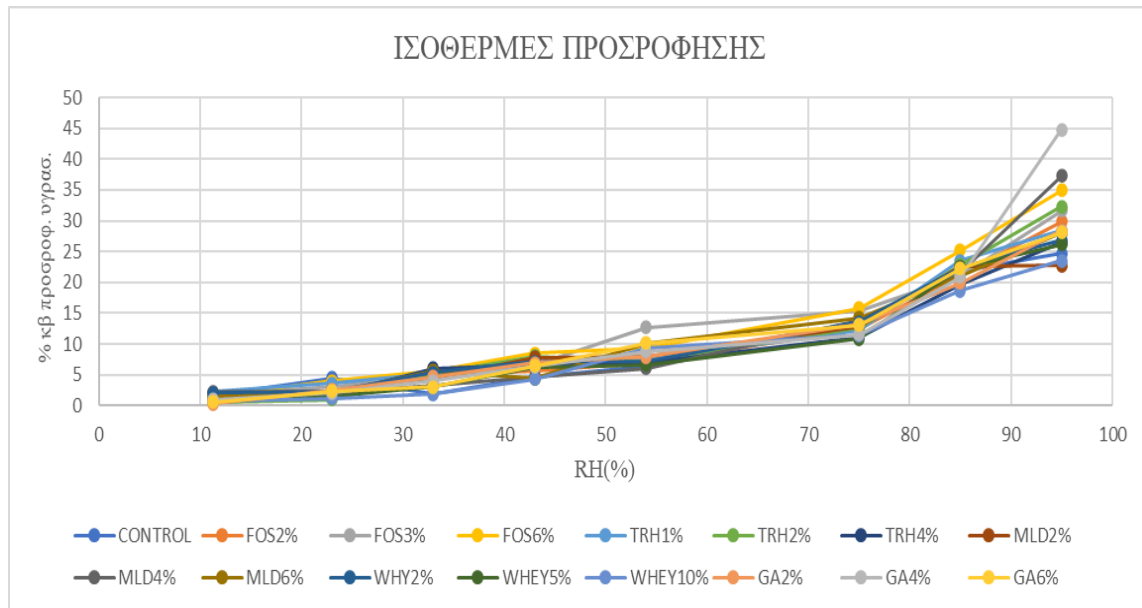


Σχήμα 4: Αποτελέσματα του προσδιορισμού της διαλυτότητας και του περιεχομένου σε διαλυτά και αδιάλυτα συστατικά των δειγμάτων σκόνης.

Αντίθετα, στα δείγματα στα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως μέσο ενθυλάκωσης οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος (WHEY2%-WHEY5%-WHEY10%), η διαλυτότητα εμφανίστηκε φανερά μειωμένη, καθώς πιθανόν επηρεάστηκε από τη μετουσίωση των πρωτεϊνών λόγω της θερμικής επεξεργασίας που υφίστανται κατά την ξήρανση (Wijayanti et al., 2014; Wang et al., 2014). Επιπρόσθετα, με την απομάκρυνση του νερού η εξωτερική στοιβάδα των σωματιδίων σκόνης, λόγω της παρουσίας των πρωτεϊνών, μετατρέπεται σε υδρόφοβη με αποτέλεσμα να δυσκολεύει την αλληλεπίδρασή τους με το νερό και μειώνει κατ' αυτό τον τρόπο τη διαλυτότητα των δειγμάτων. Παρόμοια αποτελέσματα έδειξε και η μελέτη των Rizqiati et al. (2021), οι οποίοι επέλεξαν να χρησιμοποιήσουν τα παραπάνω πρόσθετα ως μέσα ενθυλάκωσης σε κατσικίσιο γάλα και βρήκαν ότι οι διαφορετικές μέθοδοι ξήρανσης, συμπεριλαμβανομένου και της ξήρανσης με εκνέφωση, δεν επηρέασαν παραμέτρους όπως η διαλυτότητα, το pH και το ιζώδες, με το συμπέρασμα που προέκυψε να μην δείχνει καμία ιδιαίτερη μεταβολή στις φυσικοχημικές ιδιότητες της σκόνης κατσικίσιου γάλακτος.

#### 5.4. Υγροσκοπικότητα

Η υγροσκοπικότητα αφορά την ικανότητα που διαθέτει το υλικό, στη συγκεκριμένη περίπτωση τα δείγματα σκόνης κεφίρ, να απορροφούν υγρασία από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται σε συνάρτηση με το χρόνο. Στο Σχήμα 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ισόθερμων προσρόφησης των διαφορετικών δειγμάτων, όπου παρατηρούνται ομοιότητες αναφορικά με τα διαφορετικά μέσα ενθυλάκωσης τα οποία χρησιμοποιήθηκαν. Όπως είναι γνωστό η μαλτοδεξτρίνη προσδίδει χαμηλότερη απορρόφηση υγρασίας στα δείγματα (Wang & Zhou ,2013). Παρομοίως, τα δείγματα κεφίρ με πρωτεΐνες ορού γάλακτος δείχνουν να έχουν μειωμένη υγροσκοπικότητα παρόλο που στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν μελέτες γαλακτοκομικών προϊόντων στα οποία έχει πραγματοποιηθεί ξήρανση με εκνέφωση με υλικό ενθυλάκωσης τις πρωτεΐνες ορού γάλακτος και δείχνουν να έχουν ισχυρή ικανότητα προσρόφησης υγρασίας (Chen & Mujumdar, 2008). Η προσρόφηση υγρασίας είναι ένας παράγοντας, ο οποίος μεταβάλλεται από παραμέτρους όπως η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, αφού αυξημένη θερμοκρασία οδηγεί σε αυξημένο ποσοστό απορρόφησης της υγρασίας και σε συνδυασμό με τις πρωτεΐνες ορού γάλακτος το ποσοστό αυτό γίνεται ακόμη υψηλότερο.



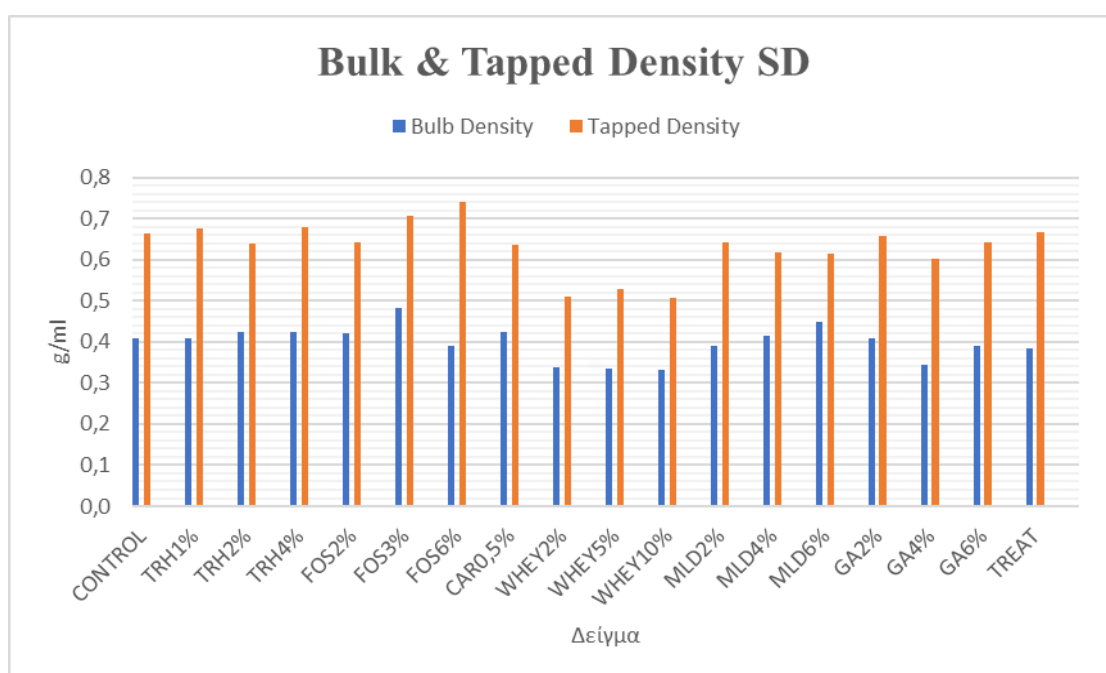
Σχήμα 5: Αποτελέσματα ισόθερων προσρόφησης των δειγμάτων κεφίρ σε μορφή σκόνης.

Πίνακας 7: Μετρήσεις υγρασίας στο μέγιστο ποσοστό σχετικής υγρασίας 95%.

| ΔΕΙΓΜΑ      | %κ.β. προσροφημένη υγρασία |
|-------------|----------------------------|
| CONTROL     | 25                         |
| FOS2%       | 30                         |
| FOS3%       | 32                         |
| FOS6%       | 35                         |
| TRH1%       | 28                         |
| TRH2%       | 32                         |
| TRH4%       | 26                         |
| MLD2%       | 23                         |
| MLD4%       | 37                         |
| MLD6%       | 28                         |
| WHY2%       | 27                         |
| WHEY5%      | 26                         |
| WHEY10%     | 24                         |
| GA2%        | 28                         |
| <b>GA4%</b> | <b>45</b>                  |
| GA6%        | 28                         |

## 5.5. Χύδην και στοιβαχτή πυκνότητα

Η χύδην πυκνότητα, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 6, φέρεται να είναι στα ίδια επίπεδα σε όλα τα δείγματα σκόνης .κεφίρ. Σύμφωνα με τη μελέτη των Tonon et al. (2010), η χύδην πυκνότητα σχετίζεται σε σημαντικό βαθμό με το μοριακό βάρος των υλικών του τοιχώματος. Επομένως, όσο μεγαλύτερο αριθμό μορίων διαθέτει ένα υλικό ανά μονάδα βάρους, έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζεται ευκολότερα στον χώρο και να καταλαμβάνει λιγότερο χώρο, με αποτέλεσμα να προσδίδει υψηλότερες τιμές χύδην πυκνότητας.

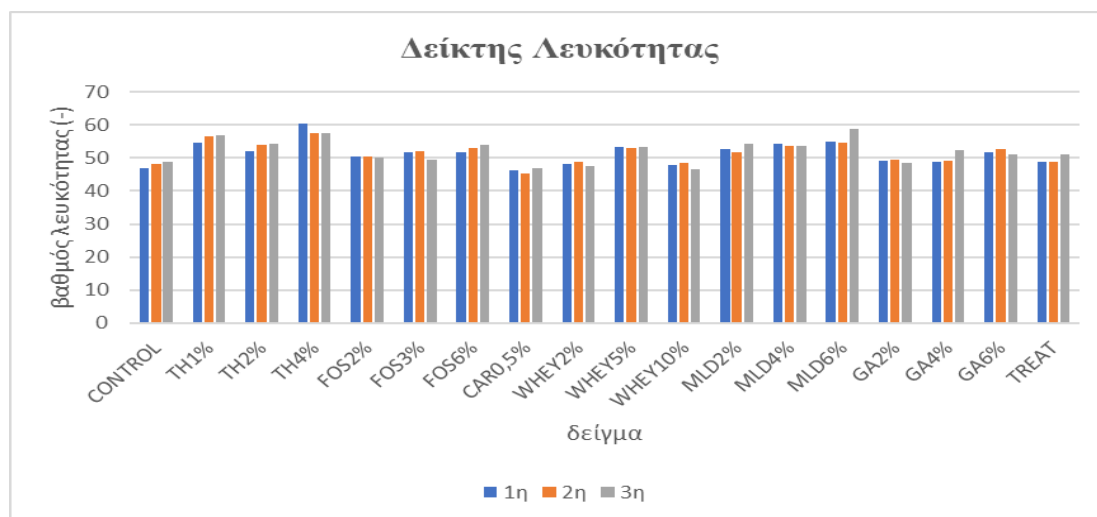


Σχήμα 6: Αποτελέσματα μετρήσεων χύδην και στοιβαχτής πυκνότητας.

Με βάση τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι τα δείγματα τα οποία περιείχαν φρουκτολιγοςακχαρίτες (FOS2%, FOS3%, FOS6%) και τρεχαλόζη (TRH1%, TRH2%, TRH5%), που αποτελούν και τα χαμηλότερου μοριακού βάρους συστατικά, από όσα χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη, έδωσαν υψηλότερες τιμές χύδην πυκνότητας σε σύγκριση με τα δείγματα με προσθήκη πρωτεϊνών ορού γάλακτος (WHEY2%, WHEY5%, WHEY10%), οι οποίες έχουν αυξημένο μοριακό βάρος και εμφάνισαν σημαντική διαφοροποίηση. Ανάλογα αποτελέσματα έδωσε και η στοιβαχτή πυκνότητα των κόνεων, αυξημένη σε όλες τις περιπτώσεις περίπου κατά 50% σε σχέση με τη χύδην.

## 5.6. Δείκτης λευκότητας

Ο προσδιορισμός του χρώματος και συγκεκριμένα η μέτρηση του δείκτη λευκότητας (whiteness index) έδωσε τα αποτελέσματα, τα οποία απεικονίζονται στο Σχήμα 7. Ειδικότερα, τα διαφορετικά μέσα ενθυλάκωσης που χρησιμοποιήθηκαν, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το δείκτη αυτό, που παρόλα αυτά, είναι δυνατόν να επηρεαστεί και από άλλες παραμέτρους, όπως η υγροσκοπικότητα και οι θερμοκρασίες ξήρανσης που μπορεί να επιτείνουν φαινόμενα αντιδράσεων Maillard και καραμελοποίησης. Η τρεχαλόζη, ως μέσο εγκλεισμού, προσέδωσε στα δείγματα κεφίρ λευκότερο χρώμα σε σχέση με το δείγμα-μάρτυρα (CONTROL), ιδιαίτερα στο δείγμα με την υψηλότερη συγκέντρωση (TRH4%), το οποίο μπορεί να οφείλεται στο λευκό χρώμα της. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και στα δείγματα με φρουκτολιγосуακχαρίτες, τα οποία εμφάνισαν σταθερότητα στην απόχρωσή τους κατά την αποθήκευση.



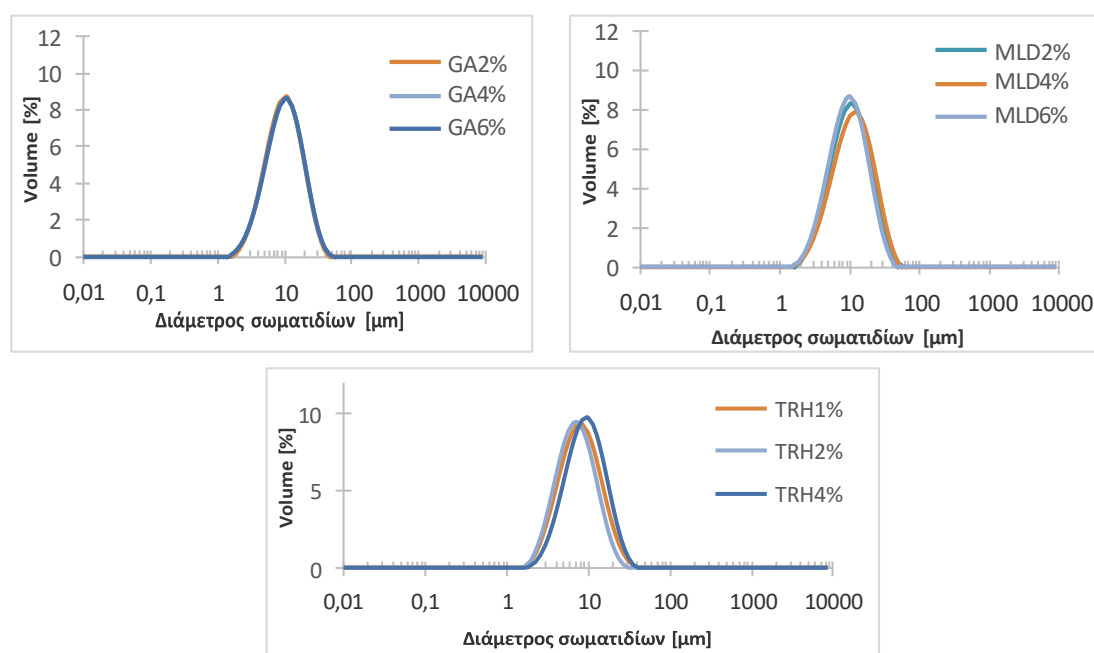
Σχήμα 7: Αποτελέσματα μέτρησης δείκτη λευκότητας των δειγμάτων κεφίρ σε μορφή σκόνης, 1<sup>η</sup> μέτρηση εντός 30 ημερών από την ξήρανση, 2<sup>η</sup> μέτρηση εντός 45 ημερών από την ξήρανση, 3<sup>η</sup> εντός 60 ημερών από την ξήρανση.

Επιπρόσθετα, τα δείγματα με την προσθήκη μαλτοδεξτρίνης (MLD2%, MLD4%, MLD6%) εμφάνισαν αυξημένη λευκότητα, κάτι το οποίο έρχεται σε αντίθεση με άλλες μελέτες σε γαλακτοκομικά προϊόντα, όπου η λευκότητα εμφανίστηκε μειωμένη λόγω των αντιδράσεων Maillard κατά την ξήρανση με εκνέφωση, που πραγματοποιήθηκε όμως σε αυτές τις περιπτώσεις, σε υψηλότερες θερμοκρασίες ξήρανσης (180°C) και αφορούσε την επίδραση της αναλογίας μεταξύ λακτόζης και μαλτοδεξτρίνης σε παρασκευή σκόνης βρεφικού γάλακτος (Masum et al., 2019).



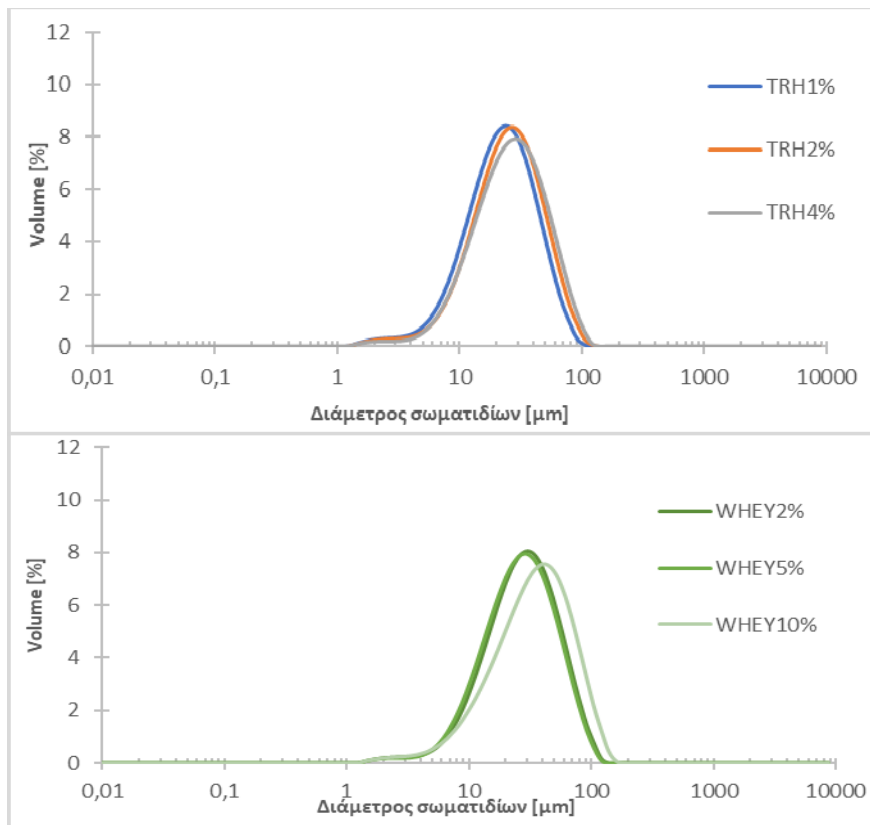
## 5.7. Κατανομή μεγέθους σωματιδίων

Στο Σχήμα 8 παρουσιάζεται η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων για τα δείγματα σκόνης που παράχθηκαν με μέσα ενθυλάκωσης την τρεχαλόζη, το αραβικό κόμμι και την μαλτοδεξτρίνη. Τα σωματίδια σκόνης που παρήχθησαν κατά την ξήρανση με εκνέφωση σε όλες τις περιπτώσεις των δειγμάτων ανεξάρτητα της συγκέντρωσης των μέσων ενθυλάκωσης παρουσίασαν εύρος κατανομών από ~2  $\mu\text{m}$  έως ~50  $\mu\text{m}$  με μέγιστο στα ~10  $\mu\text{m}$ . Οι διαφορικές κατανομές των σωματιδίων σκόνης ήταν μονοδιάσπαρτες με διακριτή κορυφή (στα ~10  $\mu\text{m}$ ) και χωρίς δευτερεύουσες κάτι που καταδεικνύει ξεκάθαρα τον πρωτεύοντα



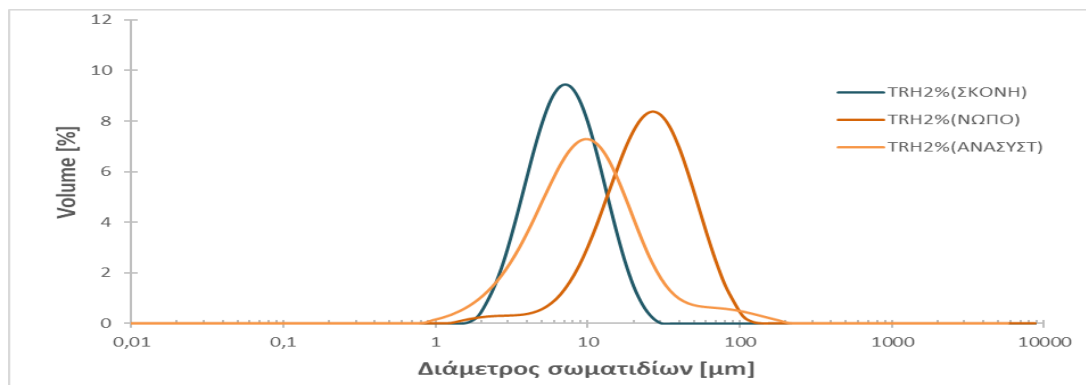
Σχήμα 8: Κατανομές μεγέθους σωματιδίων των δειγμάτων σκόνης που παράγονται με διαφορετικά μέσα ενθυλάκωσης.

ρόλο που παίζει, κατά την ξήρανση με εκνέφωση η μέθοδος εκνέφωσης και οι παράμετροι λειτουργίας της στη ρύθμιση του μεγέθους των σταγονιδίων και κατά συνέπεια των σωματιδίων της σκόνης που παράγεται. Σε όλες τις περιπτώσεις, η παρουσία μεγαλύτερων σωματιδίων μπορεί να αποτελέσει ένα στάδιο για μια μετέπειτα διαδικασία συσσωμάτωσης (Tonon et al, 2009). Παρόμοια αποτέλεσμα εμφάνισε η μελέτη των Tonon et al (2009) κατά την παραγωγή σκόνης acai με χρήση διαφορετικών μέσων ενθυλάκωσης σε ξήρανση με εκνέφωση, αφού η διάμετρος των σωματιδίων με χρήση μαλτοδεξτρίνης και αραβικού κόμμιος κυμαίνονταν σε ίδια επίπεδα.



Σχήμα 9: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων των νοπών δειγμάτων που παράγονται με διαφορετικά μέσα ενθυλάκωσης.

Σε μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε νοπά δείγματα κεφίρ, σε σύγκριση με αυτά των αντίστοιχων κόνεων, το μέγεθος των σωματιδίων που βρέθηκε ήταν εμφανώς μεγαλύτερο, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 9. Στα νοπά δείγματα του κεφίρ πριν την ξήρανση το εύρος κατανομών των σωματιδίων που παρατηρήθηκαν σε αυτά κυμαίνονταν μεταξύ ~5 και ~100 μm με μέγιστο στα ~25 με ~40 μm. Τα σωματίδια αυτά που παρατηρούνται στο κεφίρ κατόπιν της ζύμωσης για την παρασκευή του, αποτελούν πήγματα των πρωτεϊνών του γάλακτος οι οποίες λόγω το χαμηλού pH 4,6 αποσταθεροποιούνται και κροκιδώνονται.

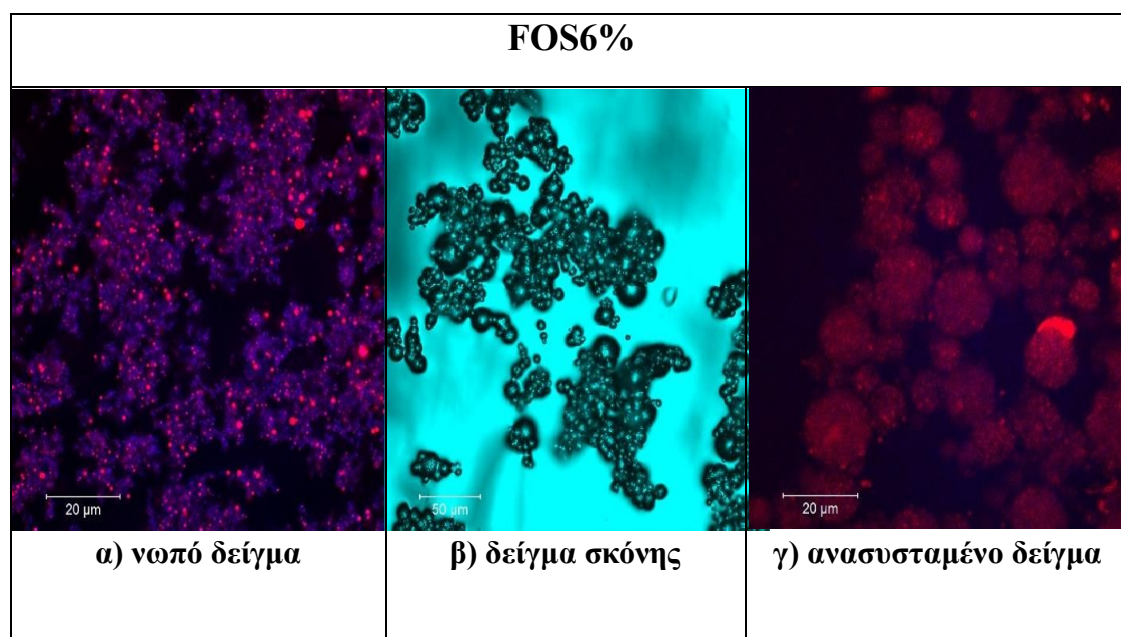


Σχήμα 10: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων του δείγματος κεφίρ με την προσθήκη τρεχαλόζης 2% για νοπό, ανασυσταμένο και κόνεος δείγμα.

Στο Σχήμα 10 γίνεται εμφανές το παραπάνω εύρημα, κατά την σύγκριση του ίδιου δείγματος σε όλα τα στάδια παρασκευής και μελέτης του (νωπό-σκόνη-ανασυσταμένο). Το δείγμα με την προσθήκη τρεχαλόζης πριν την ξήρανση, όπως φαίνεται, έχει σωματίδια μεγαλύτερα από αυτά της αντίστοιχης σκόνης του, τα οποία κατά την ξήρανση με εκνέφωση είτε συρρικνώνονται είτε διαρρηγνύονται, δίνοντας ως αποτέλεσμα ελαφρώς μικρότερου μεγέθους σωματίδια σκόνης. Αυτή η αλλαγή του μεγέθους των σωματιδίων που παρατηρούνται στη μάζα του προϊόντος λόγω της ξήρανσης με εκνέφωση επιβεβαιώνεται και κατά την ανασύσταση του προϊόντος όπου παρατηρείται πως η κατανομή μεγεθών του δείγματος έχει μετατοπιστεί προς μικρότερα μεγέθη σε σχέση με αυτά του νωπού.

## 5.8. Μελέτη των δειγμάτων με συνεστιακή μικροσκοπία

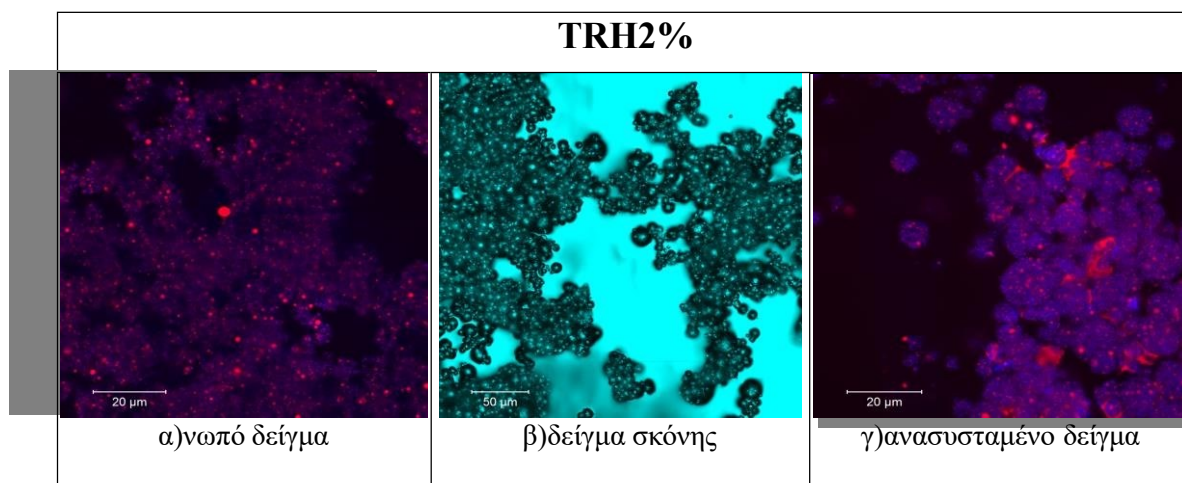
Στα παρακάτω σχήματα απεικονίζονται οι μικροφωτογραφίες συνεστιακού μικροσκοπίου των δειγμάτων που παρήχθησαν με διαφορετικούς φορείς ενθυλάκωσης. Οι σκόνες που προέκυψαν για όλους τους φορείς, είχαν σωματίδια παρόμοιων μεγεθών, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από την κατανομή μεγεθών των σωματιδίων. Όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει στο νωπό δείγμα εμφανίζονται συσσωματώματα σωματιδίων τα οποία συνεχίζουν να υφίστανται και στη σκόνη αλλά και μετά την ανασύσταση αυτής.



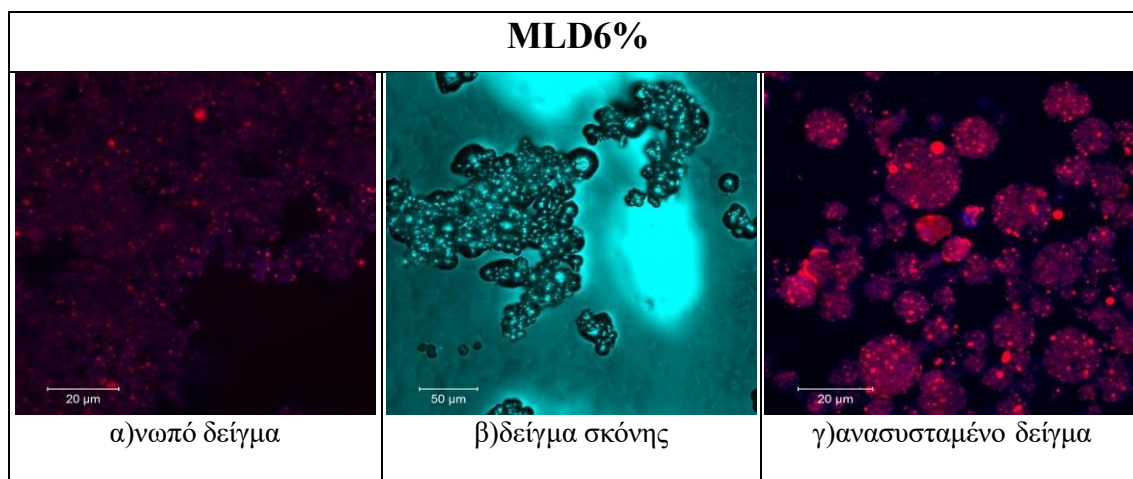
Σχήμα 11: Μικροφωτογραφίες συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης των δειγμάτων κεφίρ με χρήση φρουκτοολιγοσακχαριτών ως μέσο ενθυλάκωσης.

Τα μεμονωμένα σωματίδια παρουσιάζουν σφαιρικό σχήμα, το οποίο είναι χαρακτηριστικό των υλικών που παράγονται με ξήρανση με εκνέφωση, ενώ εμφανίζουν επίσης μια συρρικνωμένη επιφάνεια, η οποία οφείλεται στη χαμηλή θερμοκρασία εισόδου αέρα στον ξηραντήρα που χρησιμοποιήθηκε και η οποία οδηγεί σε βραδύτερη μεταφορά θερμότητας άρα και βραδύτερη ξήρανση, δίνοντας κατ' αυτό τον τρόπο, το χρόνο να συμβεί η συρρίκνωση της επιφάνειας τους (Allamilla-Beltran et al., 2005).

Τα λιποσφαίρια εμφανίζονται στις φωτογραφίες του μικροσκοπίου που παρατίθενται με το χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα, που προδίδεται από τις χρωστικές που χρησιμοποιήθηκαν, τόσο στα νωπά, όσο και στα ανασυσταμένα δείγματα. Σημαντική παρατήρηση αποτελεί πως στα δείγματα με την τρεχαλόζη και την μαλτοδεξτρίνη τα συσσωματώματα εμφανίζονται περισσότερο ενυδατωμένα σε σχέση με αυτά των δειγμάτων με φρουκτοολιγосακχαρίτες, κάτι που ίσως αποτελεί ένδειξη της ικανότητας των σακχάρων για ενθυλάκωση και διατήρηση της υγρασίας μέσα στα σωματίδια της σκόνης που δημιουργείται κατά την εκνέφωση. Όπως φαίνεται από τις μικροφωτογραφίες το δείγμα με την προσθήκη μαλτοδεξτρίνης εμφανίζει μεγαλύτερο μέγεθος λιποσφαιρίων στο εσωτερικό των σωματιδίων που σχηματίζονται, το οποίο πιθανώς να συμβαίνει λόγω της καλύτερης ενυδάτωσης που γίνεται με την προσθήκη μαλτοδεξτρίνης έναντι των δειγμάτων με την προσθήκη τρεχαλόζης και φρουκτοολιγосακχαριτών.



Σχήμα 12: Μικροφωτογραφίες συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης των δειγμάτων κεφίρ με χρήση τρεχαλόζης σε ποσοστό 2% ως μέσο ενθυλάκωσης.



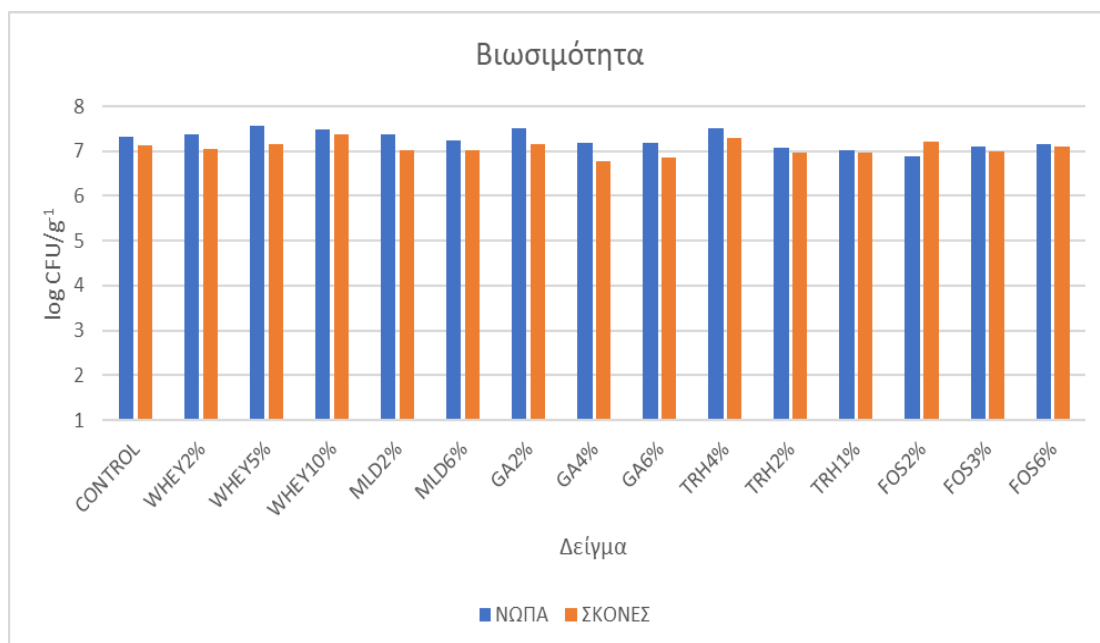
Σχήμα 13:Μικροφωτογραφίες συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης των δειγμάτων κεφίρ με χρήση μαλτοδεξτρίνης σε ποσοστό 6% ως μέσο ενθυλάκωσης.

## 5.9. Αποτελέσματα μικροβιολογικών αναλύσεων

Οι μικροβιολογικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, είχαν σαν αποτέλεσμα την εύρεση βιωσιμότητας μόνο στους λακτόκοκκους, αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω στο Σχήμα 14. Αναφορικά με τη βιωσιμότητα των υπολοίπων μικροοργανισμών ζυμών, λακτοβάκκιων αλλά και κυρίως του προβιοτικού μπιφτιβακτηρίου, παρότι έγιναν αρκετές προσπάθειες τα αποτελέσματα δεν έδωσαν συνέπεια και επαναληψιμότητα και εν τέλει διαπιστώθηκαν αμελητέες βιωσιμότητες. Είναι γνωστό ότι η ταυτόχρονη έκθεση μικροοργανισμών σε μηχανική και θερμική καταπόνηση μπορεί να οδηγήσει σε κυτταρικές βλάβες (μετουσίωση του DNA, αποσταθεροποίηση της κυτταροπλασματικής μεμβράνης λόγω απομάκρυνσης νερού) και ως εκ τούτου σε μειωμένη έως ανύπαρκτη βιωσιμότητα της επιθυμητής μικροχλωρίδας (Teijeiro, 2018). Ο Teijeiro και οι συνάδελφοι του προσπάθησαν να προσομοιάσουν τις συνθήκες πέψης του κεφίρ σε μορφή σκόνης στον ανθρώπινο γαστρεντερικό σωλήνα. Τα ευρήματά τους έδειξαν ότι στην περίπτωση όπου χρησιμοποιήθηκαν η μαλτοδεξτρίνη και οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος ως μέσα ενθυλάκωσης, η επιβίωση των ζυμών και των γαλακτικών βακτηρίων ήταν μειωμένη.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα για τη βιωσιμότητα των λακτόκοκκων, στο δείγμα κεφίρ μάρτυρα (CONTROL) υπάρχει μια μικρή μείωση του πληθυσμού, αφού από  $7,306 \log \text{CFU/g}^{-1}$  στο νωπό δείγμα, μειώνεται στο  $7,133 \log \text{CFU/g}^{-1}$  στο δείγμα σκόνης. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρούνται για το σύνολο των δειγμάτων με μοναδική εξαίρεση το δείγμα κεφίρ με την προσθήκη φρουκτοολιγοσακχαρίτη με συγκέντρωση 2% (FOS2%), όπου

εντοπίζεται αύξηση του πληθυσμού στο δείγμα σκόνης σε σχέση με το νωπό δείγμα και φανερώνει την θετική επίδραση που μπορεί να έχουν οι φρουκτοολιγοσακχαρίτες στην επιβίωση των λακτόκοκκων. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι η μέτρηση της βιωσιμότητας των μικροοργανισμών στα δείγματα σκόνης, πραγματοποιήθηκε σε ανασυσταμένη σκόνη, προκειμένου να υπάρχει ίδια συγκέντρωση στερεών με τα νωπά δείγματα.



Σχήμα 14: Καταμέτρηση των αποικιών των δειγμάτων για τους λακτόκοκκους εκφρασμένο σε λογαριθμικούς κύκλους σε σχέση με τον αρχικό πληθυσμό των νωπών δειγμάτων.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν οι παράμετροι που επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος του κεφίρ σε σύγκριση με τα διαφορετικά υλικά ενθυλάκωσης που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ξήρανση με εκνέφωση.

Κατά την ξήρανση με εκνέφωση του κεφίρ παρατηρήθηκε ιδιαίτερα αισθητή πτώση του ποσοστού της μετρούμενης υγρασίας στα δείγματα τα οποία προστέθηκε αραβικό κόμμα ως μέσο ενθυλάκωσης με το χαμηλότερο ποσοστό να παρατηρείται στο δείγμα με συγκέντρωση 4% αραβικού κόμματος, ενώ το ίδιο μέσο ενθυλάκωσης προσέφερε και αυξημένη οξύτητα στα δείγματα.

Αναφορικά με τη διαλυτότητα, τα δείγματα με την προσθήκη μαλτοδεξτρίνης εμφάνισαν αυξημένη διαλυτότητα, προσφέροντας με αυτό τον τρόπο καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά στο τελικό προϊόν. Επίσης, η μαλτοδεξτρίνη εμφάνισε και χαμηλή απορρόφηση υγρασίας, δίνοντας χαμηλή υγροσκοπικότητα στα διαφορετικά μικροπεριβάλλοντα στα οποία αυτή εξετάστηκε.

Για τη λευκότητα των τελικών δειγμάτων σκόνης, τα δείγματα με την τρεχαλόζη που μετρήθηκαν παρουσίασαν τον υψηλότερο δείκτη λευκότητας, δίνοντας την λευκότερη απόχρωση στο κεφίρ κατά το χρονικό διάστημα που έλαβαν χώρα οι μετρήσεις.

Τα σωματίδια σκόνης που παρήχθησαν έδωσαν ομοιόμορφες μονοδιάσπαρτες κατανομές με εύρος από ~2 μm έως ~50 μm με μέγιστο στα ~10 μm για όλα τα διαφορετικά δείγματα, ενώ τα σωματίδια που δημιουργούνται κατά την ξήρανση διαθέτουν μικρότερο μέγεθος σωματιδίων σε σύγκριση με τα νωπά και ανασυσταμένα δείγματα. Επιπλέον, τα ευρήματα του συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης έδειξαν ότι η προσθήκη μαλτοδεξτρίνης στο κεφίρ μπορεί να προσδώσει καλύτερη ενυδάτωση των σωματιδίων σκόνης που σχηματίζονται κατά την ανασύσταση του κεφίρ. Τέλος, η βιωσιμότητα των λακτόκοκκων εμφανίστηκε μειωμένη στο σύνολο των δειγμάτων σκόνης σε σύγκριση με τα νωπά, με εξαίρεση το δείγμα με την προσθήκη φρουκτοολιγοσακχαριτών σε ποσοστό 6%, που εμφάνισε μια ανοδική τάση του πληθυσμού στο δείγμα σκόνης.



## 7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η μελλοντική έρευνα για την ανάπτυξη αφυδατωμένου προϊόντος κεφίρ με τη χρήση της ξήρανσης με εκνέφωση (spray drying), μπορεί να περιλαμβάνει μελέτες που αφορούν τη βελτιστοποίηση των συνθηκών στις οποίες πραγματοποιείται η εκνέφωση, προκειμένου να υπάρξουν οι βέλτιστες λειτουργικές ιδιότητες. Επιπλέον, σαν αρχικό προϊόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί κεφίρ που θα παρασκευάζεται από κόκκους, με αποτέλεσμα να υπάρχει η πιθανότητα βιωσιμότητας των επιθυμητών ευεργετικών μικροοργανισμών, όπως τα προβιοτικά κ.α.

Η περαιτέρω μελέτη για την επιλογή του κατάλληλου φορέα ενθυλάκωσης, θα μπορούσε να αποτελέσει ένα σημαντικό τμήμα για μελλοντική έρευνα, εστιάζοντας περισσότερο σε συγκεκριμένους φορείς ενθυλάκωσης σε συνδυασμό με την εφαρμογή διαφορετικών συνθηκών ξήρανσης με γνώμονα την βελτίωση των ποιητικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος. Επίσης, ο συνδυασμός διαφορετικών φορέων με διαφορετικά χαρακτηριστικά θα μπορούσε δυνητικά να επιφέρει σημαντικές βελτιώσεις τόσο στη βιωσιμότητα των μικροοργανισμών όσο και στα χαρακτηριστικά των παραγόμενων κόνεων.

Τέλος, από τη μελλοντική έρευνα δεν θα μπορούσε να λείπει η δημιουργία ενός μοντέλου συσχέτισης των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών που θα εξάγονταν από μια οργανοληπτική δοκιμή και των αντικειμενικών μετρήσιμων ιδιοτήτων, προκειμένου να αναπτυχθεί ένα λειτουργικό προϊόν κεφίρ με άριστα ποιοτικά χαρακτηριστικά που θα οδηγούσε στην ανάπτυξη ενός προϊόντος σε εμπορική κλίμακα για το ευρύ κοινό.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anandharamakrishnan C., & Ishwarya S.P. (2015) Spray Drying Techniques for Food Ingredient Encapsulation. John Wiley & Sons, Ltd., Hoboken, Chichester, UK, pp 53-55.
- Angulo L., Lopez E., & Lema C. (1993). Microflora present in kefir grains of the Galician region (North-West Spain). *Journal of Dairy Research*. 60, 263-267.
- Allamilla-Beltran, L., Chanona-Perez, J.J., Jiménez-Aparicio, A.R., & Gutierrez Lopez, G.F. (2005). Description of morphological changes of particles along spray drying. *Journal of Food Engineering*, 67, 179–184.
- Anandharamakrishnan C. (2017) Handbook of Drying for Dairy Products. John Wiley & Sons, Ltd., Hoboken, Chichester, UK, pp 16-18.
- Abraham A.G., & De Antoni G.L. (1999). Characterization of kefir grains grown in cows' milk and in soya milk. *Journal of Dairy Research*. 66, 327–333.
- Adhikari, B., Howes, T., Shrestha, A. K., & Bhandari, B. R. (2007). Development of stickiness of whey protein isolate and lactose droplets during convective drying. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 420–428.
- Al-Nuaimi, A. H., Azizi, A., Abdullah, A., Rosli, W. I. W., & Hassan, Z. (2015). Effect of flaxseed mucilage and gum arabic on probiotic survival and quality of kefir during cold storage. *Journal of dairy science*, 98(4), 2028-2038.
- Bernard, C., Regnault, S., Gendreau, S., Charbonneau, S., & Relkin, P. (2011). Enhancement of emulsifying properties of whey proteins by controlling spray-drying parameters. *Food Hydrocolloids*. 25(4), 758–763.
- Bellikci-Koyu, E., Sarer-Yurekli, B. P., Akyon, Y., Aydin-Kose, F., Karagozlu, C., Brinkmann, A., Ozgen, A. G., Brinkmann, A., Nitsche, A., Ergunay, K., Yilmaz, E., & Buyuktuncer, Z. (2019). Effects of regular kefir consumption on gut microbiota in patients with metabolic syndrome: A parallel-group, randomized, controlled study. *Nutrients*, 11(9), 2089.
- Bengoa, A. A., Iraporda, C., & Garrote, G. L. (2018). Kefir microorganisms: Their role in grain assembly and health properties of fermented milk. *Journal of Applied Microbiology*, 126(3), 686–700.
- Bourrie Benjamin CT, Willing B.P., & Cotter PD (2016). The Microbiota and Health Promoting Characteristics of the Fermented Beverage Kefir. *Front Microbiology*. 4(7): 647.
- Bunesova V., Musilova S., Geigerova M., Radko P., & Rada V. (2015). Comparison of mupirocin-based media for selective enumeration of bifidobacteria in probiotic supplements. *Journal Microbiological Methods*. 109:106-109.
- Bylaite, E., Nylander, T., Venskutonis, R., & Jönsson, B. (2001). Emulsification of caraway essential oil in water by lecithin and [beta]-lactoglobulin: emulsion stability and properties of the formed oil-aqueous interface. *Colloids and Surfaces B: Bio-interfaces*, 20, 327-340.
- Cevikbas A., Yemni E., Ezzedenn F.W., Yardimici T., Cevikbas U., & Stohs SJ. (1994). Antitumoral antibacterial and antifungal activities of kefir and kefir grain. *Phytother Res*, 8:78-82.

- Chen, M.J., & Chen, K.N., (2007). Applications of probiotic encapsulation in dairy products. In: Lakkis, Jamileh M. (Ed.), *Encapsulation and Controlled Release Technologies in Food Systems*. Wiley-Blackwell, USA, pp. 83–107.
- Chen H. C., Wang S.Y., & Chen M.J., (2008). Microbiological study of lactic acid bacteria in kefir grains by culture-dependent and culture-independent methods. *Food Microbiology*. 25, 492-501.
- Chen, X., & Mujumdar, A. (2008). *Drying Technologies in Food Processing*. Chennai, India: Blackwell.
- Christian-Hansen, (2021). LAF-4 Product Information, Version: 12 PI EU EN 03-22-2021, [www.chr-hansen.com](http://www.chr-hansen.com).
- Dobry D. E, Dana M. Settell, John M. Baumann, Rod J. Ray, Lisa J. Graham & Ron A. Beyerinck (2009). A Model-Based Methodology for Spray-Drying Process Development, *Journal of Pharmaceutical Innovation* volume 4, pp 133–142.
- Diosma G., Romanin D.E., Rey-Burusco M.F., Londero A., & Garrote, G. L., (2014). Yeasts from kefir grains: isolation, identification, and probiotic characterization. *World Journal Microbiology Biotechnology*. 30, 43–53.
- Dobson A., O’Sullivan O., Cotter P.D., Ross P., & Hill C., (2011). High- throughput sequence-based analysis of the bacterial composition of kefir and an associated kefir grain. *FEMS Microbiology Letter*. 320, 56–62.
- Donovan S.M., Schneeman B., Gibson G.R., & Sanders M.E. (2012). Establishing and Evaluating Health Claims for Probiotics. *Advances Nutrition*. 3(5):723–725.
- Diego P. R. Ascheri, Márcia O. M. Marquez, & Martucci E.T. (2003). Microencapsulation of orange essential oil: wall material selection, *Food Science Technology*. 23 (suppl):1-6.
- Dimitreli G., & Antoniou K.D. (2011). Effect of incubation temperature and caseinates on the rheological behaviour of kefir (ICEF11). *Procedia Food Science*, 1, 583–588.
- Degeest B., Vaningelgem F., & De Vuyst L. (2001). Microbial physiology, fermentation kinetics, and process engineering of heteropolysaccharide production by lactic acid bacteria. *International Dairy Journal*, 11 (9), 747–757.
- de Vos P., Faas, M.M., Spasojevic M., & Sikkema J., 2010. Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. *International Dairy Journal*, 20: 292-302.
- DeZarn, T. (1995). Food ingredients encapsulation: An overview. In S.J. Risch & G. A. Reineccius (Eds.), *Encapsulation and controlled release of food ingredients*. ACS symposium series., 590, 74-86.
- Elsayed E.A, Farooq M., Dailin D., El-Enshasy H., Othman N.Z., Malek R., Danial E., & Wadaan M. (2017). In vitro and in vivo biological screening of kefir polysaccharide produced by *Lactobacillus kefirifaciens*. *Biomedical Research* 2017, 28 (2): 594-600.
- Evonic Industries, 2019. SIPERNAT® specialty silica and AEROSIL® fumed silica in spray drying applications Technical Information TI 1365, [https://www.silica-specialist.com/en/our-markets/food?at\\_medium=corporateWebsite&at\\_campaign=marketSites](https://www.silica-specialist.com/en/our-markets/food?at_medium=corporateWebsite&at_campaign=marketSites).

- Estevinho, B.N., Rocha, F., Santos, L., & Alves. A. (2013). Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 31(2): 138-155.
- Farnworth E.R. (2005). Kefir – A complex probiotic. *Food Science and Technology Bulletin: Functional Foods*, 2 (1), 1–17.
- Garofalo C., Osimani A., Milanovic V., Aquilanti L., DeFilippis F., & Stellato G., (2015). Bacteria and yeast microbiota in milk kefir grains from different Italian regions. *Food Microbiology*. 49, 123–133.
- Garrote GL, Abraham A.G., & De Antoni GL. (2000). Inhibitory power of kefir: The role of organic acids. *Journal Food Prot.* 63:364-369.
- Golli-Bennour, E., El, R. T., Annaibi, E., Mokni, M., Omezzine, A., & Bacha, H. (2019). Protective effects of Kefir against deltamethrin-induced hepatotoxicity in rats. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(18), 18856–18865.
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., & Chambin, O. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview: *Food Research International*, 40 (9): 1107- 1121.
- Gibson, G. R., Probert, H. M., Van Loo, J., Rastall, R. A., & Roberfroid, M. B. (2004). Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. *Nutrition research reviews*, 17(2), 259-275.
- Guzel-Seydim Z.B, Kok-Tas T, Greene AK, & Seydim A.C. (2011). “Review: functional properties of kefir”, *Crit Rev Food Science Nutrition*. 51(3):261-8.
- Golowczyc MA, Gugliada MJ, Hollmann A, Delfederico L, Garrote GL & Abraham AG. (2008). Characterization of homofermentative Lactobacilli isolated from kefir grains: potential use as probiotic. *Journal Dairy Res.* 75:211-217.
- Hambleton, A., Fabra M.J., Debeaufort F., Dury-Brun C., & Voilley A. (2009). Interface and aroma barrier properties of iota-carrageenan emulsion-based films used for encapsulation of active food compounds. *Journal Food Engineering*. 93:80–88.
- Hamet M.F., Londero A., Medrano M., Vercammen E., Van Hoorde K., & Garrote G.L., (2013). Application of culture-dependent and culture-independent methods for the identification of *Lactobacillus kefirianofaciens* in microbial consortia present in kefir grains. *Food Microbiology*. 36, 327–334.
- Heni Rizqiati, Nurwantoro & Siti Susanti (2021). Physical and Chemical Characteristics of Goat Milk Powder with Different Drying Methods After Storage. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak* 16(1):65-74.
- Hosono A., Hachimura S., & Totsuka M. (2018). Immunomodulation by food: impact on gut immunity and immune cell function. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*.82(4):584-599.
- Huseini H.F., Rahimzadeh G., Fazeli M.R., Mehrazma M., & Salehi M. (2012). Evaluation of wound healing activities of kefir products. *Burns* 38:719-723.

- Irigoyen A., Arana I., Castiella M., Torre P., & Ibáñez F.C (2005). Microbiological, physicochemical, and sensory characteristics of kefir during storage. *Food Chemistry*. 90(4): 613-620.
- Jin T.H., Tsao E., Goudsmit J., Dheenadhayalan V., & Sadoff J: Stabilizing formulations for inhalable powders of an adenovirus 35-vectored tuberculosis (TB) vaccine (AERAS-402). *Vaccine*. 28:4369–4375.
- Katan M.B. (2012). “Why the European Food Safety Authority was right to reject health claims for probiotics”. *Beneficial Microbes*, 3(2): 85-89.
- Kenyon M. M. (1995). Modified starch, maltodextrin, and corn syrup solids as wall materials for food encapsulation. In S. J. Risch & G. A. Reineccius (Eds.), *Encapsulation and controlled release of food ingredients*. ACS symposium series, 590, 49-50.
- Kooiman P. (1968). The water-soluble polysaccharide of the kefir grain. *Carbohydrate research*. 7, 200-211.
- Koroleva, N. S. (1988). Technology of kefir and koumis. *Bulletin of the International Dairy Federation*, 227, 96-100.
- Korsak N., Taminiou B., Leclercq M., Nezer C., Crevecoeur S., & Ferauche C., (2015). Short communication: evaluation of the microbiota of kefir sample using metagenetic analysis targeting the 16S and 26S ribosomal DNA fragments. *Journal Dairy Science*. 98, 3684–3689.
- Leite A.M., Mayo B., Rachid C.T., Peixoto R.S., Silva J.T., Paschoalin V.M., & Delgado S. (2012) Assessment of the microbial diversity of Brazilian kefir grains by PCR-DGGE and pyrosequencing analysis. *Food Microbiology*. 31, 215-221.
- Linders L.J.M., Wolkers W.F., Hoekstra F.A., & Van't Riet K., 1997. Effect of added carbohydrates on membrane phase behaviour and survival of dried *Lactobacillus plantarum*. *Cryobiology* 35, 31–40.
- Maa Y.F., Costantino H.R., Nguyen P.A., & Hsu C.C. (2008). The effect of operating and formulation variables on the morphology of spray-dried protein particles. *Pharmaceut Develop Technol*. 2:213–223.
- Mainville I., Robert N., Lee B., & Farnworth E.R. (2006). Polyphasic characterization of the lactic acid bacteria in kefir. *Systematic Applied Microbiology*. 29, 59–68.
- Mariana C. Ferraz, F. R. Procopio, G. de Figueiredo Furtado, & M. D. Hubinger (2022) Co-encapsulation of paprika and cinnamon oleoresin by spray drying using whey protein isolate and maltodextrin as wall material: Development, characterization and storage stability. *Food Research International*, Vol 162, Part B.
- Marquina D., Santos A., Corpas I., Munoz J., Zazo J., & Peinado J., (2002). Dietary influence of kefir on microbial activities in the mouse bowel. *Systematic Applied Microbiology*. 35, 136–140.
- Marsh A. J., O’Sullivan O., Hill C.R., & Cotter P.D., (2013). Sequencing-based analysis of the bacterial and fungal composition of kefir grains and milks from multiple sources. *PLoS ONE* 8:69371.
- Masum A.K.M., Chandrapala J., Adhikari B., Huppertz T., & Zisu B. (2019). Effect of lactose-to-maltodextrin ratio on emulsion stability and physicochemical properties of spray-dried infant milk formula powders. *Journal of Food Engineering* 254, 34–41.

- Micheli L., Uccelletti D., Palleshi C., & Crescenzi V. (1999). Isolation and characterisation of a ropy *Lactobacillus* strain producing the exopolysaccharide kefiran. *Applied Microbiology and Biotechnology* 53:69-74.
- Nalbantoglu U., Cakar A., Dogan H., Abaci N., Ustek D., & Sayood K., (2014). Metagenomic analysis of the microbial community in kefir grains. *Food Microbiology*. 41, 42–51.
- Pham V.T., & Mohajeri M.H. (2018). “The application of in vitro human intestinal models on the screening and development of pre- and probiotics”. *Beneficial Microbes* Pages: 1 – 18.
- Nalbantoglu U., Cakar A., Dogan H., Abaci N., Ustek D., & Sayood K., (2014). Metagenomic analysis of the microbial community in kefir grains. *Food Microbiology*. 41, 42–51.
- Pintado M.E., Da Silva J.A.L., Fernandes P.B., Malcata F.X., & Hogg T.A. (1996). Microbiological and rheological studies on Portuguese kefir grains. *Int. Journal Food Science Technology*. 31, 15–26.
- Pu J., Bankston, J.D. & Sathivel S., (2011). Developing microencapsulated flaxseed oil containing shrimp (*Litopenaeus setiferus*) astaxanthin using a pilot scale spray dryer. *Biosystems Engineering*, 108: 121-132.
- Raja, K., Sankarikutty, B., Sreekumar, M., Jayalekshmy, A., & Narayanan C. (1989). Material characterization studies of maltodextrin samples for the use of wall material. *Starch starke*, 41, 298–30.
- Rodrigues K.L., Caputo L.R.G., Carvalho J.C.T., Evangelista J., & Schneedorf J.M. (2005). Antimicrobial and healing activity of kefir and kefiran extract. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 25 (5), 404–408.
- Rosa D.D., Dias M.M.S., Grzeskowiak L.M., Reis S.A., Conceicao L.L., & Peluzio M. (2017). Milk kefir: nutritional, microbiological and health benefits. *Nutrition Research Reviews*. 30, 82-96.
- Rimada P.S., Abraham A.G. (2006). Kefiran improves rheological properties of glucono- $\delta$ -lactone induced skim milk gels. *International Dairy Journal*, 16, 33– 39.
- Ritchie M. L., & Romanuk T. N. (2012). A meta-analysis of probiotic efficacy for gastrointestinal diseases. *PLoS One*, 7(4), 4.
- Santos A., San Mauro M., Sanchez A., Torres J.M., & Marquina D., (2003). The antimicrobial properties of different strains of *Lactobacillus spp.* isolated from kefir. *Systematic Applied Microbiology*. 26, 434–437.
- Schafroth N., Arpagaus C., U. Y. Jadhav, S. Makne & Douroumis D., (2012). Nano and microparticle engineering of water insoluble drugs using a novel spray-drying process. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 90: 8-15.
- Simova, E., Beshkova, D., Angelov A., Hristozova T. S., Frengova G., & Spazov Z. (2002). Lactic acid bacteria and yeasts in kefir grains and kefir made from them. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 28, 1-6.
- Teijeiro, M., Pérez, P.F., De Antoni, G.L., & Golowczyc M.A., (2018). Suitability of kefir powder production using spray drying. *Food Research International*. 112, 169–174.

Toniolo S. P., Afkhami S., D'Agostino M.R., Lichty B.D., Cranston Emily D., Xing Z., & Thompson M.R. (2020). Spray dried VSV-vectored vaccine is thermally stable and immunologically active in vivo. *Scientific Reports* 10, 13349.

Tonon, R.V., Brabet, C., & Hubinger, M.D., (2010). Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpeoleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food Research International* 43(3), 907-914.

Truong, V., Bhandari, B. R., & Howes, T. (2005). Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods. Part I-Moisture and glass transition temperature profile during drying. *Journal of Food Engineering*, 71(1), 55–65.

Vardjan T., Lorbeg P.M., Rogelj I., & Majhenic A.C. (2013). Characterization and stability of Lactobacilli and yeast microbiota in kefir grains. *Journal Dairy Science*. 96, 2729–2736.

Wang, W., & Zhou W. (2013). Water adsorption and glass transition of spray-dried soy sauce powders using maltodextrins as carrier. *Food Bioprocess Technol.* 6 (10), 2791–2799.

Wang Z., Li Y., Jiang, L., Qi B., & Zhou L. (2014). Relationship between secondary structure and surface hydrophobicity of soybean protein isolate subjected to heat treatment. *Journal of Chemistry*.

Wijayanti, H. B., Bansal, N., & Deeth, H. C. (2014). Stability of whey proteins during thermal processing: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*.

Εγχειρίδιο χρήσης για: SIPERNAT® specialty silica and AEROSIL® fumed silica in spray drying applications Technical Information, EVONIK INDUSTRIES.

Ζερφυρίδης, Γ.Κ., 2001. Τεχνολογία προϊόντων γάλακτος, ζυμωμένα προϊόντα, παγωτό, κρέμα βούτυρο. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούδη, Θεσσαλονίκη.