



**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:**

**«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ»**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

*Μελέτη παραγόντων που επηρεάζουν τις ιδιότητες προϊόντων κεφίρ  
σε σκόνη*

**ΠΑΠΟΥΤΣΗ ΜΑΡΙΑΛΕΝΑ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΔΗΜΗΤΡΕΛΗ ΓΕΩΡΓΙΑ**

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2023**

Μελέτη παραγόντων που επηρεάζουν τις ιδιότητες προϊόντων κεφίρ σε  
σκόνη

Παπουτσή Μαριαλένα

Η υποβολή της παρούσας Μεταπτυχιακής Διατριβής αποτελεί μέρος  
των απαιτήσεων για την απονομή του Μεταπτυχιακού Διπλώματος που  
απονέμεται από το τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων του  
Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος

Θεσσαλονίκη 2023

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Περατώνοντας τις μεταπτυχιακές μου σπουδές στο τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων του Διεθνούς Πανεπιστημίου Ελλάδος, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τους εξής ανθρώπους, οι οποίοι συνέβαλαν με το δικό τους τρόπο στη διεκπεραίωση τόσο της παρούσας εργασίας, όσο και των μεταπτυχιακών σπουδών μου εν γένει:

Την κα Δημητρέλη Γεωργία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια και εισηγήτρια της εργασίας, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου, τις πολύτιμες συμβουλές, και την άμεση ανταπόκρισή της καθ' όλη τη διάρκεια συγγραφής της εργασίας.

Τον κ. Εξαρχόπουλο Στυλιανό, Επίκουρο Καθηγητή Τμήματος Κτηνιατρικής ΑΠΘ και τον κ. Γούλα Αθανάσιο, Επίκουρο Καθηγητή του παρόντος Τμήματος, για την ανεκτίμητη συνεισφορά τους στη διεκπεραίωση του πειραματικού μέρους, καθώς και για την προθυμία τους να απαντήσουν σε κάθε απορία μου.

Τη Γροζτίδου Όλγα, υποψήφια διδάκτορα, για την αγαστή συνεργασία και την ευχάριστη αλληλεπίδραση στο εργαστήριο.

Τους πολυαγαπημένους μου καθηγητές, κ. Πετρίδη Δημήτριο και κ. Ραφαηλίδη Στυλιανό, για τις ανεκτίμητες γνώσεις και την εμπειρία που μου μετέδωσαν απλόχερα και θα αποτελέσουν εφόδια για τη μετέπειτα επαγγελματική πορεία μου.

Το μέντορά μου, Ερκέκογλου Ιωάννη, για τις πολύτιμες συμβουλές, την καθοδήγηση και τη βοήθεια που μου προσέφερε σε πολλαπλά επίπεδα τα τελευταία χρόνια.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και ιδιαίτερα το σύντροφό μου, Τάσο, για την αμέριστη αγάπη, συμπαράσταση, στήριξη και υπομονή καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας, ήταν η παραγωγή κεφίρ σε μορφή σκόνης και η μελέτη της επίδρασης της μεθόδου ξήρανσης και της προσθήκης διαφόρων ουσιών (με πιθανή θερμοπροστατευτική δράση), σε συγκεκριμένες ιδιότητες της σκόνης αλλά και των ανασυσταμένων δειγμάτων. Πιο συγκεκριμένα, παράχθηκαν 6 διαφορετικά δείγματα κεφίρ, ένας μάρτυρας, δείγμα το οποίο παρέμεινε 4 ημέρες στο ψυγείο μέχρι την ξήρανσή του και δείγματα στα οποία προστέθηκαν κεφίρανη, αραβικό κόμμι, ινουλίνη και φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες, αντίστοιχα. Η ξήρανση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της ξήρανσης με εκνέφωση σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες εισόδου (140°C και 180°C) και με τη μέθοδο της λυοφιλίωσης. Για το σκοπό του παρόντος πειράματος, οι σκόνες ανασυστάθηκαν στο 100% του αρχικού ποσοστού υγρασίας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, σχεδόν όλα τα λυοφιλωμένα δείγματα εμφάνισαν μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας σε σχέση με τα SDA (χαμηλή θερμοκρασία εισόδου) και SDB (υψηλή θερμοκρασία εισόδου) δείγματα, εκτός από δείγμα FD IN που παρουσίασε χαμηλότερη υγρασία σε σχέση με το αντίστοιχο SDA και εκτός από το FD KEF, το οποίο παρουσίασε μεγαλύτερη υγρασία μόνο από το αντίστοιχο SDB δείγμα. Τα δείγματα SDB KEF, SDB GA, SDB IN και SDB TR εμφάνισαν μικρότερο ποσοστό υγρασίας σε σχέση με τα αντίστοιχα SDA. Όλα τα ανασυσταμένα δείγματα εμφάνισαν πολύ μεγάλη μείωση στο ιζώδες και παράλληλα μεγάλη αύξηση στο δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς σε σχέση με τα νωπά δείγματα. Η ξήρανση με εκνέφωση και στις 2 θερμοκρασίες, παράγαγε σκόνες μικρού μεγέθους σωματιδίων, με κορυφή περίπου στα 10μm, με ένα μικρό ποσοστό σωματιδίων μεγαλύτερου μεγέθους να είναι, επίσης, παρόν. Αντίθετα, τα ανασυσταμένα SDA και SDB δείγματα εμφάνισαν μία μοναδική κορυφή ελαφρώς πάνω από τα 10μm. Η διαφορετική σύσταση των δειγμάτων λόγω των προσθέτων και οι διαφορετικές θερμοκρασίες εισόδου, δεν επηρέασαν το μέγεθος των σωματιδίων των κόνεων και των ανασυσταμένων δειγμάτων. Οι σκόνες που παράχθηκαν με ξήρανση με εκνέφωση εμφάνισαν σφαιρικό σχήμα με πορώδη επιφάνεια. Αντίθετα, οι λυοφιλωμένες σκόνες εμφάνισαν ακανόνιστο σχήμα και ανομοιόμορφη επιφάνεια. Η ανασύσταση τόσο των SDA και SDB δειγμάτων, όσο και των λυοφιλωμένων δειγμάτων, δεν επηρέασε τη μορφολογία των σωματιδίων των κόνεων.

## ABSTRACT

The purpose of the present work was the production of kefir powders and the study of the effect of the drying method and the addition of various carriers (possible thermoprotectants), on specific properties of the powders and the reconstituted samples. More specifically, 6 different kefir samples were produced, (control, a sample that remained for 4 days in the refrigerator until it was dried, and samples to which kefiran, gum arabic, inulin and fructo-oligosaccharides were added). The drying was carried out by spray drying at two different inlet temperatures (140°C and 180°C) and by freeze drying (lyophilization). For the purpose of the present work, the powders were reconstituted to 100% of the original moisture content.

According to the results, almost all the freeze-dried (FD) samples showed a higher percentage of moisture than both SDA (low inlet temperature) and SDB (high inlet temperature) samples, except for FD IN, which showed a lower moisture content than that of the corresponding SDA sample and FD KEF, which only showed a higher moisture content than the corresponding SDB sample. SDB KEF, SDB IN, SDB GA and SDB TR showed a lower moisture content in comparison with the corresponding SDA samples. All the reconstituted samples showed a very significant decrease in apparent viscosity and at the same time a considerable increase in the rheological behavior index, compared to the fresh samples. Spray drying at both inlet temperatures produced powders with small particles and a narrow particle size distribution, with a peak at around 10µm, while a small percentage of larger particles were also present. In contrast, the reconstituted SDA and SDB samples showed a unimodal distribution, with a peak slightly above 10µm. The different composition of the samples due to the different carriers and the different inlet temperatures did not affect the particle size of the powders and the reconstituted samples. Powders produced by spray drying showed a spherical shape with a porous surface. In contrast, the freeze-dried powders exhibited an irregular shape and uneven surface. Reconstitution of both SDA and SDB samples, as well as FD samples, did not affect the morphology of the particles of the powders.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	iv
ABSTRACT.....	v
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	ix
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....	3
2.1 Κεφίρ.....	3
2.1.1. Γενικά .....	3
2.1.2. Καλλιέργεια κεφίρ .....	4
2.1.2.1. Κόκκοι κεφίρ .....	4
2.1.2.2. Μικρογλωρίδα κόκκων κεφίρ.....	5
2.1.3. Τεχνολογία παρασκευής κεφίρ.....	8
2.1.3.1. Παραδοσιακή διαδικασία παραγωγής κεφίρ .....	9
2.1.3.2. Βιομηχανική διαδικασία παραγωγής κεφίρ.....	9
2.1.4. Χημική σύσταση και διατροφική αξία κεφίρ.....	10
2.2. Κεφιράνη .....	11
2.3. Ινουλίνη.....	15
2.4. Φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες (FOS).....	17
2.5. Αραβικό κόμμα.....	18
2.6. Ξήρανση με εκνέφωση.....	20
2.7. Λυοφιλίωση .....	25
2.8. Μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς του κεφίρ.....	29
2.8.1. Προσδιορισμός ιξώδους.....	29
3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	32
4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	33
4.1. Πρώτες ύλες.....	33
4.2. Παρασκευή δειγμάτων .....	33
4.2.1. Παρασκευή δειγμάτων κεφίρ .....	33
4.2.2. Παρασκευή δειγμάτων κεφίρ σε μορφή σκόνης .....	35
4.2.2.1. Ξήρανση με εκνέφωση.....	35
4.2.2.2. Λυοφιλίωση .....	36
4.2.3. Ανασύσταση των δειγμάτων σκόνης .....	36

4.3. Φυσικοχημικός έλεγχος.....	36
4.3.1. Προσδιορισμός υγρασίας.....	36
4.4. Μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς των δειγμάτων .....	37
4.4.1. Προσδιορισμός του φαινομενικού ιξώδους και του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς .....	37
4.5. Προσδιορισμός του μεγέθους σωματιδίων.....	38
4.6. Παρατήρηση της δομής των δειγμάτων στο Συνεστιακό Μικροσκόπιο Σάρωσης με Ακτίνες Laser (CLSM).....	38
4.7. Στατιστική ανάλυση.....	39
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	40
5.1. Προσδιορισμός της υγρασίας των δειγμάτων κεφίρ.....	40
5.1.1. Προσδιορισμός της υγρασίας των νωπών δειγμάτων κεφίρ.....	40
5.1.2. Προσδιορισμός της υγρασίας των δειγμάτων κεφίρ σε μορφή σκόνης ....	41
5.2. Ρεολογικές ιδιότητες των δειγμάτων κεφίρ.....	44
5.2.1. Προσδιορισμός του φαινομενικού ιξώδους και του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς των νωπών δειγμάτων κεφίρ.....	44
5.2.2. Προσδιορισμός του φαινομενικού ιξώδους και του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς των ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ .....	48
5.3. Προσδιορισμός του μεγέθους σωματιδίων των δειγμάτων κεφίρ .....	52
5.3.1. Προσδιορισμός του μεγέθους σωματιδίων των δειγμάτων κεφίρ σε μορφή σκόνης .....	52
5.3.2. Προσδιορισμός μεγέθους σωματιδίων των ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ.....	55
5.4. Σχολιασμός της δομής των δειγμάτων κεφίρ .....	57
5.4.1. Σχολιασμός της δομής των δειγμάτων κεφίρ σε μορφή σκόνης.....	57
5.4.2. Σχολιασμός της δομής των ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ.....	60
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	64
7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ .....	66
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	67
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	86

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<b>Σχήμα 2.1:</b> Κόκκοι κεφίρ.....	5
<b>Σχήμα 2.2:</b> Χημική δομή κεφιράνης .....	12
<b>Σχήμα 2.3:</b> Χημική δομή ινουλίνης.....	15
<b>Σχήμα 2.4:</b> Αραβικό κόμμα στον κορμό δένδρου, από τον οποίο εκκρίθηκε .....	18
<b>Σχήμα 2.5:</b> Χημική δομή αραβικού κόμματος.....	18
<b>Σχήμα 2.6:</b> Σχηματική απεικόνιση των σταδίων που λαμβάνουν χώρα κατά την ξήρανση με εκνέφωση. (1) Εκνέφωση. (2) Επαφή σταγονιδίων- αέρα ξήρανσης. (3) Εξάτμιση υγρασίας- ξήρανση σταγονιδίων. (4a) Πρωτεΐων διαχωρισμός σωματιδίων. (4b) Δευτερέων διαχωρισμός σωματιδίων με τη χρήση αεροκυκλώνα. (Τροποποίηση σχήματος από Santos et al., 2018) .....	21
<b>Σχήμα 2.7:</b> (a) Διάγραμμα φάσεων νερού (Yu et al., 2011). (b) Επεξήγηση των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα κατά τη λυοφιλίωση με τη χρήση ενός διαγράμματος φάσεων νερού (Lopez-Quiroga et al., 2012).....	27
<b>Σχήμα 2.8:</b> Αναπαράσταση του σταδίου της πρωτογενούς ξήρανσης με χρήση φιαλών (Doran, 2013).....	28
<b>Σχήμα 2.9:</b> Συμπεριφορά των ρευστών ανάλογα με το δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς και την ταχύτητα διάτμησης (Steffe, 1996).....	31
<b>Σχήμα 5.1:</b> Επίδραση του είδους του δείγματος στο % ποσοστό της υγρασίας των νωπών δειγμάτων κεφίρ.....	41
<b>Σχήμα 5.2:</b> Επίδραση του είδους του δείγματος και του είδους της ξήρανσης στο % ποσοστό υγρασίας των δειγμάτων σκόνης κεφίρ.....	43
<b>Σχήμα 5.3:</b> Επίδραση του είδους του δείγματος στην τιμή του φαινομενικού ιξώδους, η, των νωπών δειγμάτων κεφίρ.....	46
<b>Σχήμα 5.4:</b> Επίδραση του είδους του δείγματος στην τιμή του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς, n, των νωπών δειγμάτων κεφίρ.....	48
<b>Σχήμα 5.5:</b> Επίδραση του είδους του δείγματος και του είδους της ξήρανσης στο φαινομενικό ιξώδες, η, των ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ.....	50
<b>Σχήμα 5.6:</b> Επίδραση του είδους του δείγματος και του είδους της ξήρανσης στο δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς, n, των ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ.....	52
<b>Σχήμα 5.7:</b> Διάγραμμα κατανομής μεγέθους σωματιδίων των δειγμάτων σκόνης SDA .....	53
<b>Σχήμα 5.8:</b> Διάγραμμα κατανομής μεγέθους σωματιδίων των δειγμάτων σκόνης SDB .....	53
<b>Σχήμα 5.9:</b> Διάγραμμα κατανομής μεγέθους σωματιδίων των δειγμάτων σκόνης CONTROL.....	54
<b>Σχήμα 5.10:</b> Διάγραμμα κατανομής μεγέθους σωματιδίων των δειγμάτων σκόνης KEF .....	54
<b>Σχήμα 5.11:</b> Διάγραμμα κατανομής μεγέθους σωματιδίων ορισμένων ανασυσταμένων δειγμάτων SDB .....	56



<b>Σχήμα 5.12:</b> Διάγραμμα κατανομής μεγέθους σωματιδίων ανασυσταμένων δειγμάτων IN και GA .....	<b>56</b>
<b>Σχήμα 5.13:</b> Δομή των SDA δειγμάτων σκόνης κεφίρ, όπου a) SDA CONTROL, b) SDA GA, c) SDA TR, d) SDA KEF, e) SDA IN, f) SDA FOS. Η αποτύπωση της εικόνας a) έγινε με τη χρήση του οπτικού μικροσκοπίου, ενώ των υπολοίπων εικόνων έγινε με τη βοήθεια του συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης. Σε όλα τα δείγματα χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 50μm.....	<b>58</b>
<b>Σχήμα 5.14:</b> Δομή των SDB δειγμάτων σκόνης κεφίρ με τη χρήση του συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης, όπου a) SDB CONTROL, b) SDB GA, c) SDB TR, d) SDB KEF, e) SDB IN, f) SDB FOS. Σε όλα τα δείγματα χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 50μm, εκτός από την εικόνα a) όπου χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 20μm.....	<b>59</b>
<b>Σχήμα 5.15:</b> Δομή του δείγματος σκόνης FD CONTROL (αριστερά) με τη χρήση του οπτικού μικροσκοπίου και του FD TR (δεξιά) με τη χρήση του συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης, σε κλίμακα 50μm.....	<b>60</b>
<b>Σχήμα 5.16:</b> Δομή των SDA ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ με τη χρήση του συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης, όπου a) SDA CONTROL, b) SDA GA, c) SDA TR, d) SDA KEF, e) SDA IN, f) SDA FOS. Σε όλα τα δείγματα χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 50μm, εκτός από τις εικόνες a) και e), όπου χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 20μm .....	<b>61</b>
<b>Σχήμα 5.17:</b> Δομή των SDB ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ με τη χρήση του συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης, όπου a) SDA CONTROL, b) SDA GA, c) SDA TR, d) SDA KEF, e) SDA IN, f) SDA FOS. Σε όλα τα δείγματα χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 50μm, εκτός από την εικόνα d), όπου χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 20μm.....	<b>62</b>
<b>Σχήμα 5.18:</b> Δομή των FD ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ, όπου a) FD CONTROL, b) FD GA, c) FD TR, d) FD KEF, e) FD IN, f) FD FOS. Η αποτύπωση των εικόνων a), b) και f) έγινε με τη χρήση του οπτικού μικροσκοπίου, ενώ των υπολοίπων δειγμάτων έγινε με τη βοήθεια του συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης. Σε όλα τα δείγματα χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 50μm, εκτός από τις εικόνες b) και f), όπου χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 200μm .....	<b>63</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 5.1:</b> Μέσοι όροι του % ποσοστού υγρασίας των νωπών δειγμάτων κεφίρ .	40
<b>Πίνακας 5.2:</b> Μέσοι όροι του % ποσοστού υγρασίας των δειγμάτων σκόνης. ....	42
<b>Πίνακας 5.3:</b> Μέσοι όροι του φαινομενικού ιξώδους και του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς των νωπών δειγμάτων κεφίρ στα 40s <sup>-1</sup> . ....	44
<b>Πίνακας 5.4:</b> Μέσοι όροι του φαινομενικού ιξώδους και του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς των ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ στα 40s <sup>-1</sup> .....	49

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κεφίρ είναι ένα παραδοσιακό όξινο και ελαφρώς αλκοολούχο γαλακτοκομικό προϊόν με χαρακτηριστικό δριμύ άρωμα, που προκύπτει από τη γαλακτική και αλκοολική ζύμωση του γάλακτος, όταν σε αυτό προστεθεί καλλιέργεια εκκίνησης κεφίρ (είτε με τη μορφή κόκκων είτε με τη μορφή εμπορικής λυοφιλιωμένης/κατεψυγμένης καλλιέργειας) (Prado et al., 2015; Rosa et al., 2017). Η λέξη κεφίρ λέγεται ότι προέρχεται από την τούρκικη λέξη *keyif*, που σημαίνει "όμορφο συναίσθημα", λόγω της συνολικής αίσθησης υγείας και ευεξίας που προσδίδει όταν καταναλώνεται (Lopitz-Otsoa et al., 2006; Wszolek et al., 2007). Οι ευεργετικές ιδιότητες του κεφίρ έχουν αποτελέσει αντικείμενο πολλών ερευνών και μεταξύ άλλων έχουν αποδειχθεί οι αντιυπερτασικές, υποχοληστερολαιμικές, αντιδιαβητικές, αντικαρκινογόνες, αντιφλεγμονώδεις, αντιοξειδωτικές, αντιαλλεργικές, προβιοτικές, αντιμικροβιακές και ανοσορρυθμιστικές του ιδιότητες (Ahmed et al., 2013; Hamida et al., 2021).

Λόγω της μικρής διάρκειας ζωής του κεφίρ και του υψηλού κόστους αποθήκευσης και συσκευασίας, υπάρχει αυξημένη τάση τα τελευταία χρόνια για την παραγωγή κεφίρ σε μορφή σκόνης. Η σκόνη κεφίρ έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, είναι εύχρηστη, έχει χαμηλότερο κόστος συσκευασίας, αποθήκευσης και διανομής, ενώ δεν απαιτείται η διατήρησή της υπό ψύξη. Η παραγωγή σκόνης κεφίρ μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλές μεθόδους, συμπεριλαμβανομένης της ξήρανσης με εκνέφωση και της λυοφιλίωσης.

Η ξήρανση με εκνέφωση είναι η πιο κοινή μέθοδος που χρησιμοποιείται στη γαλακτοβιομηχανία λόγω της δημιουργίας σκόνης με χαμηλά επίπεδα υγρασίας, μικρό μέγεθος σωματιδίων και ικανοποιητικές ιδιότητες ανασύστασης, παράλληλα με το χαμηλό κόστος, το σύντομο χρόνο ξήρανσης και γενικά την αποδοτικότητά της, όσον αφορά την παραγωγή σκόνης σε μεγάλη κλίμακα (Tamime, 2009). Το κύριο μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται, οι οποίες οδηγούν στη μείωση, σε κάποιο βαθμό, της βιωσιμότητας των μικροοργανισμών, με τις θερμοευαίσθητες ζύμες να επηρεάζονται περισσότερο, ενώ

παράλληλα παρατηρείται και μικρή απώλεια του αρώματος και της γεύσης (Abidas et al., 2005; Golowczyc et al., 2010; Atalar & Dervisoglou, 2015).

Αντίθετα, η λυοφιλίωση θεωρείται μία μη θερμική μέθοδος και οι χαμηλές θερμοκρασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, συμβάλουν στη διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των τροφίμων (χρώμα, άρωμα, γεύση, βιολογική και θρεπτική αξία) και των θερμοευαίσθητων ενώσεων που υπάρχουν σε αυτά (Martínez-Navarrete et al., 2019). Γι' αυτό και χρησιμοποιείται ευρέως στην παραγωγή καλλιεργειών εκκίνησης και προβιοτικών μικροοργανισμών εν γένει. Ωστόσο, είναι κοστοβόρα και χρονοβόρα διαδικασία, γεγονός που περιορίζει τη χρήση της στη βιομηχανία τροφίμων.

Οι ευεργετικές ιδιότητες του κεφίρ, σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα χρήσης του κεφίρ σε μορφή σκόνης αλλά και τις ελλειπείς βιβλιογραφικές έρευνες σχετικά με την παραγωγή σκόνης κεφίρ, οδήγησαν στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Στο πλαίσιο αυτής, παράχθηκε κεφίρ σε μορφή σκόνης, με τη μέθοδο της ξήρανσης με εκνέφωση σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες εισόδου (140°C και 180°C) και με τη μέθοδο της λυοφιλίωσης και μελετήθηκε η επίδραση της μεθόδου ξήρανσης και της προσθήκης διαφόρων ουσιών (με πιθανή θερμοπροστατευτική δράση), σε συγκεκριμένες ιδιότητες της σκόνης αλλά και των ανασυσταμένων δειγμάτων.

## 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

### 2.1 Κεφίρ

#### 2.1.1. Γενικά

Η ζύμωση τροφίμων, όπως το γάλα, αποτέλεσε μια ευρέως διαδεδομένη μέθοδο συντήρησης πριν αναπτυχθούν και χρησιμοποιηθούν η ψύξη ή άλλες μέθοδοι συντήρησης, όπως η κονσερβοποίηση και η παστερίωση, για την παράταση της διάρκειας ζωής των τροφίμων. Σύμφωνα με την προφορική παράδοση, η ζύμωση του γάλακτος σε ασκούς δέρματος ως τρόπος συντήρησης του γάλακτος, οδήγησε στην παραγωγή των πρώτων κόκκων κεφίρ και έτσι ξεκίνησε η μακρά παράδοση παραγωγής του (Farnworth, 2003).

Το κεφίρ είναι ένα παραδοσιακό ζυμωμένο γαλακτοκομικό προϊόν που προέρχεται από τον Καύκασο, τα βουνά της Μογγολίας και την Ανατολική Ευρώπη (Rosa et al., 2017). Παράγεται με την προσθήκη καλλιέργειας εκκίνησης είτε με τη μορφή κόκκων κεφίρ (παραδοσιακός τρόπος) είτε με τη μορφή λυοφιλωμένων/κατεψυγμένων καλλιεργειών εκκίνησης (βιομηχανικός τρόπος) στο γάλα. Η γαλακτική και αλκοολική ζύμωση του γάλακτος από τη μικροχλωρίδα της καλλιέργειας εκκίνησης, καθώς και ο σχηματισμός του πολυσακχαρίτη κεφιράνης οδηγούν στη δημιουργία ενός όξινου, ελαφρώς αλκοολούχου και αφρώδους ποτού, με κρεμώδη υφή και χαρακτηριστικό δριμύ άρωμα (Prado et al., 2015). Το κεφίρ διαφέρει από άλλα ζυμωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα ως προς τον τρόπο παραγωγής του, επειδή οι κόκκοι κεφίρ μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για να παράγουν νέες παρτίδες κεφίρ, αυξάνοντας τη βιομάζα τους με την πάροδο του χρόνου (Simona et al., 2002; Guzel-Seydim et al., 2011).

Αν και το αγελαδινό γάλα είναι το πιο κοινώς χρησιμοποιούμενο, το κεφίρ μπορεί να παρασκευαστεί από οποιοδήποτε είδος γάλακτος, όπως κατσικίσιο, πρόβειο, βουβαλινό, καμήλας (Otles & Cagindi, 2003). Μπορεί να είναι παστεριωμένο ή μη, πλήρες, χαμηλών λιπαρών ή και αποβουτυρωμένο. Επίσης, είναι εφικτή η παραγωγή κεφίρ με τη χρήση γάλακτος φυτικής προέλευσης, όπως το γάλα καρύδας, γάλα σόγιας, γάλα ρυζιού κλπ, ακόμα και με τη χρήση νερού, στο οποίο όμως έχουν προστεθεί

σάκχαρα, ώστε να μπορέσει να πραγματοποιηθεί η ζύμωση και να αναπτυχθούν οι μικροοργανισμοί (Guzel-Seydim et al., 2021).

Το κεφίρ καταναλώνεται για αιώνες, ωστόσο τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να γίνεται δημοφιλές σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένων των δυτικών χωρών (Leite et al., 2012). Ειδικότερα μετά την έναρξη της πανδημίας COVID-19, οι καταναλωτές έκαναν στροφή προς λειτουργικά τρόφιμα με ευεργετικές προς την υγεία τους ιδιότητες, όπως το κεφίρ (Guzel-Seydim et al., 2021; Hamida et al., 2021). Το κεφίρ έχει συσχετιστεί με πολλαπλά οφέλη για την υγεία, τα οποία οφείλονται μεταξύ άλλων στις αντιυπερτασικές, υποχοληστερολαιμικές, αντιδιαβητικές, αντικαρκινογόνες, αντιφλεγμονώδεις, αντιοξειδωτικές, αντιαλλεργικές, προβιοτικές, αντιμικροβιακές και ανοσορρυθμιστικές του ιδιότητες (Ahmed et al., 2013; Hamida et al., 2021). Οι ιδιότητες αυτές αποδίδονται στην ιδιαίτερη μικροχλωρίδα του κεφίρ αλλά και στην ποικιλία των βιοδραστικών ενώσεων που παράγονται κατά τη διάρκεια της ζύμωσης και συμπεριλαμβάνουν οργανικά οξέα, βιοενεργά πεπτίδια, βακτηριοσίνες, πολυφαινόλες και εξωπολυσακχαρίτες (κεφιράνη) (Rosa et al., 2017).

## **2.1.2. Καλλιέργεια κεφίρ**

### **2.1.2.1. Κόκκοι κεφίρ**

Οι κόκκοι κεφίρ, οι οποίοι αποτελούν την καλλιέργεια εκκίνησης του κεφίρ, είναι ελαστικοί, έχουν λευκό έως υποκίτρινο χρώμα, ακανόνιστο σχήμα που προσομοιάζει άνθος (κεφαλή) από κουνουπίδι, ενώ το μέγεθός τους ποικίλει από 0,1-3cm (Σχήμα 2.1). Αποτελούνται από πολλά διαφορετικά βακτήρια και ζυμομύκητες, τα οποία εμφανίζουν συμβιωτική σχέση μεταξύ τους και είναι ενσωματωμένα σε ένα σύνθετο πλέγμα πρωτεϊνών και πολυσακχαριτών (κεφιράνης) (Rea et al., 1996; Farnworth, 2003; Magalhães et al., 2011). Κατά μέσο όρο, οι κόκκοι αποτελούνται από 86% νερό και 14% ξηρή ουσία. Η ξηρή ουσία περιλαμβάνει περίπου 58% πολυσακχαρίτες, 30% πρωτεΐνες, 7% λίπος και 5% τέφρα, ωστόσο, τα ποσοστά μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την προέλευση των κόκκων (Guzel-Seydim et al., 2021).



Σχήμα 2.1: Κόκκοι κεφίρ.

Κατά τη διάρκεια της επώασης οι κόκκοι πολλαπλασιάζονται (αυξάνονται σε μέγεθος και στη συνέχεια διαιρούνται προς δημιουργία μικρότερων κόκκων, με ιδιότητες ίδιες με αυτές των αρχικών) και μέχρι το τέλος της επώασης η βιομάζα τους αυξάνεται περίπου κατά 5-7%, ανάλογα με τις συνθήκες επώασης. Μετά το πέρας της επώασης, οι κόκκοι μπορούν να συλλεχθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν για την παρασκευή νέας παρτίδας κεφίρ (de Oliveira Leite et al., 2013). Υπό κατάλληλες συνθήκες συντήρησης και επώασης, οι κόκκοι μπορούν να παραμείνουν ενεργοί για πολλά χρόνια (Simova et al., 2002; Lopitz-Otsoa et al., 2006; Rattray & O'Connell, 2011; Gao & Li, 2016), ωστόσο μπορούν να αναπτυχθούν μόνο από προϋπάρχοντες κόκκους (Schoevers & Britz, 2003). Παρά τις εντατικές έρευνες και τις πολλές προσπάθειες παραγωγής κόκκων κεφίρ από καθαρές ή μικτές καλλιέργειες στελεχών που υπάρχουν υπό φυσιολογικές συνθήκες στους κόκκους, δεν έχει αναφερθεί καμία επιτυχία μέχρι σήμερα (Liu & Moon, 1983; Libudzisz & Piatkiewicz, 1990). Αυτό μπορεί πιθανώς να αποδοθεί στο γεγονός ότι πολύ λίγα είναι γνωστά για το μηχανισμό σχηματισμού κόκκων.

#### 2.1.2.2. Μικροχλωρίδα κόκκων κεφίρ

Η μικροχλωρίδα των κόκκων αποτελείται από ομοζυμωτικά και ετεροζυμωτικά βακτήρια γαλακτικού οξέος ( $10^8$  CFU/g), βακτήρια οξικού οξέος ( $10^5$  CFU/g), ζύμες που ζυμώνουν και ζύμες που δεν ζυμώνουν τη λακτόζη ( $10^6$ – $10^7$  CFU/g) και ποικίλει ανάλογα με την προέλευση των κόκκων αλλά και τις συνθήκες ανάπτυξης και συντήρησής τους (Prado et al., 2001; Garrote et al., 2010; Kotova et al., 2016). Η ανάπτυξη, ο μεταβολισμός και η βιοχημική δραστηριότητα των μικροοργανισμών είναι

άμεσα εξαρτώμενη από την παρουσία των υπόλοιπων μικροοργανισμών. Η συμβιωτική αυτή σχέση των μικροοργανισμών είναι υπεύθυνη για τη διατήρηση της ομοιομορφίας της μικροχλωρίδας, με μικρές αποκλίσεις, σε βάθος χρόνου και την προστασία της έναντι επιμόλυνσης από παθογόνους μικροοργανισμούς. Σύμφωνα με τον Farnworth (2003), η ανάπτυξη πολλών βακτηρίων που βρίσκονται στους κόκκους κεφίρ βελτιώνεται όταν προστίθενται ζυμομύκητες στο μέσο ανάπτυξης, ενώ όταν απομακρύνονται τα βακτήρια από τους κόκκους, οι ζύμες δεν αναπτύσσονται στον ίδιο βαθμό (Cheirsilp et al., 2003; Farnworth, 2003; Rattray & O'Connell, 2011), υποδεικνύοντας ότι και τα δύο είδη μικροοργανισμών είναι απαραίτητα για τη διατήρηση της ακεραιότητας και της βιωσιμότητας του πληθυσμού της μικροχλωρίδας. Οι βιταμίνες, τα αμινοξέα και άλλοι απαραίτητοι παράγοντες για την ανάπτυξη των βακτηρίων παράγονται από ζυμομύκητες, ενώ τα βακτηριακά μεταβολικά προϊόντα, όπως η γλυκόζη, η γαλακτόζη και το γαλακτικό οξύ, χρησιμοποιούνται ως πηγές ενέργειας από τις ζύμες. Επίσης, η συμβιωτική αυτή σχέση καθιστά δύσκολη την απομόνωσή των επιμέρους μικροοργανισμών, καθώς όταν εμβολιαστούν ως μεμονωμένες καλλιέργειες, είτε δεν αναπτύσσονται είτε παρουσιάζουν μειωμένη βιοχημική δραστηριότητα (Koroleva, 1991).

Η κατανομή των μικροοργανισμών στους κόκκους κεφίρ έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές και τα αποτελέσματα είναι αμφιλεγόμενα, κυρίως όσον αφορά την παρουσία των ζυμών. Μια ομάδα ερευνητών υποστηρίζει ότι οι ζύμες βρίσκονται ως επί το πλείστον στα εσωτερικά και ενδιάμεσα στρώματα των κόκκων, με τα ραβδόμορφα βακτήρια και τους λακτόκοκκους να κυριαρχούν στην επιφάνεια (Bottazzi & Bianchi, 1980; Toba et al., 1990; Lin et al., 1999; Wang et al., 2012). Αντίθετα, οι Guzel-Seydim et al. (2005) αναφέρονται σε πλήρη απουσία ζυμών στο εσωτερικό των κόκκων και οι de Oliveira Leite et al. (2013) σε μειωμένη παρουσία των ζυμών σε σχέση με την εξωτερική επιφάνεια, με τα ραβδόμορφα βακτήρια να βρίσκονται τόσο στα εσωτερικά όσο και στα εξωτερικά στρώματα και στις 2 έρευνες. Ενώ, οι Zhou et al. (2009) και οι Fan et al. (2022) υποστηρίζουν ότι οι ζύμες κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλα τα στρώματα των κόκκων. Σύμφωνα με τους Stepaniak & Fetlinski (2002) και τους Otles & Cagindi (2003) ο *L. kefirifaciens*, ο κύριος μικροοργανισμός που είναι υπεύθυνος για την παραγωγή κεφίρανης, βρίσκεται κατανεμημένος σε όλη τη μάζα των κόκκων αλλά κυρίως στο κέντρο τους. Μερικοί συγγραφείς αναφέρουν, επίσης, ότι παρατηρήθηκε μικρότερος αριθμός κυττάρων στο

εσωτερικό τμήμα των κόκκων σε σύγκριση με το εξωτερικό (Zhou et al., 2009; Magalhães et al., 2011; Wang et al., 2012).

Το μικροβιακό προφίλ των κόκκων και του λαμβανόμενου κεφίρ διαφέρει σε μεγάλο βαθμό και αυτή η διαφορά σχετίζεται με τις συνθήκες ζύμωσης, όπως η θερμοκρασία, ο χρόνος ζύμωσης, ο βαθμός ανάδευσης, ο τύπος γάλακτος, η αναλογία κόκκων/γάλακτος κατά τον εμβολιασμό και η πολύπλοκη μικροβιακή σύνθεση των κόκκων, μεταξύ άλλων (Simona et al., 2002; Wszolek et al., 2007; Rattray & O'Connell, 2011). Ενδεικτικά, σύμφωνα με τους Rattray & O'Connell (2022), οι κόκκοι κεφίρ αποτελούνται σε ποσοστό 65-80% από λακτοβάκιλλους, 5-25% από λακτόκοκκους και είδη *Leuconostoc* και 10-15% ζύμες, ενώ στο ρόφημα κεφίρ οι βακτηριακοί πληθυσμοί μεταβάλλονται σε 80% λακτόκοκκους και είδη *Leuconostoc* και 5-10% λακτοβάκιλλους, με τις ζύμες να παραμένουν στο ίδιο ποσοστό. Τα αποτελέσματα διαφόρων ερευνητών στη βιβλιογραφία ποικίλουν.

Πιο συγκεκριμένα, οι 3 κύριες κατηγορίες μικροοργανισμών που αναφέρθηκαν παραπάνω και συναντώνται στους κόκκους κεφίρ είναι οι εξής:

Βακτήρια γαλακτικού οξέος: Τα οξυγαλακτικά βακτήρια μπορεί να είναι είτε ομοζυμωτικά είτε ετεροζυμωτικά. Η πρώτη κατηγορία είναι η κυρίαρχη και είναι υπεύθυνη για τη μετατροπή της λακτόζης σε γαλακτικό οξύ, μειώνοντας το pH και συμβάλλοντας στη δημιουργία του αρώματος και της γεύσης του κεφίρ. Η μικροβιακή σύνθεση των κόκκων κεφίρ αποτελείται σε ποσοστό 65-90% από βακτήρια της οικογένειας *Lactobacillaceae*, με είδη των γενών *Lactococcus* και *Streptococcus* να είναι, επίσης, παρόντα (Bourrie et al., 2016; Bengoa et al., 2019). Τα κυρίαρχα είδη βακτηρίων, με την επικαιροποιημένη ονοματολογία, που βρέθηκαν σε κόκκους προερχόμενους από διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές (Ιταλία, Γερμανία, Κορέα, Τουρκία, Ηνωμένο Βασίλειο, Βραζιλία, Αργεντινή, Βέλγιο και άλλες χώρες) περιλαμβάνουν τα είδη *Lacticaseibacillus paracasei*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus*, *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lactobacillus helveticus*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactococcus lactis*, *Lentilactobacillus kefir*, *Lentilactobacillus parakefiri* και *Lactobacillus kefiranofaciens* (Nalbantoglu et al., 2014; Bengoa et al., 2019).



Βακτήρια οξικού οξέος: Στους κόκκους κεφίρ έχουν ταυτοποιηθεί τα βακτήρια *Acetobacter aceti* και *A. rasens* (Prado et al., 2015), *Acetobacter fabarum* και *Acetobacter pasteurianus* (Fan et al., 2022) και *Acetobacter ghanensis* (Zeng et al., 2022), τα οποία μετατρέπουν την παραγόμενη αιθανόλη σε οξικό οξύ (οξική ζύμωση). Παρότι τα βακτήρια οξικού οξέος διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο τόσο στη μικροβιακή συνύπαρξη, όσο και στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του κεφίρ, δεν έχουν ερευνηθεί διεξοδικά. Σε κάποιες χώρες η ύπαρξή τους θεωρείται ακόμα και ανεπιθύμητη (Farnworth, 2003; Wszolek et al., 2007; Rattray & O'Connel, 2011).

Ζύμες: Το κεφίρ, σε αντίθεση με άλλα ζυμωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα, περιέχει ζύμες και μάλιστα σε αξιόλογη συγκέντρωση. Οι ζύμες που υπάρχουν στους κόκκους κεφίρ μπορούν είτε να ζυμώνουν τη λακτόζη είτε όχι, και αποτελούνται από συνολικά 4-30 είδη. Οι πιο συχνά αναφερόμενες είναι οι *Kluyveromyces marxianus*, *Candida kefir*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces unisporus*, *Torulospira delbrueckii* και *Pichia ferment*, με τις 4 πρώτες να είναι οι επικρατέστερες (Fan et al., 2022). Οι ζύμες έχουν μελετηθεί λιγότερο διεξοδικά σε σχέση με τα βακτήρια του κεφίρ, αν και είναι αποδεδειγμένα υπεύθυνες για τη δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για την ανάπτυξη των βακτηρίων, καθώς και για την παραγωγή μεταβολιτών, υπεύθυνους για το άρωμα και τα άλλα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του κεφίρ, όπως αιθανόλη, διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), βιταμίνες του συμπλέγματος Β, αμινοξέα, πεπτίδια (Farnworth, 2005; Lopitz-Otsoa et al., 2006; Wszolek et al., 2007). Είδη όπως οι *Debaryomyces hansenii* και *Yarrowia lipolytica* μεταβολίζουν το γαλακτικό οξύ, το οποίο παράγεται από τα οξυγαλακτικά βακτήρια, αυξάνοντας το pH και ευνοώντας έτσι την ανάπτυξη των βακτηρίων. Επίσης, η συνύπαρξη ζυμών (*S. cerevisiae*) και λακτοβάκιλλων οδηγεί σε αυξημένη παραγωγή κεφιράνης (Cheirsilp et al., 2003, 2011).

### **2.1.3. Τεχνολογία παρασκευής κεφίρ**

Η παραγωγή του κεφίρ μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με τον παραδοσιακό είτε με τον βιομηχανικό τρόπο. Η κύρια διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι στον παραδοσιακό τρόπο χρησιμοποιούνται κόκκοι κεφίρ και απαιτείται ένα επιπλέον στάδιο, αυτό της ανάκτησής τους, ενώ η βιομηχανική μέθοδος χρησιμοποιεί εμπορικές λυοφιλιωμένες ή κατεψυγμένες καλλιέργειες, οι οποίες δεν απαιτούν ανάκτηση.

### **2.1.3.1. Παραδοσιακή διαδικασία παραγωγής κεφίρ**

Πιο συγκεκριμένα, κατά τον παραδοσιακό τρόπο οι κόκκοι κεφίρ προστίθενται σε θερμικά επεξεργασμένο γάλα (95°C για 15min), αφότου αυτό κρυώσει στη θερμοκρασία ζύμωσης. Σύμφωνα με την Koroleva (1991), η βέλτιστη αναλογία κόκκων/γάλακτος είναι 1:30-1:50 (βάρος κατ' όγκο). Ωστόσο, οι αναλογίες για την οικιακή παραγωγή είναι εμπειρικές και μπορεί να διαφέρουν. Μετά την προσθήκη των κόκκων στο γάλα, η ζύμωση πραγματοποιείται σε μερικώς κλειστό περιέκτη σε θερμοκρασίες μεταξύ 8-25°C για 10-40h (οι πιο συνήθεις συνθήκες ζύμωσης είναι για 18-24h στους 20-25°C), μέχρι το pH να πέσει στο 4,2-4,6 (Farnworth, 2005; Rosa et al., 2017; Pothuraju et al., 2018; Alves et al., 2021). Η συχνή ανακίνηση του περιέκτη λόγω της μη ομοιόμοφης κατανομής των κόκκων στο γάλα, συμβάλλει στη βελτίωση της ανάπτυξης των μικροοργανισμών και γενικότερα στην επίτευξη πιο ομαλής πορείας της ζύμωσης. Μετά το τέλος της ζύμωσης, οι κόκκοι απομακρύνονται με τη βοήθεια αποστειρωμένου ηθμού, ξεπλένονται με κρύο νερό, το οποίο έχει αποστειρωθεί και κατόπιν είτε χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της επόμενης παρτίδας κεφίρ είτε αποθηκεύονται (στο ψυγείο σε δοχείο με γάλα για 1-7 ημέρες ή στην κατάψυξη) για μελλοντική χρήση (de Oliveira Leite, 2013). Μετά την απομάκρυνση των κόκκων, το κεφίρ είναι έτοιμο για κατανάλωση.

### **2.1.3.2. Βιομηχανική διαδικασία παραγωγής κεφίρ**

Η ποικιλομορφία της μικροχλωρίδας των κόκκων κεφίρ και οι διακυμάνσεις της μετά από κάθε ανάκτηση, οδηγούν κατ' επέκταση και σε διακυμάνσεις των οργανοληπτικών, φυσικοχημικών και ρεολογικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος, γεγονός ανεπιθύμητο όταν η παραγωγή κεφίρ γίνεται σε βιομηχανική κλίμακα (Farnworth, 2005; Arslan, 2015; Nejati et al., 2020). Αυτή η αδυναμία παραγωγής κεφίρ σταθερής ποιότητας αντιμετωπίστηκε με τη χρήση λυοφιλωμένων ή κατεψυγμένων καλλιεργειών εκκίνησης καθορισμένης σύστασης σε μικροοργανισμούς. Η χρήση εμπορικών καλλιεργειών εκκίνησης σε συνδυασμό με τις αυτοματοποιημένες συνθήκες παραγωγής που εφαρμόζονται στη βιομηχανία, οδήγησαν σε τυποποίηση της παραγωγικής διαδικασίας του κεφίρ (de Oliveira Leite et al., 2013; Prado et al., 2015). Η εφάπαξ προσθήκη της εμπορικής καλλιέργειας, χωρίς την απαίτηση ανάκτησής της, όπως στην περίπτωση των κόκκων, διευκολύνει την

παραγωγική διαδικασία αλλά κυρίως οδηγεί σε μειωμένες πιθανότητες επιμόλυνσης και άρα σε αύξηση της διάρκειας ζωής του τελικού προϊόντος. Οι εμπορικές καλλιέργειες αποτελούνται από μία μίξη μικροοργανισμών που έχουν απομονωθεί από το κεφίρ ή τους κόκκους κεφίρ. Σε αντίθεση με τους κόκκους, είναι εφικτή η δυνατότητα επιλογής συγκεκριμένων ειδών και στελεχών έναντι άλλων ανεπιθύμητων (όπως ορισμένα είδη ζυμών και ετεροζυμωτικών οξυγαλακτικών βακτηρίων που μπορεί να παράγουν ανεπιθύμητα υψηλή συγκέντρωση αιθανόλης και διοξειδίου του άνθρακα), επιτρέποντας έτσι τη διαμόρφωση των χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος (για παράδειγμα πιο ήπιο άρωμα και γεύση). Μάλιστα, πολύ συχνή είναι πλέον και η προσθήκη στελεχών από *Bifidobacteria*, τα οποία δεν υπάρχουν στους κόκκους κεφίρ, βελτιώνοντας έτσι τις προβιοτικές ιδιότητες του ροφήματος (Altay et al., 2013; Chr. Hansen website).

Σύμφωνα με τους Yilmaz et al. (2022), τα στάδια παραγωγής κεφίρ σε βιομηχανική κλίμακα περιλαμβάνουν την τυποποίηση του νωπού γάλακτος, ομογενοποίηση, θερμική επεξεργασία στους 95°C για 15min, ψύξη του γάλακτος στους 20-25°C, εμβολιασμό με εμπορική καλλιέργεια εκκίνησης (2-8%), ζύμωση για 18-24h, σπάσιμο του πήγματος υπό ψύξη, εμφιάλωση και αποθήκευση στους 4°C. Ωστόσο, το ποσοστό προσθήκης της καλλιέργειας εκκίνησης, η θερμοκρασία και ο χρόνος ποικίλουν και καθορίζονται από τον κατασκευαστή της καλλιέργειας.

#### **2.1.4. Χημική σύσταση και διατροφική αξία κεφίρ**

Η χημική σύσταση του κεφίρ εξαρτάται από το είδος του γάλακτος, τις συνθήκες ζύμωσης και αποθήκευσης και τη μικροχλωρίδα της καλλιέργειας εκκίνησης (Satir & Guzel-Seydim, 2016). Ενδεικτικά, η χημική σύσταση κεφίρ που παρήχθη από αγελαδινό γάλα με την προσθήκη κόκκων κεφίρ είναι 90% υγρασία, 6% υδατάνθρακες, 3,5% λιπαρά και 0,7% τέφρα (Sarkar, 2008). Η θρεπτική αξία του κεφίρ είναι αποτέλεσμα της χημικής του σύστασης σε μέταλλα, βιταμίνες, πεπτίδια, αμινοξέα και λιπαρά οξέα, καθώς και σε δευτερογενείς μεταβολίτες.

Το κεφίρ είναι πλούσιο σε απαραίτητα αμινοξέα και το προφίλ των αμινοξέων αυτών είναι παρόμοιο με το προφίλ των αμινοξέων του γάλακτος που χρησιμοποιήθηκε ως υπόστρωμα ζύμωσης. Τα επίπεδα της σερίνης, λυσίνης, αλανίνης, θρεονίνης,

τρυπτοφάνης, βαλίνης, μεθειονίνης, φαινυλαλανίνης και ισολευκίνης είναι υψηλότερα στο κεφίρ σε σύγκριση με το γάλα (Rosa et al., 2017).

Το κεφίρ είναι πλούσιο στις βιταμίνες A, K, B1, B2, B5, B9, C, καθώς και σε καροτένια. Είναι, επίσης, καλή πηγή ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου, νατρίου και φωσφόρου, ενώ σε χαμηλές συγκεντρώσεις βρίσκονται και σίδηρος, ψευδάργυρος, χαλκός, τα οποία είναι απαραίτητα για τον κυτταρικό μεταβολισμό και την αιμοποίηση (Grohmann & Bronte, 2010; Nogay, 2019; Farag et al., 2020).

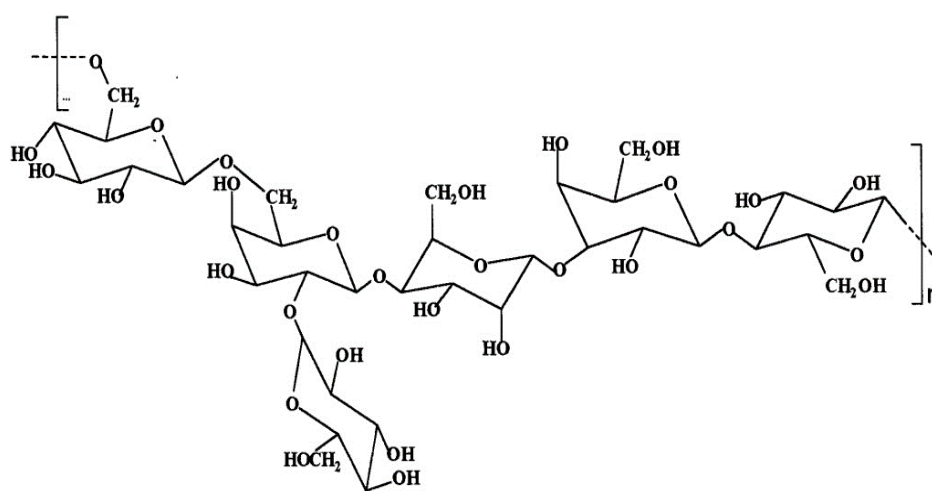
Περίπου το 30% της λακτόζη του γάλακτος μεταβολίζεται κατά τη διάρκεια της ζύμωσης κυρίως σε γαλακτικό οξύ (λόγω της δράσης των ομοζυμωτικών οξυγαλακτικών βακτηρίων) αλλά και σε αιθανόλη και CO<sub>2</sub> (λόγω της δράσης των ετεροζυμωτικών οξυγαλακτικών βακτηρίων και των ζυμών). Εκτός από το γαλακτικό οξύ, το CO<sub>2</sub> και την αιθανόλη, τα οποία είναι τα κύρια προϊόντα που παράγονται κατά τη διαδικασία της γαλακτικής και αλκοολικής ζύμωσης, στο κεφίρ περιέχονται, επίσης, μυρμηκικό, προπιονικό και ηλεκτρικό οξύ, αλδεϋδες και ίχνη ακετόνης, ακετοΐνης και ισοαμυλικής αλκοόλης (Güven et al., 2003). Βιογενείς αμίνες όπως η πουτρεσκίνη, η кадаβερίνη, η σπερμιδίνη και η τυραμίνη βρίσκονται, επίσης, σε δείγματα κεφίρ, ως συνέπεια της δραστηριότητας των οξυγαλακτικών βακτηρίων (Altay et al., 2013). Υψηλά επίπεδα βιογενών αμινών σχετίζονται με την υποβάθμιση των οργανοληπτικών ιδιοτήτων των ζυμωμένων γαλακτοκομικών προϊόντων (δημιουργία ανεπιθύμητης πικρής γεύσης) και θεωρούνται σημαντικός δείκτης ποιότητας και αποδοχής (Takahashi & Kohno, 2016).

Τέλος, ενώσεις που παράγονται κατά τη ζύμωση σε μικρές συγκεντρώσεις αλλά συμβάλλουν στο άρωμα και τη γεύση του κεφίρ, είναι το οξικό οξύ, το πυροσταφυλικό οξύ, το ιππουρικό οξύ, το προπιονικό οξύ, το βουτυρικό οξύ, το διακετύλιο και η ακεταλδεϋδη (Zourari et al., 1988; Guzel-Seydim et al., 2000; Beshkova et al., 2002).

## **2.2. Κεφιράνη**

Η κεφιράνη είναι ένας υδατοδιαλυτός εξωκυτταρικός πολυσακχαρίτης (EPS) που βρίσκεται στο κεφίρ και στους κόκκους κεφίρ. Παράγεται από τα οξυγαλακτικά βακτήρια που υπάρχουν στους κόκκους του κεφίρ, αλλά κυρίως από τον *Lactobacillus*

*kefiranofaciens* και αποτελεί περίπου το 50% της μάζας επί ξηρού των κόκκων κεφίρ. (Abraham & De Antoni, 1999). Θεωρείται ένας διακλαδισμένος ετεροπολυσακχαρίτης (γλυκογαλακτάνη) με περίπου ίσες μονάδες D-γλυκόζης και D-γαλακτόζης και αποτελείται από επαναλαμβανόμενες μονάδες έξα- ή επτασακχαριτών, κάθε μία από τις οποίες αποτελείται από έναν πεντασακχαρίτη στον οποίο συνδέονται τυχαία μία ή δύο μονάδες σακχάρων, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.2 (Micheli et al., 1999). Η κεφίρανη μπορεί να ληφθεί με εκχύλιση από κόκκους κεφίρ που καλλιεργούνται στο γάλα. Ωστόσο, η διαδικασία εκχύλισης σε βιομηχανική κλίμακα είναι δύσκολη και χαμηλής απόδοσης (Moradi & Kalanpour, 2019).



Σχήμα 2.2: Χημική δομή κεφίρανης.

Έχει βρεθεί ότι εμφανίζει αντικαρκινικές (Elsayed et al., 2017; Sharifi et al., 2017), αντιοξειδωτικές (Chen et al., 2015), αντιφλεγμονώδεις (Furuno & Nakanishi, 2012), αντιβακτηριδιακές (Blandón et al., 2016), αντιμυκητιακές (Cevikbas et al., 1994) και επουλωτικές ιδιότητες (Rodrigues et al., 2005) και έχει χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση σωρείας μολύνσεων (Dailin et al., 2016). Έχει πιθανή δράση ως anti-stress συστατικό τροφίμων, καθώς δρα προστατευτικά ενάντια στο στρες, ενεργοποιώντας το ανοσοποιητικό σύστημα και αναστέλλοντας τη μείωση της ιντερφερόνης β που προκαλείται λόγω της δράσης των ορμονών του στρες, νοραδρεναλίνης και κορτιζόλης (Kabayama et al., 1997). Ενώ, η δράση της ως πρεβιοτικό μπορεί να έχει ευεργετικές συνέπειες στον οργανισμό, μέσω αύξησης των προβιοτικών μικροοργανισμών bifidobacteria στο έντερο (Hongpattarakere et al., 2012; Hamet et al., 2016)

Τα τελευταία χρόνια λόγω των ελκυστικών χαρακτηριστικών της, έχει αναφερθεί η χρήση της σε μία μεγάλη ποικιλία εφαρμογών σε διαφορετικούς τομείς. Στη βιομηχανία τροφίμων οι κύριες εφαρμογές της είναι οι εξής:

### Τροποποιητής υφής

Η κεφίρανη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τροποποιητής υφής αυξάνοντας το ιξώδες και βελτιώνοντας τη συνεκτικότητα και τη σταθερότητα του τροφίμου στο οποίο προστίθεται.

Σύμφωνα με τους Dimitreli et al. (2016) η κεφίρανη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τροποποιητής υφής καθώς αυξάνει τον ελαστικό χαρακτήρα, το φαινομενικό ιξώδες και τη θιξοτροπική συμπεριφορά σε πηκτές γάλακτος που παρασκευάστηκαν με τη χρήση γλυκονο-δ-λακτόνης (GDL). Στα ίδια αποτελέσματα είχαν καταλήξει και οι Rimada & Abraham το 2006.

Οι Piermaria et al. (2008) αναφέρουν ότι σε συγκέντρωση κάτω από 1% τα διαλύματα κεφίρανης εμφανίζουν Νευτώνια συμπεριφορά, ενώ σε υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζουν ψευδοπλαστικό χαρακτήρα. Επίσης, με αύξηση της συγκέντρωσης της κεφίρανης, αυξάνεται το φαινομενικό ιξώδες, για ίδιο ρυθμό διάτμησης.

### Σχηματισμός μεμβρανών

Το ενδιαφέρον των ερευνητών και των βιομηχανιών συσκευασίας τροφίμων έχει στραφεί τα τελευταία χρόνια στην κεφίρανη, καθώς έχει την ικανότητα σχηματισμού εδώδιμων, βιοδιασπώμενων και φιλικών προς το περιβάλλον μεμβρανών (φιλμ).

Ωστόσο, οι μεμβράνες που παρασκευάζονται από σκέτη κεφίρανη έχουν αποδειχτεί άκαμπτες και εύθραυστες με υψηλή διαπερατότητα υδρατμών (Primaria et al., 2008). Ως εκ τούτου, πολλές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί τα τελευταία χρόνια στις οποίες γίνεται προσθήκη διαφόρων πλαστικοποιητών με σκοπό τη βελτίωση των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των μεμβρανών αλλά και τη μείωση της

διαπερατότητας υδρατμών μέσω των μεμβρανών. Ενδεικτικά, πλαστικοποιητές που έχουν χρησιμοποιηθεί μαζί με την κεφιράνη είναι η γλυκερόλη και η σορβιτόλη (Ghasemlou et al., 2011), το ελαϊκό οξύ (Ghasemlou et al. 2011a), υδατοδιαλυτή πολυουρεθάνη (Rad et al., 2017), άμυλο αραβοσίτου (Motedayen et al., 2013), μίγμα πολυολών (σορβιτόλης και γλυκερόλης) και σακχάρων (γαλακτόζη, γλυκόζη και σουκρόζη) (Piermaria et al., 2011), πρωτεΐνες ορού (Gagliarini et al., 2019). Ενδιαφέρον παρουσιάζει η πρόσφατη μελέτη των Exarhoroulos et al. (2022) στην οποία παρασκευάστηκαν φιλμ κεφιράνης με γλυκερόλη και σορβιτόλη, κατόπιν δημιουργίας κρυσπηκτής.

### Σχηματισμός κρυσπηκτών

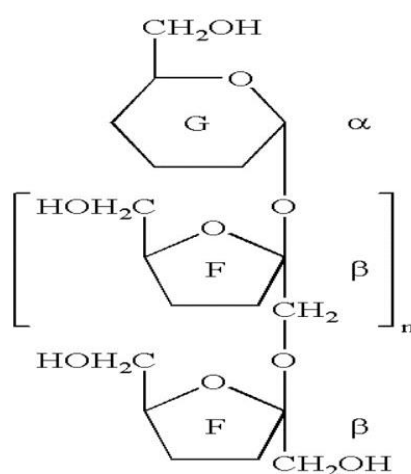
Ενδιαφέρον προκαλεί η ικανότητα της κεφιράνης να σχηματίζει κρυσπηκτές. Ο σχηματισμός τους είναι αποτέλεσμα ενδομοριακών αλληλεπιδράσεων μεταξύ αλυσίδων πολυμερών κατά την κατάψυξη υδατικών διαλυμάτων τους, ως αποτέλεσμα της αύξησης της συγκέντρωσης τους τοπικά, εξαιτίας του σχηματισμού κρυστάλλων πάγου (Εξαρχόπουλος, 2018).

Οι Piermaria et al. (2008) μελέτησαν τη ρεολογική συμπεριφορά των κρυσπηκτών που σχηματίζονται από κεφιράνη και αξιολόγησαν τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Οι κρυσπηκτές υποστήριζαν τη μάζα τους, ήταν διαφανείς και συνεκτικές. Εμφάνισαν τρισδιάστατη δομή σαν σφουγγάρι, αποδεικνύοντας την ικανότητά τους να συγκρατούν μεγάλη ποσότητα νερού. Το γεγονός ότι η κρυσπηκτική λιώνει στο στόμα στους 37°C την καθιστά κατάλληλη για διάφορες εφαρμογές στα τρόφιμα (Piermaria et al., 2008).

Επίσης, σύμφωνα με τους Exarhoroulos et al. (2018) η συνεκτικότητα των κρυσπηκτών είναι σε άμεση συνάρτηση με τη συγκέντρωση της κεφιράνης, ενώ το πλέγμα της κρυσπηκτής σχηματίζεται κυρίως μέσω δεσμών υδρογόνου. Η εφαρμογή δύο διαδοχικών κύκλων ψύξης-απόψυξης έδειξε ότι η υφή των συστημάτων παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητη, καθιστώντας την κεφιράνη ως ιδανικό σταθεροποιητή για χρήση σε εφαρμογές κατεψυγμένων επιδορπίων, όπως το παγωτό.

### 2.3. Ινουλίνη

Η ινουλίνη είναι μια πολυφρουκτάνη, η οποία αποτελείται από 2-60 μονομερή φρουκτόζης, συνδεδεμένα με  $\beta(2\rightarrow1)$  γλυκοσιδικούς δεσμούς και ένα τερματικό μονομερές γλυκόζης, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.3 (Ronkart et al., 2006). Ο βαθμός πολυμερισμού της εξαρτάται από την πηγή προέλευσής της. Βρίσκεται σε διάφορα τρόφιμα όπως μπανάνες, κρεμμύδια, σκόρδα, πράσα, αγκινάρες αλλά κυρίως σε ραδίκια, από τα οποία γίνεται η βιομηχανική παραγωγή της με εκχύλιση (Boeckner et al., 2000; Moghiseh et al, 2021).



Σχήμα 2.3: Χημική δομή ινουλίνης.

Η προσθήκη της στα τρόφιμα έχει ευεργετικές επιδράσεις στην υγεία του καταναλωτή. Η κατανάλωση 15-20g ινουλίνης ημερησίως συμβάλλει στην εξουδετέρωση της δυσκοιλιότητας (Kleessen et al., 1997; Hond et al., 2000). Επίσης, ως διαλυτή διαιτητική ίνα και πρεβιοτικό, δεν αποικοδομείται στον γαστρεντερικό σωλήνα αλλά μεταφέρεται αυτούσια στο παχύ έντερο και μπορεί να διεγείρει επιλεκτικά την ανάπτυξη ευεργετικών για την υγεία βακτηρίων, έναντι των παθογόνων. Τα προβιοτικά βακτήρια, *Lactobacilli* και *Bifidobacteria*, ζυμώνουν την ινουλίνη στο παχύ έντερο και τη μετατρέπουν σε γαλακτικό οξύ και σε λιπαρά οξέα μικρής αλύσου (οξικό, προπιονικό και βουτυρικό οξύ). Η εκτεταμένη παραγωγή των οξέων αυτών, εκτός των άλλων ευεργετικών δράσεών τους, έχει ως αποτέλεσμα την αναστολή ανάπτυξης των παθογόνων μικροοργανισμών μέσω της μείωσης του pH του παχέος εντέρου (Teferra, 2019). Επιπλέον, υπάρχουν μελέτες που αποδεικνύουν ότι η ινουλίνη



μειώνει το επίπεδο χοληστερόλης του αίματος (Roberfroid, 2005), αλλά και μελέτες που επιβεβαιώνουν ότι η κατανάλωση ινουλίνης αυξάνει την απορρόφηση ασβεστίου, μαγνησίου και σιδήρου από τον οργανισμό (Bosscher et al., 2003; Abed et al., 2016). Η αυξημένη απορρόφηση ασβεστίου ενισχύει την αύξηση οστικής πυκνότητας, η οποία κατ' επέκταση συμβάλλει στην πρόληψη της οστεοπόρωσης (Bosscher et al., 2006).

Στη βιομηχανία τροφίμων η ινουλίνη χρησιμοποιείται ευρέως σε παγωτά, προϊόντα αρτοποιίας, αλείμματα, γεμίσεις, γλυκίσματα, σοκολάτες και dressings, κυρίως ως πρεβιοτικό, υποκατάστατο λίπους, υποκατάστατο ζάχαρης και τροποποιητής υφής αλλά και ως διογκωτικός παράγοντας, πηκτικό μέσο και σταθεροποιητής γαλακτωμάτων και αφρών (Meyer et al., 2011; Shoib et al., 2016).

Ο βαθμός πολυμερισμού της ινουλίνης καθορίζει τις λειτουργικές και φυσικοχημικές ιδιότητές της, όπως τη διαλυτότητα, το σημείο τήξης, την ικανότητα σχηματισμού πηκτής και κατ' επέκταση και την ισχύ της σχηματιζόμενης πηκτής, τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης και την αλληλεπίδραση με άλλα συστατικά τροφίμων, όπως το άμυλο και άλλα υδροκολλοειδή (Meyer et al., 2011). Ως εκ τούτου, η κλασματοποίηση με βάση το βαθμό πολυμερισμού οδηγεί σε προϊόντα με επιθυμητές ιδιότητες. Κλάσματα ινουλίνης με χαμηλό μοριακό βάρος είναι πιο διαλυτά και γλυκά σε γεύση, με βελτιωμένη αίσθηση στο στόμα. Λόγω της βελτιωμένης γλυκύτητάς τους (περίπου 10% της σακχαρόζης) και της χαμηλότερης θερμιδικής αξίας (1-2kcal) σε σχέση με τους εύπεπτους υδατάνθρακες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μερική ή πλήρη αντικατάσταση της σακχαρόζης και άρα βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή σε τρόφιμα για διαβητικούς (Shoib et al., 2016). Αντιθέτως, τα κλάσματα ινουλίνης μακράς αλυσίδας είναι λιγότερο διαλυτά και δημιουργούν ιξώδη διαλύματα, έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποκατάστατα λίπους σε διάφορα τρόφιμα, όπως σε γαλακτοκομικά προϊόντα χαμηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά (Guggisberg et al. 2009; Samakradhamrongthai et al., 2021). Επίσης, έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν μικροκρυστάλλους όταν αναμιχθούν με γάλα ή νερό. Αυτοί οι μικροκρυστάλλοι αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, συγκρατώντας μεγάλη ποσότητα νερού και παρέχουν κρεμώδη υφή με αίσθηση λιπαρότητας (López-Molina et al. 2005; Kalyani Nair et al., 2010). Ο ρυθμός κρυστάλλωσης, το μέγεθος των κρυστάλλων και η σφριγηλότητα της πηκτής που σχηματίζεται εξαρτώνται από τη συγκέντρωση της ινουλίνης, το βαθμό πολυμερισμού της, την εφαρμογή τάσης και τη θερμική επεξεργασία. (Bot et al., 2004).

## 2.4. Φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες (FOS)

Οι FOS είναι ολιγομερή φρουκτόζης (2-10 μονάδες) συνδεδεμένα με μια τερματική μονάδα γλυκόζης μέσω  $\beta(2\rightarrow1)$  γλυκοσιδικών δεσμών. Η ύπαρξη των  $\beta(2\rightarrow1)$  γλυκοσιδικών δεσμών, τούς εντάσσει στην κατηγορία των άπεπτων υδατοδιαλυτών διαιτητικών ινών, όπως και η ινουλίνη, καθώς δεν μπορούν να αποικοδομηθούν από τα πεπτικά ένζυμα στο γαστρεντερικό σωλήνα. Η ζύμωσή τους γίνεται στο παχύ έντερο από προβιοτικούς μικροοργανισμούς του γένους *Lactobacilli* και *Bifidobacteria* και πιο συγκεκριμένα από 12 στελέχη *Lactobacilli* και 7 στελέχη *Bifidobacteria* (Kaplan & Hutkins, 2000).

Οι FOS βρίσκονται ως φυσικά συστατικά σε διάφορα τρόφιμα, όπως σκόρδο, κρεμμύδι, μπανάνα, σπαράγγια, μπανάνες, μέλι κλπ. και λαμβάνονται είτε με εκχύλιση από τα τρόφιμα αυτά είτε ενζυματικά από κάποια υποστρώματα. Η ενζυμική σύνθεση μπορεί να γίνει είτε από την σακχαρόζη με τη συμβολή της  $\beta$ -φρουκτοφουρανοσιδάσης ή της φρουκτόσυλ-τρανσαφεράσης είτε από την ινουλίνη με τη δράση της ενδοϊνουλινάσης (Mabel et al., 2008).

Έχουν ερευνηθεί εκτενώς τα τελευταία χρόνια και έχουν αποδειχθεί τα ευεργετικά οφέλη τους για την υγεία αλλά και η σημαντική θέση που έχουν στη βιομηχανία των τροφίμων. Είναι ασφαλείς γλυκαντικές ουσίες με χαμηλή θερμιδική αξία και γλυκύτητα ίση με το 40-60% της γλυκύτητας της σακχαρόζης, γεγονός που επιτρέπει τη χρήση τους ως εναλλακτική αυτής σε διάφορα τρόφιμα. Δεν πέπτονται από τα πεπτικά ένζυμα του οργανισμού και έτσι δεν παρέχουν ενέργεια στον οργανισμό, καθιστώντας τα ασφαλή για κατανάλωση από τους διαβητικούς αλλά και κατάλληλα για συστατικά σε μαστίχες ή άλλα οδοντικά προϊόντα, καθώς δεν προάγουν το σχηματισμό τερηδόνας. Επίσης, βελτιώνουν την απορρόφηση ασβεστίου και μαγνησίου στο γαστρεντερικό σωλήνα, ενεργοποιούν το ανοσοποιητικό σύστημα, προσφέρουν αντίσταση κατά των λοιμώξεων και προάγουν τη σύνθεση βιταμινών του συμπλέγματος Β. Συμβάλουν, επίσης, στη μείωση των επιπέδων χοληστερόλης, φωσφολιπιδίων και τριγλυκεριδίων στο αίμα (Mutanda et al., 2014; Markowiak & Śliżewska, 2017; Perna et al., 2018).

## 2.5. Αραβικό κόμμι

Το αραβικό κόμμι ή κόμμι ακακίας είναι ένα βρώσιμο ξηρό κόμμι που παραλαμβάνεται ως φυσικό έκκριμα από τον κορμό των δέντρων *Acacia senegal* και *Acacia seyal* (Σχήμα 2.4). Είναι ο παλαιότερος πολυσακχαρίτης φυτικής προέλευσης που χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο και η χρήση του ξεκίνησε πριν από περίπου 5000 χρόνια (Sanchez et al., 2018).



Σχήμα 2.4: Αραβικό κόμμι στον κορμό δένδρου, από τον οποίο εκκρίθηκε.

Το αραβικό κόμμι είναι ένας ετεροπολυσακχαρίτης μεγάλου μοριακού βάρους με πολύπλοκη διακλαδισμένη δομή, η οποία παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.5. Η κύρια αλυσίδα σχηματίζεται από μονάδες D-γαλακτοπυρανόζης ενωμένες με  $\beta(1\rightarrow3)$  γλυκοσιδικούς δεσμούς. Στις πλευρικές αλυσίδες βρίσκονται μόρια D-γαλακτοπυρανόζης, L-αραβινοφουρανόζης, L-ραμνόζης, και D-γαλακτουρονικού οξέος, τα οποία συνδέονται στην κύρια αλυσίδα με δεσμούς  $\beta(1\rightarrow6)$ . Παρούσα είναι και μια μικρή αλλά σημαντική για τις λειτουργικές ιδιότητες του κόμμιος, ποσότητα πρωτεΐνης (γλυκοπρωτεΐνη) σε ποσοστό μικρότερο από 3% (Williams & Phillips, 2009).



(Burnside, 2014). Βρίσκει εφαρμογή είτε μόνο του είτε σε συνδυασμό με άλλα συστατικά, όπως με πρωτεΐνη ορού γάλακτος για την ενθυλάκωση του *Lactobacillus acidophilus* και εφαρμογή του σε γιαούρτι (Leylak et al., 2021), με πρωτεΐνη ορού καρύδας για την ενθυλάκωση κουρκουμίνης (Adsare & Annapure, 2021), με μαλτοδεξτρίνη για την ενθυλάκωση ελαίου πιπεριού (Karaaslan et al., 2021) κλπ.

Ευρεία είναι η χρήση του και στη ζαχαροπλαστική για την παρασκευή ζαχαρωτών. Χρησιμοποιείται παραδοσιακά για την παραγωγή gummy bears, καθώς αποτρέπει την κρυστάλλωση της ζάχαρης, παρέχει ελεγχόμενη απελευθέρωση της γεύσης, επιβραδύνει την τήξη τους στο στόμα και συμβάλει στη δημιουργία κατάλληλης υφής, χωρίς να κολλάνε στα δόντια. Όσον αφορά τα ζαχαρωτά χαμηλών θερμίδων, η προσθήκη του αραβικού κόμμεος έχει ως στόχο να αντισταθμίσει την απώλεια της υφής, της αίσθησης στο στόμα και του σώματος, που προκύπτουν από την αντικατάσταση της ζάχαρης με τεχνητές γλυκαντικές ύλες. Σε αφρώδη ζαχαρωτά, όπως marshmallows, μαρέγκες και μαντολάτα χρησιμοποιείται ως αφριστικός παράγοντας και σταθεροποιητής (Daukan, 2013).

Άλλες εφαρμογές του στη βιομηχανία τροφίμων είναι και ως πηκτικό μέσο, υγροσκοπικό μέσο, αντιοξειδωτικό, πηγή ευδιάλυτων φυτικών ινών και πρεβιοτικό.

Όσον αφορά τα γαλακτοκομικά προϊόντα, η προσθήκη αραβικού κόμμεος σε παγωτό βρέθηκε ότι λειτουργεί ως σταθεροποιητής, αποτρέποντας το σχηματισμό κρυστάλλων πάγου αλλά και καθυστερώντας την τήξη, διατηρώντας παράλληλα την υφή του προϊόντος (Suliman, 2018). Επίσης, η προσθήκη του σε παγωτό- γιαούρτι βελτίωσε τα ρεολογικά και φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του, καθώς και την οργανοληπτική αποδοχή του (Rezaei et al., 2011). Άλλες χρήσεις του αφορούν την ευεργετική επίδρασή του ως πρεβιοτικό σε γιαούρτια (Elawad et al., 2021).

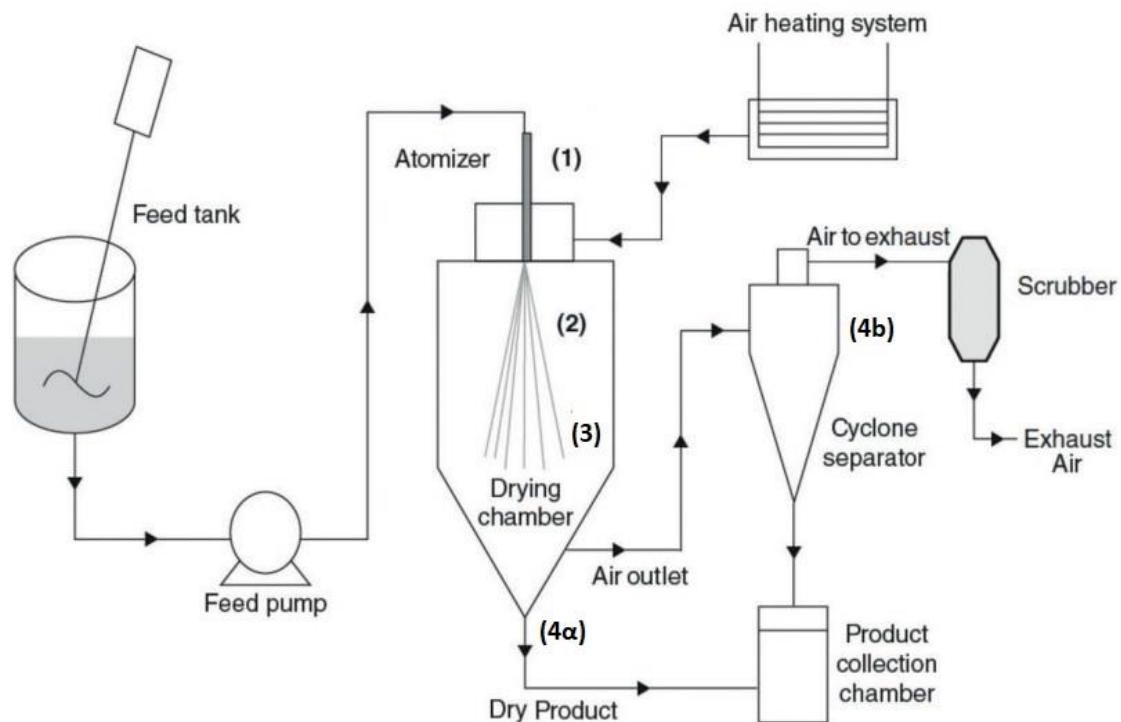
## **2.6. Ξήρανση με εκνέφωση**

Η ξήρανση με εκνέφωση είναι μια πολύ διαδεδομένη τεχνική ξήρανσης υγρών τροφίμων (σε μορφή διαλύματος, γαλακτώματος ή εναιωρήματος), η οποία βασίζεται στην εκνέφωση του υγρού και στη μετέπειτα επαφή του με θερμό αέρα, κατά τη διάρκεια της οποίας μετατρέπεται σε σκόνη. Η πρώτη εφαρμογή της ξήρανσης με

εκνέφωση χρονολογείται πίσω στο 2<sup>ο</sup> Παγκόσμιο Πόλεμο, όπου χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή σκόνης γάλακτος με σκοπό την κάλυψη των αναγκών των στρατιωτών σε τροφή σε διάφορα μέρη του κόσμου. Μπορεί η χρήση της να έχει επεκταθεί και στη φαρμακοβιομηχανία, χημική βιομηχανία, τη βιομηχανία υλικών, τον τομέα της βιοτεχνολογίας και των πολυμερών, ωστόσο ακόμα και σήμερα, η παραγωγή σκόνης γάλακτος αποτελεί την κύρια εφαρμογή της. Χρησιμοποιείται ευρέως στη γαλακτοβιομηχανία και για την παραγωγή πρωτεΐνης ορού και καζεΐνης σε σκόνη, λακτόζης και παγωτού σε σκόνη, βρεφικής φόρμουλας γάλακτος αλλά και για την παραγωγή καφέ, τσαγιού και προϊόντων με βάση το αυγό, μεταξύ άλλων. Παρότι αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες, η προσεκτική επιλογή των κατάλληλων παραμέτρων της ξήρανσης (όπως χαμηλή θερμοκρασία εξόδου) και του κατάλληλου προστατευτικού μέσου μπορεί να οδηγήσει σε επιτυχημένη μικροενθλάκωση βιοενεργών ενώσεων, αντικαθιστώντας τη χρονοβόρα και δαπανηρή μέθοδο της λυοφιλίωσης (Ishwarya & Anandharamakrishnan, 2017).

Η ξήρανση με εκνέφωση επιδεικνύει πολλά πλεονέκτημα έναντι άλλων τεχνικών ξήρανσης υγρών τροφίμων, κυρίως λόγω της ευελιξίας της στον χειρισμό μεγάλης ποικιλίας υγρών τροφίμων, της ικανότητάς της να χειρίζεται μεγάλους όγκους παραγωγής και το πιο σημαντικό, της δυνατότητας συνεχούς, ταχείας, πλήρως αυτοματοποιημένης και συνεπώς οικονομικής λειτουργίας (Ishwarya & Anandharamakrishnan, 2017).

Στο Σχήμα 2.6 παρουσιάζονται σχηματικά τα 4 στάδια της ξήρανσης με εκνέφωση.



**Σχήμα 2.6:** Σχηματική απεικόνιση των σταδίων που λαμβάνουν χώρα κατά την ξήρανση με εκνέφωση. (1) Εκνέφωση. (2) Επαφή σταγονιδίων- αέρα ξήρανσης. (3) Εξάτμιση υγρασίας- ξήρανση σταγονιδίων. (4a) Πρωτεύων διαχωρισμός σωματιδίων. (4b) Δευτερέων διαχωρισμός σωματιδίων με τη χρήση αεροκυκλώνα. (Τροποποίηση σχήματος από Santos et al., 2018).

**Επεξήγηση σχήματος:** Feed tank: Δεξαμενή τροφοδοσίας, Feed pump: Αντλία τροφοδοσίας, Atomizer: Εκνεφωτής, Drying chamber: Θάλαμος ξήρανσης, Air outlet: Έξοδος αέρα ξήρανσης, Air to exhaust: Αέρας ξήρανσης προς απελευθέρωση, Cyclone separator: Διαχωριστής κυκλώνα, Dry product: Ξηρό προϊόν, Product collection chamber: Θάλαμος/δοχείο συλλογής τελικού προϊόντος, Scrubber: σύστημα καθαρισμού αέρα, Exhaust air: απαγωγή αέρα.

Πιο αναλυτικά τα στάδια της ξήρανσης με εκνέφωση είναι:

1. Εκνέφωση: Η εκνέφωση του διαλύματος τροφοδοσίας σε μικρά σταγονίδια είναι το πρώτο και πολύ σημαντικό στάδιο της διαδικασίας ξήρανσης, λόγω της επίδρασής της στο σχήμα, τη δομή, την ταχύτητα και την κατανομή μεγέθους των σταγονιδίων και κατ' επέκταση και στο μέγεθος των λαμβανόμενων σωματιδίων και τη φύση του τελικού προϊόντος. Η δημιουργία των σταγονιδίων οδηγεί σε αύξηση της επιφάνειάς τους, βελτιστοποιώντας τη μεταφορά θερμότητας και μάζας μεταξύ του αερίου ξήρανσης και αυτών. Έτσι, επιτυγχάνεται ταχύτερη ξήρανση των προϊόντων με ελάχιστη απώλεια θερμοευαίσθητων ενώσεων (Anandharamakrishnan, & Ishwarya, 2015).

Η απαραίτητη ενέργεια για τη διαίρεση του υγρού τροφοδοσίας σε μικρότερα σωματίδια παρέχεται από τους εκνεφωτές με τη μορφή πίεσης, φυγοκέντρωσης, ηλεκτρικής ενέργειας, κινητικής ενέργειας ή ενέργειας υπερήχων. Υπάρχουν διάφορα είδη εκνεφωτών, η επιλογή των οποίων γίνεται με βάση τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος (σχήμα, δομή και μέγεθος) αλλά και ανάλογα τη φύση του υγρού τροφοδοσίας (για παράδειγμα πόσο ιξώδες). Τα δύο βασικά είδη εκνεφωτών είναι οι περιστροφικοί εκνεφωτές και οι εκνεφωτές ακροφυσίου.

2. Επαφή σταγονιδίων και αέρα ξήρανσης: Σε αυτό το στάδιο, τα δημιουργηθέντα σταγονίδια έρχονται σε επαφή με τον αέρα ξήρανσης μέσα στο θάλαμο ξήρανσης, με αποτέλεσμα την άμεση εξάτμιση της υγρασίας από την επιφάνεια των σταγονιδίων με ομοιόμορφο τρόπο. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ομοιόμορφη ροή του αέρα ξήρανσης σε όλο το θάλαμο. Συνήθως, ως μέσο ξήρανσης χρησιμοποιείται φιλτραρισμένος περιβαλλοντικός αέρας, ο οποίος στο τέλος της ξήρανσης απελευθερώνεται πάλι στο περιβάλλον (Santos et al., 2018). Ωστόσο, για την αποφυγή έκρηξης όταν πρόκειται να ξηραθούν εύφλεκτα αλκοολικά διαλύματα και για την προστασία ενώσεων ευαίσθητων στην οξειδωση ή όταν απαιτούνται στείρες συνθήκες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και αδρανή αέρια, όπως άζωτο (όπως κατά την παραλαβή βανίλιας σε σκόνη). Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται κλειστό σύστημα, με σκοπό την ανακύκλωση του αδρανούς αερίου (αλλά και την παραλαβή της αιθανόλης, σε περίπτωση ξήρανσης αλκοολικού διαλύματος) (Aguirre-Alonso et al., 2019). Ανάλογα με τον τρόπο εισαγωγής του υγρού τροφοδοσίας και του αέρα ξήρανσης, υπάρχουν τρεις διαφορετικές διατάξεις του θαλάμου ξήρανσης. Στην περίπτωση της ροής με ίδια φορά (ομοροή), η είσοδος και των δύο γίνεται από την κορυφή του θαλάμου, ενώ στη ροή με αντίθετη φορά (αντιροή), η είσοδος του αέρα ξήρανσης γίνεται από το κάτω μέρος του θαλάμου. Κατά τη μικτή ροή, η είσοδος του αέρα ξήρανσης γίνεται από την κορυφή του θαλάμου, ενώ του υγρού τροφοδοσίας από τη βάση του. Η αντιροή και η μικτή ροή δεν ενδείκνυνται για την ξήρανση θερμοευαίσθητων ενώσεων (Santos et al., 2018).

3. Εξάτμιση υγρασίας- ξήρανση σταγονιδίων: Αρχικά, όταν τα σταγονίδια εκτίθενται στο θερμό αέρα, λαμβάνει χώρα ταχεία εξάτμιση, η οποία πραγματοποιείται με σταθερό ρυθμό, καθώς η υγρασία απομακρύνεται συνεχώς από την επιφάνεια των σταγονιδίων. Σε αυτό το στάδιο, η επιφάνεια των σταγονιδίων παραμένει κορεσμένη



με υγρασία και η θερμοκρασία της διατηρείται σταθερή σε επαρκώς χαμηλή τιμή, στη θερμοκρασία του υγρού βολβού. Η θερμοκρασία υγρού βολβού είναι η θερμοκρασία στην οποία φθάνει το αέριο ξήρανσης όταν είναι κορεσμένο με ατμό από το υγρό τροφοδοσίας (Seydel et al., 2006). Επίσης, τα σταγονίδια αρχίζουν να συρρικνώνονται λόγω της εξάτμισης της υγρασίας.

Όταν η υγρασία μειωθεί σε σημείο που να περιορίζει τη διατήρηση κορεσμένων συνθηκών στην επιφάνεια των σταγονιδίων, τότε αρχίζει να σχηματίζεται ένα λεπτό κέλυφος στην επιφάνεια των σταγονιδίων, που περιγράφεται ως «σχηματισμός κρούστας». Μετά το σχηματισμό κρούστας, η εξάτμιση λαμβάνει χώρα με μειούμενο ρυθμό, ο οποίος εξαρτάται από το ρυθμό διάχυσης υδρατμών μέσω του ξηρού κελύφους (Farid, 2003). Αν και η θερμοκρασία των σωματιδίων αρχίζει να ανεβαίνει σε αυτό το στάδιο, τα σωματίδια βρίσκονται σχεδόν στο πιο κρύο σημείο του θαλάμου, όπου το αέριο ξήρανσης βρίσκεται στη θερμοκρασία εξόδου ή κοντά στη θερμοκρασία εξόδου. Κατά συνέπεια, τα σωματίδια δε θερμαίνονται ποτέ πάνω από τη θερμοκρασία εξόδου του ξηραντήρα, παρά το γεγονός ότι η θερμοκρασία εισόδου μπορεί να είναι σημαντικά υψηλότερη. Η λαμβανόμενη σκόνη θα είναι σε θερμοκρασία περίπου 20°C χαμηλότερη από τη θερμοκρασία εξόδου του αέρα ξήρανσης (Gohel et al., 2009).

Η διαδικασία ολοκληρώνεται με την πλήρη μετατροπή των σταγονιδίων σε σωματίδια σκόνης. Διαφορετικά τρόφιμα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά ξήρανσης και σχηματισμού σωματιδίων. Μερικά επεκτείνονται, άλλα συρρικνώνονται, άλλα θραύονται, ενώ άλλα καταρρέουν. Έτσι, τα λαμβανόμενα σωματίδια μπορεί να έχουν σφαιρικό ή ακανόνιστο σχήμα, με πορώδη, λεία ή κοίλη επιφάνεια (BETE, 2005).

4. Διαχωρισμός σωματιδίων: Η διαδικασία της ξήρανσης ολοκληρώνεται με το διαχωρισμό και τη συλλογή των σχηματιζόμενων σωματιδίων. Ο διαχωρισμός επιτυγχάνεται σε δύο στάδια. Στον πρωτεύοντα διαχωρισμό γίνεται παραλαβή των μεγαλύτερων σωματιδίων, τα οποία λόγω βαρύτητας έχουν επικαθίσει στον κωνικό πυθμένα του θαλάμου ξήρανσης. Στο δευτερεύοντα διαχωρισμό, τα λεπτότερα ή μικρότερα σωματίδια μεταφέρονται σε εξωτερικές συσκευές, όπου διαχωρίζονται από τον αέρα ξήρανσης, ο οποίος τα έχει συμπαρασύρει. Οι πιο συνηθισμένοι συλλέκτες ξηρών σωματιδίων περιλαμβάνουν τους διαχωριστές κυκλώνων, τα φίλτρα σακούλας

και τους ηλεκτροστατικούς κατακρημνιστές. Η επιλογή του κατάλληλου συλλέκτη βασίζεται στο μέγεθος των σωματιδίων και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Τέλος, είναι συνήθης η εγκατάσταση ενός επιπλέον συστήματος καθαρισμού (wet scrubbers) με σκοπό τον καθαρισμό του αέρα ξήρανσης από όσα σωματίδια δε διαχωρίστηκαν κατά τον δευτερεύοντα διαχωρισμό, πριν αυτός απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα (Santos et al., 2018).

Επίσης, είναι πολύ συχνός ο συνδυασμός της ξήρανσης με εκνέφωση με ρευστοποιημένη κλίνη, η οποία συνδέεται στον κωνικό πυθμένα του θαλάμου ξήρανσης. Η ξήρανση με εκνέφωση δύο σταδίων, όπως ονομάζεται, περιλαμβάνει τη διαβροχή των λεπτών σωματιδίων σκόνης με υδρατμούς, την ανάμειξή τους και τέλος την ξήρανση μέχρι την απαιτούμενη τελική περιεκτικότητα σε υγρασία. Η αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων λόγω συσσωμάτωσης και η αύξηση του πορώδους της επιφάνειάς τους, οδηγεί σε βελτιωμένες ιδιότητες ανασύστασης και χειρισμού της σκόνης (Szulc & Lenart, 2013; Anandharamakrishnan & Ishwarya, 2015).

## **2.7. Λυοφιλίωση**

Μεταξύ των διαφόρων μεθόδων ξήρανσης, η λυοφιλίωση θεωρείται μία από τις σημαντικότερες μεθόδους για τη συντήρηση των τροφίμων. Βασίζεται στην εξάχνωση του διαλύτη σε ένα προϊόν, ο οποίος μπορεί να είναι είτε νερό είτε οργανικός διαλύτης. Στην περίπτωση των τροφίμων, ο διαλύτης είναι το νερό, το οποίο κρυσταλλώνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες και στη συνέχεια απομακρύνεται, μεταπίπτοντας απευθείας από τη στερεά κατάσταση στην αέρια (εξάχνωση). Η απομάκρυνση του νερού από τα τρόφιμα οδηγεί στην αναστολή χημικών, βιοχημικών και μικροβιολογικών διεργασιών, συμβάλλοντας έτσι στην παράταση της διάρκειας ζωής των τροφίμων (Nowak & Jakubczyk, 2020). Η απουσία οξυγόνου και οι χαμηλές θερμοκρασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη λυοφιλίωση, συμβάλουν στη διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των τροφίμων (χρώμα, άρωμα, γεύση, βιολογική και θρεπτική αξία) και των θερμοευαίσθητων ενώσεων που υπάρχουν σε αυτά (Martínez-Navarrete et al., 2019). Η ανασύσταση γίνεται εύκολα και γρήγορα, λόγω του μεγάλου πορώδους που δημιουργείται στη δομή κατά την εξάχνωση, ενώ στα στερεά τρόφιμα διατηρείται ο αρχικός τους όγκος (δεν παρατηρείται συρρίκνωση-κατάρρευση της δομής). Ως εκ τούτου, ο κύριος στόχος της λυοφιλίωσης είναι η παραγωγή αφυδατωμένων τροφίμων

με παρατεταμένη διάρκεια ζωής, η ποιότητα των οποίων παραμένει αμετάβλητη και μετά την ανασύσταση. Ωστόσο, είναι χρονοβόρα και δαπανηρή μέθοδος, τόσο για τη λειτουργία αλλά και τη συντήρησή της, περιορίζοντας έτσι τη χρήση της σε τρόφιμα υψηλής αξίας. Οι κύριες χρήσεις της στη βιομηχανία τροφίμων αφορούν την παραγωγή λυοφιλωμένων φρούτων, λαχανικών, βοτάνων, μπαχαρικών, καφέ, κρέατος, ιχθυηρών και μανιταριών (Liu et al., 2021). Στη γαλακτοβιομηχανία είναι ευρεία η χρήση της στη μικροενθυλάκωση καλλιεργειών εκκίνησης και εν γένει προβιοτικών μικροοργανισμών, ενώ χρησιμοποιείται και για τη μικροενθυλάκωση ευαίσθητων βιοενεργών ενώσεων, όπως αρωματικών υλών (κυρίως ελαίων), χρωστικών, αντιοξειδωτικών κλπ (Anandharamakrishnan & Ishwarya, 2015; Ray et al., 2016).

Η λυοφιλίωση συνίσταται από 3 στάδια. Σε ορισμένες περιπτώσεις, πριν από αυτά λαμβάνει χώρα και ένα επιπλέον στάδιο προκατεργασίας. Σε στερεά τρόφιμα, η προκατεργασία πραγματοποιείται με σκοπό την αύξηση της επιφάνειας των τροφίμων με τεμαχισμό ή άλεση. Στην περίπτωση υγρών τροφίμων, η διαδικασία της προκατεργασίας περιλαμβάνει συμπύκνωση ή προσθήκη θερμοπροστατευτικών παραγόντων (lyoprotectants), όπως μαλτοδεξτρίνη, τρεχαλόζη, γλυκερόλη, καζεϊνικό νάτριο, πρωτεΐνη ορού κλπ. Το στάδιο της συμπύκνωσης συμβάλλει στη μείωση της διάρκειας της ξήρανσης και στη βελτίωση της πυκνότητας των αφυδατωμένων τροφίμων (Bhushani & Anandharamakrishnan, 2017). Επίσης, μπορεί να πραγματοποιηθεί και θέρμισμα, με σκοπό την απενεργοποίηση ανεπιθύμητων ενζύμων που βρίσκονται στα τρόφιμα.

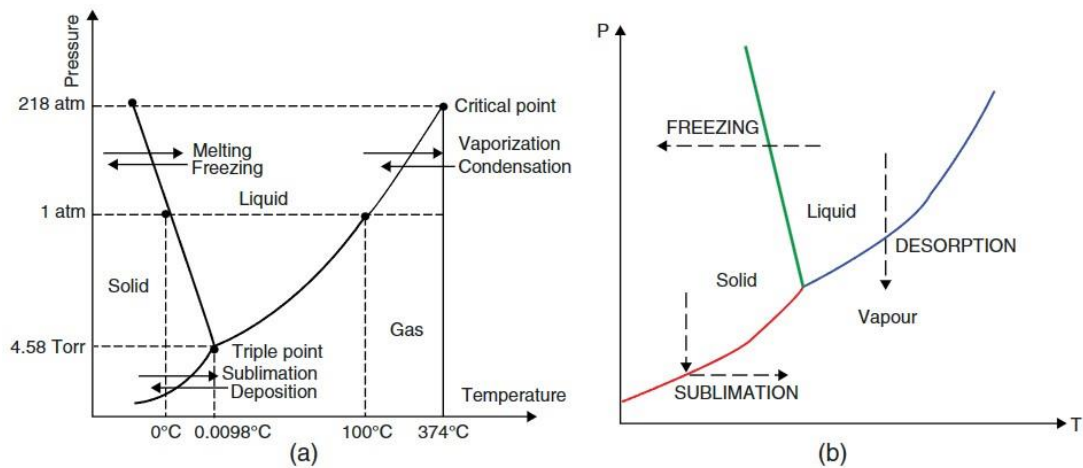
Πιο αναλυτικά τα 3 στάδια της λυοφιλίωσης:

Κατάψυξη: Η κατάψυξη είναι το πρώτο στάδιο της λυοφιλίωσης και μετατρέπει το 65–90% της αρχικής υγρασίας (ελεύθερο νερό) του τροφίμου σε πάγο (κρυστάλλωση), ώστε στο επόμενο στάδιο να απομακρυνθεί με εξάχνωση. Το υπόλοιπο νερό παραμένει στη δεσμευμένη ή προσροφημένη κατάσταση. Η κρυστάλλωση είναι μια διαδικασία που περιλαμβάνει δύο στάδια, την πυρήνωση και την ανάπτυξη κρυστάλλων. Η διαδικασία της πυρήνωσης καθορίζει την κρυσταλλική δομή, ενώ η ανάπτυξη των κρυστάλλων καθορίζει την ανάπτυξη των πυρήνων σε κρυστάλλους αλλά και το μέγεθος των σχηματιζόμενων κρυστάλλων. Μόλις το τρόφιμο ψυχθεί σε θερμοκρασία κάτω από το σημείο τήξης του, ο ρυθμός πυρήνωσης

αυξάνεται εκθετικά με το βαθμό κατάψυξης, ενώ ο ρυθμός ανάπτυξης των κρυστάλλων εμφανίζεται με αργό γραμμικό τρόπο. Χαμηλός ρυθμός κατάψυξης, ευνοεί την ανάπτυξη των κρυστάλλων, με αποτέλεσμα των σχηματισμό λιγότερων κρυστάλλων μεγαλύτερου μεγέθους. Αντίθετα, όταν ο ρυθμός κατάψυξης είναι υψηλός, τότε ο ρυθμός πυρήνωσης είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό ανάπτυξης των κρυστάλλων, οδηγώντας έτσι στο σχηματισμό μεγάλου αριθμού μικρών κρυστάλλων (Oetjen, 1999). Ωστόσο, ανεξάρτητα από τον βαθμό κατάψυξης, ο ρυθμός ψύξης είναι ταχύτερος στην επιφάνεια και πιο αργός στο κέντρο, δημιουργώντας έτσι μικρότερους κρυστάλλους στην επιφάνεια και μεγαλύτερους κρυστάλλους στο κέντρο (Stapley, 2008).

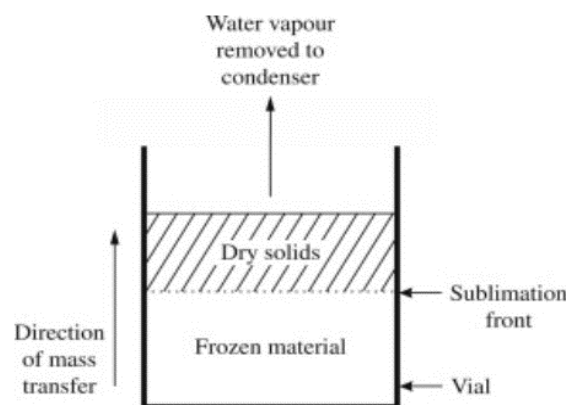
Η κατάψυξη είναι ένα κρίσιμο στάδιο της λυοφιλίωσης καθώς η μικροδομή και οι ιδιότητες ανασύστασης και αποθήκευσης του τελικού αφυδατωμένου προϊόντος καθορίζονται από αυτή τη διαδικασία. Το μέγεθος και η δομή των κρυστάλλων πάγου που σχηματίζονται κατά την κατάψυξη αντανακλάται στο μέγεθος και τη δομή των πόρων που σχηματίζονται στο λυοφιλιωμένο προϊόν. Επιπλέον, ο ρυθμός ξήρανσης στα στάδια της πρωτογενούς και δευτερογενούς ξήρανσης επηρεάζεται από τις ιδιότητες του κατεψυγμένου υποστρώματος. Όταν επιτυγχάνεται ένα δίκτυο μεγάλων κρυστάλλων, διευκολύνεται η διαφυγή των μορίων νερού, με αποτέλεσμα την επιτάχυνση της πρωτογενούς ξήρανσης, ενώ η δευτερογενής ξήρανση θα έχει μεγαλύτερη διάρκεια (Kochs et al., 1993; Wang et al., 2012). Ωστόσο, ο σχηματισμός μεγάλων κρυστάλλων πάγου και η ανομοιόμορφη κατανομή τους στον ιστό των τροφίμων, μπορεί να καταστρέψει την κυτταρική δομή ανεπανόρθωτα, προκαλώντας υποβάθμιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και απώλεια θρεπτικών συστατικών του τελικού προϊόντος. Αντίθετα, οι μικρότεροι κρύσταλλοι που δημιουργούνται σε υψηλούς ρυθμούς κατάψυξης, οδηγούν σε λιγότερη ζημιά στους ιστούς των τροφίμων (Zhu et al., 2019).

Πρωτογενής ξήρανση: Στο στάδιο της πρωτογενούς ξήρανσης, το κρυσταλλωμένο νερό απομακρύνεται με εξάχνωση. Για να συμβεί αυτό, η πίεση του θαλάμου μειώνεται σε επίπεδο χαμηλότερο από την πίεση των ατμών του πάγου (κάτω από το τριπλό σημείο του νερού, το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 2.7) και χορηγείται θερμότητα στο υλικό για την παροχή της λανθάνουσας θερμότητας εξάχνωσης (Doran, 2013). Ο έλεγχος της θερμοκρασίας στο στάδιο αυτό είναι κρίσιμος, ώστε να ληφθεί αφυδατωμένο προϊόν υψηλής ποιότητας (Bhushani & Anandharamakrishnan, 2017).



**Σχήμα 2.7:** (a) Διάγραμμα φάσεων νερού (Yu et al., 2011). (b) Επεξήγηση των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα κατά τη λυοφιλίωση με τη χρήση ενός διαγράμματος φάσεων νερού (Lopez-Quiroga et al., 2012).

Οι διεργασίες που πραγματοποιούνται κατά την πρωτογενή ξήρανση με τη χρήση φιαλών αναπαρίστανται στο Σχήμα 2.8. Πιο συγκεκριμένα, οι δημιουργηθέντες υδρατμοί διαχέονται στο θάλαμο και κατόπιν συλλέγονται στην πλάκα του συμπυκνωτή, διατηρώντας έτσι τη τάση ατμών σε χαμηλά επίπεδα. Καθώς το νερό απομακρύνεται από την επιφάνεια του τροφίμου, σχηματίζεται ένα ξηραθέν στρώμα. Με περαιτέρω ξήρανση, το πάχος αυτού του στρώματος αυξάνεται ενώ το πάχος του παγωμένου υποστρώματος που περιέχει το κρυσταλλωμένο νερό μειώνεται. Ως αποτέλεσμα, το μέτωπο εξάχνωσης (sublimation front) μετακινείται προς τη βάση της φιάλης. Συνήθως, η πρωτογενής ξήρανση διαρκεί περίπου 10 ώρες και αφαιρείται περίπου το 90-95% του νερού που περιέχεται στο τρόφιμο (Liu et al., 2021).



**Σχήμα 2.8:** Αναπαράσταση του σταδίου της πρωτογενούς ξήρανσης με χρήση φιαλών (Doran, 2013).

Δευτερογενής ξήρανση: Μόλις ολοκληρωθεί η πρωτογενής ξήρανση και όλος ο πάγος έχει εξαχνωθεί, τότε ξεκινάει η δευτερογενής ξήρανση, κατά την οποία γίνεται εκρόφηση του μη παγωμένου-δεσμευμένου νερού. Η εκρόφηση της υπολειμματικής υγρασίας λαμβάνει χώρα σε υψηλότερη θερμοκρασία και χαμηλότερη πίεση ατμών σε σχέση με το προηγούμενο στάδιο (Cameron, 1997). Το νερό αυτό είναι ισχυρά δεσμευμένο με το υπόστρωμα, έτσι απαιτείται μεγαλύτερη ενέργεια και περισσότερος χρόνος για την απομάκρυνσή του. Η διαδικασία της ξήρανσης ολοκληρώνεται με την επίτευξη της επιθυμητής υπολειμματικής υγρασίας, η οποία είναι συνήθως 1-3% (Berk, 2018).

## **2.8. Μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς του κεφίρ**

Ρεολογία είναι η επιστήμη που μελετά τη ροή και την παραμόρφωση της ύλης και αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για τον χαρακτηρισμό των θεμελιωδών ιδιοτήτων των τροφίμων. Η μηχανική ρευστών είναι ο θεμέλιος λίθος της ρεολογίας των τροφίμων και η συσχέτιση της τάσης με την παραμόρφωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει τις ρεολογικές ιδιότητες των συστημάτων τροφίμων με διαφορετικά μοντέλα (Zhong et al., 2019).

### **2.8.1. Προσδιορισμός ιξώδους**

Το ιξώδες είναι μία πολύ σημαντική φυσική ιδιότητα των ρευστών τροφίμων, η οποία είναι χρήσιμη σε πολλές εφαρμογές της Επιστήμης και της Τεχνολογίας Τροφίμων, όπως στο σχεδιασμό των διεργασιών παραγωγής των τροφίμων, στην επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού αλλά και στην αξιολόγηση της ποιότητας, στον έλεγχο και στην κατανόηση της δομής των τροφίμων (Krokida et al., 2007). Αποτελεί το μέτρο μέτρησης της εσωτερικής τριβής του ρευστού κατά τη ροή και προκαλεί την ανάπτυξη δυνάμεων που αντιστέκονται στη σχετική κίνηση γειτονικών στοιβάδων ρευστού (McClements, 1999).

Αν δυο παράλληλα επίπεδα στη μάζα ενός ρευστού κινούνται το ένα σχετικά με το άλλο, έχει βρεθεί ότι μια σταθερή δύναμη θα πρέπει να εξασκείται ώστε να

διατηρείται μια σταθερή σχετική πίεση. Αν τα επίπεδα βρίσκονται σε απόσταση  $z$  το ένα από το άλλο και αν η σχετική τους ταχύτητα είναι  $u$ , τότε η δύναμη  $F$  που απαιτείται για να διατηρήσει την κίνηση, έχει βρεθεί πειραματικά ότι είναι ανάλογη της  $u$  και αντίστροφα ανάλογη της  $Z$  για πολλά ρευστά. Ο συντελεστής αναλογίας ονομάζεται ιξώδες του ρευστού και συμβολίζεται ως  $\eta$ . Από τον ορισμό του ιξώδους έχουμε:

$$\frac{F}{A} = \eta \times \frac{u}{Z}$$

όπου  $F$  είναι η ασκούμενη δύναμη,  $A$  η επιφάνεια στην οποία ασκείται η δύναμη,  $Z$  η απόσταση μεταξύ των επιπέδων,  $u$  η ταχύτητα των επιπέδων σχετικά το ένα ως προς το άλλο και  $\eta$  το ιξώδες. Επίσης, ο λόγος  $u/z$  ονομάζεται ρυθμός διάτμησης  $\dot{\gamma}$  (Perry, 1999).

Από το θεμελιώδη ορισμό του ιξώδους προκύπτει η διαφορική σχέση:

$$\frac{F}{A} = \eta \times \frac{du}{dZ}$$

η οποία μπορεί να μετατραπεί στην:

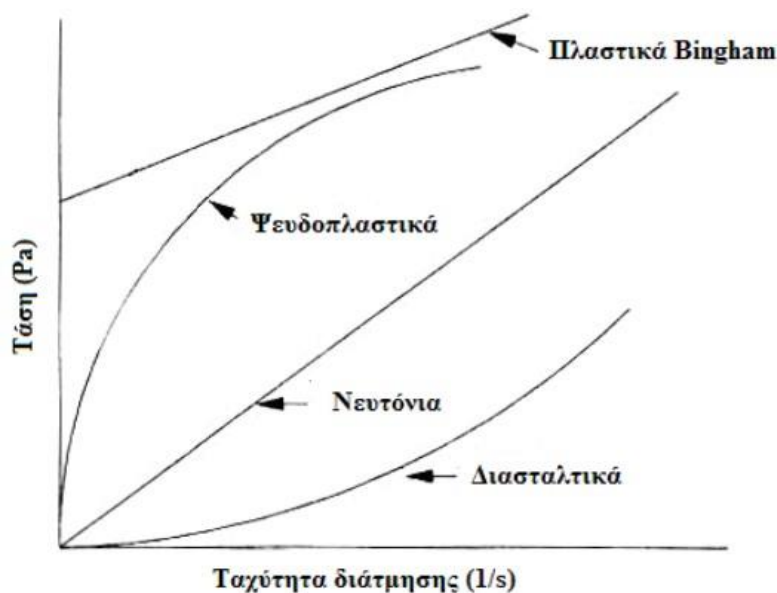
$$\tau = \eta \times \dot{\gamma}$$

όπου  $\tau$  είναι η διατμητική τάση του ρευστού. Η εξίσωση αυτή προτάθηκε αρχικά από το Νεύτωνα και ισχύει για ρευστά όπως το νερό. Όμως για πολλά ρευστά που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων, οι μετρήσεις του ιξώδους δείχνουν απόκλιση από αυτή την απλή σχέση και για αυτόν το λόγο προτάθηκε μια πιο γενική σχέση:

$$\tau = \tau_0 + k \times \dot{\gamma}^n$$

όπου το  $k$  είναι ο συντελεστής συνεκτικότητας,  $n$  ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς και  $\tau_0$  η τάση διαρροής, η οποία απαιτείται σε ορισμένα υγρά για να αρχίσουν να ρέουν. Η εξίσωση αυτή ονομάζεται γενική εξίσωση του εκθετικού νόμου (power law). Όταν ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς είναι ίσος με τη μονάδα ( $n=1$ )

και η τάση διαρροής είναι ίση με μηδέν ( $\tau_0 = 0$ ), τότε το ρευστό ονομάζεται Νευτώνειο, γιατί υπακούει στο νομό του Νεύτωνα. Σε διαφορετική περίπτωση το ρευστό ονομάζεται μη Νευτώνειο. Οι αποκλίσεις από το νόμο του Νεύτωνα παρίστανται γραφικά στο Σχήμα 2.9. Τα ρευστά με  $n < 1$  και  $\tau_0 = 0$  ονομάζονται ψευδοπλαστικά και όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.9 το ιξώδες τους είναι υψηλό σε χαμηλές τιμές της ταχύτητας διάτμησης και όσο αυξάνει η ταχύτητα, το ιξώδες μειώνεται. Αντίθετα, αν  $n > 1$  και  $\tau_0 = 0$  τότε τα ρευστά ονομάζονται διασταλτικά, που σημαίνει ότι σε χαμηλές τιμές της ταχύτητας διάτμησης το ιξώδες είναι χαμηλό και όσο αυξάνει η ταχύτητα, τόσο αυξάνει και το ιξώδες. Τέλος, αν  $n = 1$  και  $\tau_0 > 0$  τα ρευστά ονομάζονται Bingham. Στα ρευστά, τα οποία το ιξώδες τους δεν παραμένει σταθερό αλλά μεταβάλλεται με την ταχύτητα διάτμησης, έχει καθιερωθεί ο όρος φαινομενικό ιξώδες  $\eta_a$  (Darby, 1996).



**Σχήμα 9:** Συμπεριφορά των ρευστών ανάλογα με το δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς και την ταχύτητα διάτμησης (Steffe, 1996).



### 3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Λόγω της μικρής διάρκειας ζωής του κεφίρ και του υψηλού κόστους αποθήκευσης και συσκευασίας, υπάρχει αυξημένη τάση τα τελευταία χρόνια για την παραγωγή κεφίρ σε μορφή σκόνης. Η σκόνη κεφίρ είναι εύκολη στη χρήση, έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, χαμηλότερο κόστος συσκευασίας, αποθήκευσης και διανομής, ενώ δεν απαιτείται η διατήρησή της υπό ψύξη.

Σκοπός της παρούσας εργασίας, λοιπόν, ήταν η παραγωγή κεφίρ σε μορφή σκόνης και η μελέτη της επίδρασης της μεθόδου ξήρανσης και της προσθήκης διαφόρων ουσιών (με πιθανή θερμοπροστατευτική δράση), σε συγκεκριμένες ιδιότητες της σκόνης αλλά και των ανασυσταμένων δειγμάτων.

Πιο συγκεκριμένα, παράχθηκε κεφίρ, το οποίο στη συνέχεια χωρίστηκε σε 6 διαφορετικά δείγματα (μάρτυρας, δείγμα το οποίο παρέμεινε 4 ημέρες στο ψυγείο μέχρι την ξήρασή του και δείγματα στα οποία προστέθηκαν κεφιράνη, αραβικό κόμμι, ινουλίνη και φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες). Στα νωπά δείγματα κεφίρ προσδιορίστηκε η υγρασία και οι ρεολογικές τους ιδιότητες (φαινομενικό ιξώδες και δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς). Κατόπιν, πραγματοποιήθηκε ξήρανση με τη μέθοδο της ξήρανσης με εκνέφωση (Spray drying) σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες εισόδου (140°C και 180°C) και με τη μέθοδο της λυοφιλίωσης (Freeze drying). Στις παραχθείσες σκόνες προσδιορίστηκε η υγρασία, το μέγεθος σωματιδίων και παρατηρήθηκε η μικροδομή. Τέλος, έλαβε χώρα ανασύσταση των δειγμάτων σκόνης στο 100% του αρχικού ποσοστού υγρασίας και τα ανασυσταμένα δείγματα αξιολογήθηκαν ως προς τις ρεολογικές τους ιδιότητες (φαινομενικό ιξώδες και δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς), το μέγεθος των σωματιδίων και τη μικροδομή τους.

Ο προσδιορισμός της υγρασίας έγινε με τη σταθμική μέθοδο, οι ρεολογικές ιδιότητες προσδιορίστηκαν με τη χρήση δυναμικού μηχανικού αναλυτή, η κατανομή μεγέθους σωματιδίων προσδιορίστηκε με τη χρήση αναλυτή σκέδασης φωτός και τέλος η μικροδομή παρατηρήθηκε με τη χρήση οπτικού μικροσκοπίου και συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης με ακτίνες laser.

## 4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 4.1. Πρώτες ύλες

Τα δείγματα κεφίρ παρασκευάστηκαν με τη χρήση εμπορικού παστεριωμένου και ομογενοποιημένου αγελαδινού γάλακτος λιποπεριεκτικότητας 1,5% και 3,5% που αγοράστηκε από αλυσίδα σούπερ μάρκετ και της κατεψυγμένης καλλιέργειας εκκίνησης κεφίρ XPL-2 (Chr. Hansen, Denmark). Προστέθηκε, επίσης, η προβιοτική καλλιέργεια *Bifidobacterium animalis subsp. lactis*, BB-12<sup>®</sup>, της ίδιας εταιρίας. Τα πρόσθετα που χρησιμοποιήθηκαν είναι αραβικό κόμμι (Gomma Arabica E414, Farmalabor, Italy), φρουκτο-ολιγοσκαχαρίτες (Orafti®P95, Beneo, Belgium), ινουλίνη (Orafti®HP, Beneo, Belgium) και κεφιράνη (η απομόνωση και ο καθαρισμός της οποίας πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Τεχνολογίας και Ελέγχου Ποιότητας Γάλακτος και Γαλακτοκομικών Προϊόντων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων του ΔΙ.ΠΑ.Ε). Τέλος, για την παρατήρηση της δομής των δειγμάτων στο συνεστιακό μικροσκόπιο σάρωσης με laser (CLSM) χρησιμοποιήθηκε υδατικό διάλυμα της χρωστικής Rodamine B συγκέντρωσης 0,1% (βάρος κατ' όγκο).

### 4.2. Παρασκευή δειγμάτων

#### 4.2.1. Παρασκευή δειγμάτων κεφίρ

##### Παρασκευή κεφίρ

Το γάλα υπέστη θερμική επεξεργασία στους 90°C για 5 min υπό συνεχή ανάδευση, κατόπιν ψύχθηκε άμεσα στους 30°C, η οποία είναι η θερμοκρασία επώασης και μεταφέρθηκε σε πλαστικό περιέκτη, στον οποίο πραγματοποιήθηκε η διαδικασία της επώασης. Μικρή ποσότητα γάλακτος μεταφέρθηκε σε γυάλινο περιέκτη για τη διαλυτοποίηση της απαιτούμενης, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, κατεψυγμένης καλλιέργειας εκκίνησης. Μετά την πλήρη διαλυτοποίηση της καλλιέργειας, το μίγμα μεταφέρθηκε στον πλαστικό περιέκτη και αναδεύτηκε επαρκώς ώστε να κατανεμηθεί ομοιόμορφα η καλλιέργεια εκκίνησης σε όλο τον όγκο του γάλακτος. Τέλος, ο πλαστικός περιέκτης με το εμβολιασμένο γάλα τοποθετήθηκε σε επωαστικό κλίβανο στους 30°C για να ξεκινήσει η διαδικασία της επώασης, η οποία ολοκληρώθηκε 19,5

h μετά, μόλις το pH έφτασε την τιμή 4,43. Η διαδικασία της παρασκευής του κεφίρ ολοκληρώθηκε με το σπάσιμο του πήγματος υπό εκτεταμένη ανάδευση.

Σε αυτό το στάδιο προστέθηκε η προβιοτική καλλιέργεια BB-12. Πιο συγκεκριμένα, μικρή ποσότητα από το παραχθέν κεφίρ χρησιμοποιήθηκε για τη διάλυση της BB-12 σε αποστειρωμένο γυάλινο περιέκτη. Κατόπιν, το μίγμα προστέθηκε στο υπόλοιπο κεφίρ και αναδεύτηκε για 2 min.

#### Παρασκευή τελικών δειγμάτων κεφίρ και κωδικοποίηση

Το κεφίρ μοιράστηκε ισομερώς σε 6 αποστειρωμένους γυάλινους περιέκτες, που κλείνουν αεροστεγώς. Τα τελικά δείγματα κεφίρ, τα οποία αναφέρονται ως νωπά δείγματα κεφίρ, ύστερα από την προσθήκη των προσθέτων είναι:

**CONTROL:** μάρτυρας

**TR:** παρέμεινε 4 ημέρες στο ψυγείο, μέχρι την περαιτέρω επεξεργασία του, με σκοπό να παραχθεί (πιθανόν) μεγαλύτερη ποσότητα κεφιράνης (δεν έγινε προσθήκη κάποιου προσθέτου)

**KEF:** προσθήκη κεφιράνης σε ποσοστό 0,8%

**GA:** προσθήκη αραβικού κόμμεος σε ποσοστό 1%

**IN:** προσθήκη ινουλίνης σε ποσοστό 2%\*

**FOS:** προσθήκη FOS σε ποσοστό 2%

Η απαιτούμενη ποσότητα των προσθέτων διαλύθηκε αρχικά, με τη βοήθεια μαγνήτη ανάδευσης, σε 200ml απεσταγμένου νερού, σε αποστειρωμένο γυάλινο ποτήρι ζέσεως, υπό θέρμανση στους 40°C σε επαγωγική εστία και έπειτα έγινε η προσθήκη του διαλύματος στο κεφίρ.

\*Όσον αφορά την ινουλίνη, δεν επετεύχθη πλήρης διαλυτοποίησή της, ακόμα και μετά την προσθήκη μεγαλύτερης ποσότητας νερού. Μικρά συσσωματώματα που παρέμειναν στον πάτο του ποτηριού ζέσεως, απομακρύνθηκαν.

Από τα τελικά δείγματα κεφίρ, τα οποία αναφέρονται στο κείμενο ως νωπά δείγματα κεφίρ, διαχωρίστηκε επαρκής ποσότητα για τον προσδιορισμό της υγρασίας και των ρεολογικών τους ιδιοτήτων και μετέπειτα ακολούθησε η διαδικασία της ξήρανσης.

#### **4.2.2. Παρασκευή δειγμάτων κεφίρ σε μορφή σκόνης**

##### **4.2.2.1. Ξήρανση με εκνέφωση**

Η ξήρανση με εκνέφωση του κάθε νωπού δείγματος (ύστερα από αραιώσή τους σε 2L απεσταγμένο νερό) πραγματοποιήθηκε σε 2 διαφορετικές θερμοκρασίες εισόδου, στους 140°C και στους 180°C, ενώ η θερμοκρασία εξόδου ήταν σταθερή στους 90°C. Ο ξηραντήρας εκνέφωσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο πιλοτικής κλίμακας NIRO Atomizer (NIRO, Denmark) με φυγοκεντρικό εκνεφωτή και σταθερή παροχή τροφοδοσίας αέρα ξήρανσης στα 400 Kg/h. Η θέρμανση του αέρα ξήρανσης στην επιθυμητή θερμοκρασία εισόδου γινόταν με φλόγα βουτανίου στον ειδικό καυστήρα του ξηραντήρα. Ο δευτερεύων διαχωρισμός πραγματοποιήθηκε με τη χρήση αεροκυκλώνα και οι ληφθείσες σκόνες συλλέχθηκαν, ζυγίστηκαν και τοποθετήθηκαν σε σακούλες, οι οποίες κλείστηκαν υπό κενό. Μετά το άνοιγμα, αποθηκεύτηκαν σε ξηραντήρα (με silica gel) σε θερμοκρασία δωματίου, με σκοπό την αποφυγή προσρόφησης υγρασίας από το περιβάλλον.

Τα δείγματα που ξηράνθηκαν στη χαμηλή θερμοκρασία, 140°C, κωδικοποιήθηκαν με το διακριτικό SDA, ως εξής:

**SDA CONTROL, SDA TR, SDA KEF, SDA GA, SDA IN και SDA FOS**

Ενώ για τα δείγματα που ξηράνθηκαν στους 180°C χρησιμοποιήθηκε το διακριτικό SDB, ως εξής:

**SDB CONTROL, SDB TR, SDB KEF, SDB GA, SDB IN και SDB FOS**

Συνολικά με τη μέθοδο ξήρανσης με εκνέφωση παράχθηκαν 6 SDA και 6 SDB δείγματα σκόνης.

#### **4.2.2.2. Λυοφιλίωση**

Ταυτόχρονα με τη χρήση του ξηραντήρα εκνέφωσης, επαρκής ποσότητα των 6 διαφορετικών δειγμάτων κεφίρ χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή σκόνης με λυοφιλίωση, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των ιδιοτήτων των δειγμάτων σκόνης που παρασκευάστηκαν με τις διαφορετικές μεθόδους ξήρανσης. Ο λυοφιλιωτής που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο MicroModulyo (Thermo Fisher Scientific, USA). Οι συνθήκες ξήρανσης ήταν οι εξής: κατάψυξη στους  $-25^{\circ}\text{C}$ , ξήρανση σε κενό 2.460 mbar ( $-12^{\circ}\text{C}$ ) και μέγιστη θερμοκρασία στο προϊόν  $25^{\circ}\text{C}$ . Η ξήρανση διήρκεσε 3 μέρες και στο τέλος πραγματοποιήθηκε κονιορτοποίηση των λυοφιλιωμένων δειγμάτων, με τη χρήση μίξερ. Τα τελικά δείγματα κωδικοποιήθηκαν ως εξής:

**FD CONTROL, FD TR, FD KEF, FD GA, FD IN και FD FOS**

#### **4.2.3. Ανασύσταση των δειγμάτων σκόνης**

Για την ανασύσταση των δειγμάτων σκόνης, χρησιμοποιήθηκαν 2g σκόνης από κάθε δείγμα και σύμφωνα με το ποσοστό υγρασίας των αντίστοιχων νωπών δειγμάτων κεφίρ, έγινε η κατάλληλη προσθήκη νερού, ώστε το ανασυσταμένο δείγμα να έχει το 100% της υγρασίας του νωπού δείγματος. Σε ποτηράκι ζέσεως ζυγίστηκε η απαιτούμενη ποσότητα νερού (απεσταγμένο νερό σε θερμοκρασία δωματίου) και κατόπιν προστέθηκαν σιγά σιγά τα 2g της σκόνης, υπό συνεχή ανάδευση με τη βοήθεια γυάλινης ράβδου.

### **4.3. Φυσικοχημικός έλεγχος**

#### **4.3.1. Προσδιορισμός υγρασίας**

Ο προσδιορισμός της υγρασίας των νωπών δειγμάτων και των δειγμάτων σκόνης πραγματοποιήθηκε με τη σταθμική μέθοδο, η οποία στηρίζεται στην ξήρανση του δείγματος στους  $102\pm 2^{\circ}\text{C}$ , μέχρι σταθερού βάρους. Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

Η κάψα που χρησιμοποιήθηκε για τη ζύγιση και τη ξήρανση των δειγμάτων σκόνης, τοποθετήθηκε σε κλίβανο στους  $102\pm 2^{\circ}\text{C}$  για 1 ώρα και στη συνέχεια μεταφέρθηκε σε ξηραντήρα (με silica gel). Μόλις απέκτησε θερμοκρασία δωματίου, ζυγίστηκε σε αναλυτικό ζυγό με ακρίβεια 1mg ( $\alpha_1$ , απόβαρο). Κατόπιν, ζυγίστηκε 1g δείγματος σκόνης ( $\alpha_2$  μικτό βάρος πριν την ξήρανση), επίσης με ακρίβεια 1 mg, και η κάψα με το δείγμα μεταφέρθηκε στον κλίβανο για ξήρανση στους  $102\pm 2^{\circ}\text{C}$  για 3 ώρες. Μετά την ξήρανση, ακολούθησε εκ νέου ψύξη στον ξηραντήρα και ζύγιση ( $\alpha_3$  μικτό μετά την ξήρανση). Η ξήρανση στον κλίβανο επαναλήφθηκε έως ότου η διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων να είναι μικρότερη του 1mg. Η τελική τιμή της υγρασίας ( $Y$ ) κάθε δείγματος λήφθηκε από το μέσο όρο δύο επιμέρους μετρήσεων, η διαφορά των οποίων δεν ξεπερνούσε το 0,5%. Σε περιπτώσεις που η διαφορά ήταν μεγαλύτερη του 0,5%, πραγματοποιήθηκε εκ νέου μέτρηση και λήφθηκε ο μέσος όρος των δύο μετρήσεων που συμμορφώνονταν με τον περιορισμό. Στην περίπτωση των νωπών δειγμάτων, στην κάψα προστέθηκε άμμος και μία γυάλινη ράβδος (η οποία χρησιμοποιήθηκε για την ανάμιξη του δείγματος με την άμμο) και ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία.

$$\text{Η υγρασία προσδιορίστηκε από τον τύπο } Y\% = \frac{\alpha_2 - \alpha_3}{\alpha_2 - \alpha_1}$$

#### **4.4. Μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς των δειγμάτων**

##### **4.4.1. Προσδιορισμός του φαινομενικού ιξώδους και του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς**

Για τον προσδιορισμό του ιξώδους των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε ο δυναμικός μηχανικός αναλυτής Bohlin C-VOR 150 (Malvern Instruments Ltd, Worcestershire, UK). Οι παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν το φαινομενικό ιξώδες ( $\eta_{\phi}$ ) και ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς ( $n$ ). Η διάταξη μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν κώνου-πλάκας, στην οποία ο κώνος σχημάτιζε γωνία  $4^{\circ}$ . Οι μετρήσεις έγιναν σε εύρος ταχύτητας διάτμησης  $0,01-60\text{s}^{-1}$  και το φαινομενικό ιξώδες παρουσιάζεται στα  $40\text{s}^{-1}$ , καθώς σε αυτή την ταχύτητα προσομοιάζεται η παραμόρφωση που υφίστανται παρόμοιας υφής προϊόντα κατά την κατάποση στο στόμα μας. Η

θερμοκρασία μέτρησης κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ήταν 4°C. Οι ρεολογικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν δυο φορές για κάθε δείγμα.

#### **4.5. Προσδιορισμός του μεγέθους σωματιδίων**

Ο προσδιορισμός της κατανομής του μεγέθους σωματιδίων των δειγμάτων σκόνης και των ανασυσταμένων δειγμάτων, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του αναλυτή σκέδασης φωτός Mastersizer 2000 (Malvern Instrument Ltd., UK). Η αρχή λειτουργίας του οργάνου βασίζεται στη σκέδαση του φωτός, όταν ακτίνες laser διέρχονται μέσα από τα σωματίδια, καθώς η γωνία εκτροπής και η ένταση της σκέδασης έχουν άμεση σχέση με το μέγεθος των σωματιδίων. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε μια προϋπάρχουσα, στο λογισμικό του οργάνου, πρότυπη μέθοδος λειτουργίας (SOP, Standard Operating Procedure), κατάλληλη για το είδος του προς μέτρηση δείγματος. Για τα δείγματα σκόνης χρησιμοποιήθηκε ο δειγματολήπτης Scirocco 2000, ενώ για τα ανασυσταμένα δείγματα ο δειγματολήπτης Hydro 2000.

#### **4.6. Παρατήρηση της δομής των δειγμάτων στο Συνεστιακό Μικροσκόπιο Σάρωσης με Ακτίνες Laser (CLSM)**

Η μελέτη της δομής των δειγμάτων σκόνης και των ανασυσταμένων δειγμάτων έγινε με τη βοήθεια του συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης με ακτίνες laser LSM 700 (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Germany).

Με τη βοήθεια σπάτουλας, μεταφέρθηκε μικρή ποσότητα δείγματος πάνω σε αντικειμενοφόρο πλάκα και κατόπιν προστέθηκε με τη βοήθεια πλαστικής πιπέτας Pasteur, 1 σταγόνα υδατικού διαλύματος Rodamine B, με σκοπό τη χρώση των πρωτεϊνών. Ύστερα από προσεκτική ανάμιξη, προστέθηκε καλυπτρίδα και η αντικειμενοφόρος πλάκα τοποθετήθηκε στην κατάλληλη υποδοχή του μικροσκοπίου για να ξεκινήσει η παρατήρηση της δομής. Ορισμένες εικόνες αποτυπώθηκαν στο οπτικό μικροσκόπιο, χωρίς τη χρήση φθορισμού. Στην περίπτωση αυτή, η προσθήκη της χρωστικής παραλήφθηκε. Για κάθε δείγμα αποτυπώθηκαν 2 εικόνες σε επίπεδο μεγέθυνσης x200.

#### 4.7. Στατιστική ανάλυση

Στα νωπά δείγματα κεφίρ εφαρμόστηκε Ανάλυση Διακύμανσης ενός επιλέξιμου παράγοντα (One-Way ANOVA): το είδος του δείγματος (CONTROL, TR, KEF, GA, IN, FOS). Στα δείγματα κεφίρ σε μορφή σκόνης και στα ανασυσταμένα δείγματα εφαρμόστηκε Ανάλυση Διακύμανσης δύο επιλέξιμων παραγόντων (Two-Way ANOVA): το είδος του δείγματος (CONTROL, TR, KEF, GA, IN, FOS) και το είδος ξήρανσης (SDA, SDB, FD). Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα της ANOVA εμφάνισαν στατιστική σημαντικότητα του μελετώμενου παράγοντα, εφαρμόστηκε ο έλεγχος των πολλαπλών συγκρίσεων του Tukey, ώστε να εντοπιστούν αυτές οι διαφορές (Πετρίδης, 2019). Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων έγινε με τη χρήση του προγράμματος Minitab 18.



## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 5.1. Προσδιορισμός της υγρασίας των δειγμάτων κεφίρ

#### 5.1.1. Προσδιορισμός της υγρασίας των νωπών δειγμάτων κεφίρ

Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των τιμών του % ποσοστού υγρασίας των δειγμάτων.

Πίνακας 5.1: Μέσοι όροι του % ποσοστού υγρασίας των νωπών δειγμάτων κεφίρ.

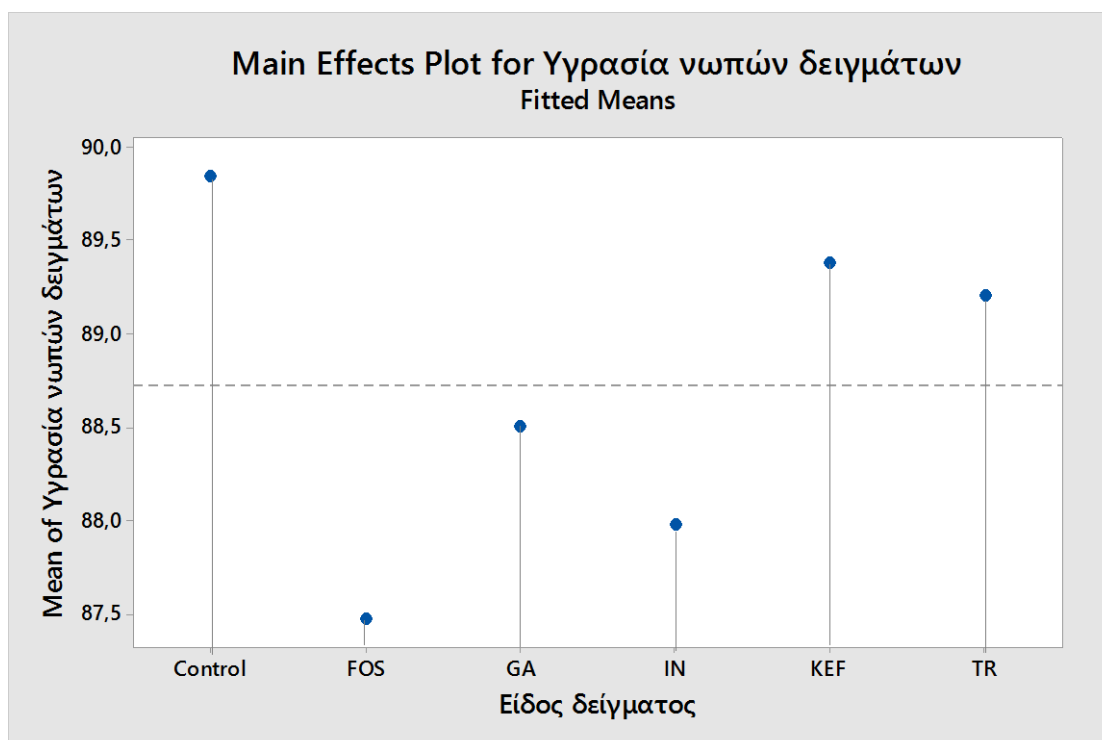
ΔΕΙΓΜΑ	ΥΓΡΑΣΙΑ %
CONTROL	89,84
KEF	89,38
TR	89,20
GA	88,50
IN	87,97
FOS	87,47

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ANOVA η υγρασία επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά από το είδος του δείγματος ( $p < 0,05$ ). Η κατάταξη των δειγμάτων κατά φθίνουσα σειρά σύμφωνα με τον Tukey είναι η εξής:

CONTROL KEF TR > GA IN FOS

Η αύξηση των ολικών στερών μέσω της προσθήκης των προσθέτων, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του ποσοστού υγρασίας των δειγμάτων αυτών σε σχέση με το CONTROL και η μείωση αυτή είναι μεγαλύτερη, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση των προσθέτων. Έτσι, στο Σχήμα 5.1 παρατηρείται ότι FOS και IN (προστέθηκαν σε συγκέντρωση 2%) έχουν τα χαμηλότερα ποσοστά υγρασίας, με το δείγμα IN να έχει ελαφρώς υψηλότερο ποσοστό υγρασίας (αν και μη στατιστικά σημαντικό) εξαιτίας της μεγαλύτερης ποσότητας νερού που χρησιμοποιήθηκε για τη διάλυσή της. Το δείγμα GA (προσθήκη σε ποσοστό 1%) αλληλεπικαλύπτεται με το δείγμα IN ενώ με αμέσως υψηλότερο ποσοστό υγρασίας ακολουθούν τα δείγματα KEF (προσθήκη σε ποσοστό

0,8%) και το TR, τα οποία επίσης αλληλεπικαλύπτονται. Τέλος, υπάρχει αλληλεπικάλυψη του δείγματος KEF με το CONTROL.



**Σχήμα 5.1:** Επίδραση του είδους του δείγματος στο % ποσοστό της υγρασίας των νωπών δειγμάτων κεφίρ.

### 5.1.2. Προσδιορισμός της υγρασίας των δειγμάτων κεφίρ σε μορφή σκόνης

Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των τιμών του % ποσοστού υγρασίας των δειγμάτων κεφίρ σε μορφή σκόνης.

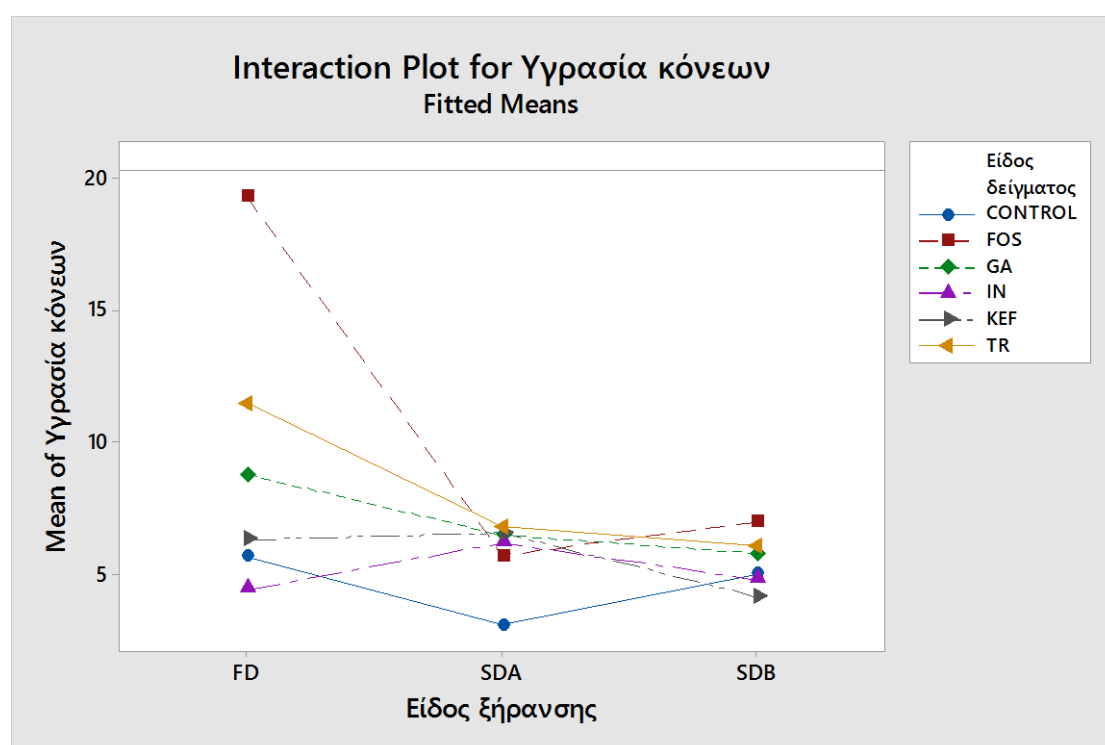
Πίνακας 5.2: Μέσοι όροι του % ποσοστού υγρασίας των δειγμάτων σκόνης.

<b>ΔΕΙΓΜΑ</b>	<b>ΥΓΡΑΣΙΑ %</b>
SDA CONTROL	3,06
SDB CONTROL	4,98
FD CONTROL	5,65
SDA KEF	6,56
SDB KEF	4,13
FD KEF	6,29
SDA TR	6,77
SDB TR	6,05
FD TR	11,47
SDA GA	6,48
SDB GA	5,78
FD GA	8,77
SDA IN	6,17
SDB IN	4,77
FD IN	4,40
SDA FOS	5,70
SDB FOS	6,97
FD FOS	19,33

Βάσει των αποτελεσμάτων της ANOVA, φαίνεται ότι το ποσοστό υγρασίας των δειγμάτων κεφίρ σε μορφή σκόνης επηρεάζεται στατιστικά σημαντικά και από τους 2 παράγοντες (είδος ξήρανσης και είδος δείγματος) αλλά και από την αλληλεπίδρασή τους ( $p < 0,05$ ). Τα ποσοστά υγρασίας των δειγμάτων σκόνης κυμαίνονται μεταξύ 4,13-6,97% εκτός από το SDA CONTROL το οποίο εμφανίζει τη χαμηλότερη τιμή υγρασίας με 3,06% και τα FD FOS, FD TR και FD GA, τα οποία εμφανίζουν πολύ υψηλότερες τιμές σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα και πιο συγκεκριμένα 19,33%, 11,47% και 8,77%, αντίστοιχα. Η πολύ υψηλή τιμή υγρασίας του FD FOS πιθανώς να οφείλεται στην υψηλή υγροσκοπικότητά του, γεγονός που μπορεί να αποτρέπει την απομάκρυνση του νερού στον ίδιο βαθμό με τα υπόλοιπα δείγματα κατά τη λυοφιλίωση. Σύμφωνα με τους Atalar & Dervisoglu (2015) η λυοφιλωμένη σκόνη κεφίρ εμφάνισε μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας σε σχέση με την αντίστοιχη σκόνη που παράχθηκε με ξήρανση με

εκνέφωση. Το ίδιο παρατηρήθηκε και σχεδόν σε όλα τα δείγματα του παρόντος πειράματος, εκτός από τα δείγματα στα οποία προστέθηκε ιουλίνη, καθώς το FD IN παρουσίασε μικρότερο ποσοστό υγρασίας σε σχέση με το αντίστοιχο SDA και σε αυτά στα οποία προστέθηκε κεφίρανη, καθώς το δείγμα FD KEF παρουσίασε μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας μόνο από το δείγμα SDB KEF.

Επίσης, σύμφωνα με το Σχήμα 5.2 και την κατάταξη των δειγμάτων με βάση τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων του Tukey, φαίνεται ότι τα δείγματα SDB KEF, SDB IN, SDB GA και SDB TR, εμφάνισαν χαμηλότερα επίπεδα υγρασίας σε σχέση με τα αντίστοιχα SDA και τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε συμφωνία με το συμπέρασμα πολλών ερευνητών ότι η αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου, οδηγεί σε μείωση του ποσοστού υγρασίας της σκόνης (Goula et al., 2004; Anandharamakrishnan & Ishwarya, 2015; Santhalakshmy et al., 2015; Dantas et al., 2018). Η πολύ χαμηλή τιμή του δείγματος SDA CONTROL πιθανώς να οφείλεται σε πειραματικό σφάλμα.



**Σχήμα 5.2:** Επίδραση του είδους του δείγματος και του είδους της ξήρανσης στο % ποσοστό υγρασίας των δειγμάτων σκόνης κεφίρ.

## 5.2. Ρεολογικές ιδιότητες των δειγμάτων κεφίρ

### 5.2.1. Προσδιορισμός του φαινομενικού ιξώδους και του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς των νωπών δειγμάτων κεφίρ

Στον Πίνακα 5.3 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των τιμών του φαινομενικού ιξώδους,  $\eta$ , και του συντελεστή ρεολογικής συμπεριφοράς,  $n$ , των νωπών δειγμάτων.

Πίνακας 5.3: Μέσοι όροι του φαινομενικού ιξώδους και του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς των νωπών δειγμάτων κεφίρ στα  $40s^{-1}$ .

ΔΕΙΓΜΑ	$\eta$ (Pa s)	$n$
CONTROL	1,013	0,483
KEF	1,061	0,689
TR	1,159	0,412
GA	0,949	0,702
IN	0,866	0,575
FOS	1,042	0,672

Ο έλεγχος της ANOVA έδειξε πως το είδος του δείγματος επηρεάζει στατιστικά σημαντικά το φαινομενικό ιξώδες ( $p < 0,05$ ). Σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων του Tukey, η κατάταξη των δειγμάτων κατά φθίνουσα σειρά έχει ως εξής:

$$TR > \underline{KEF \text{ FOS}} > CONTROL > GA > IN$$

Παρατηρούμε ότι η προσθήκη των FOS δεν επέφερε στατιστικά σημαντική διαφορά στο ιξώδες. Οι FOS, λόγω του χαμηλού βαθμού πολυμερισμού τους, δεν έχουν την ικανότητα να δρουν ως πηκτικό μέσο.

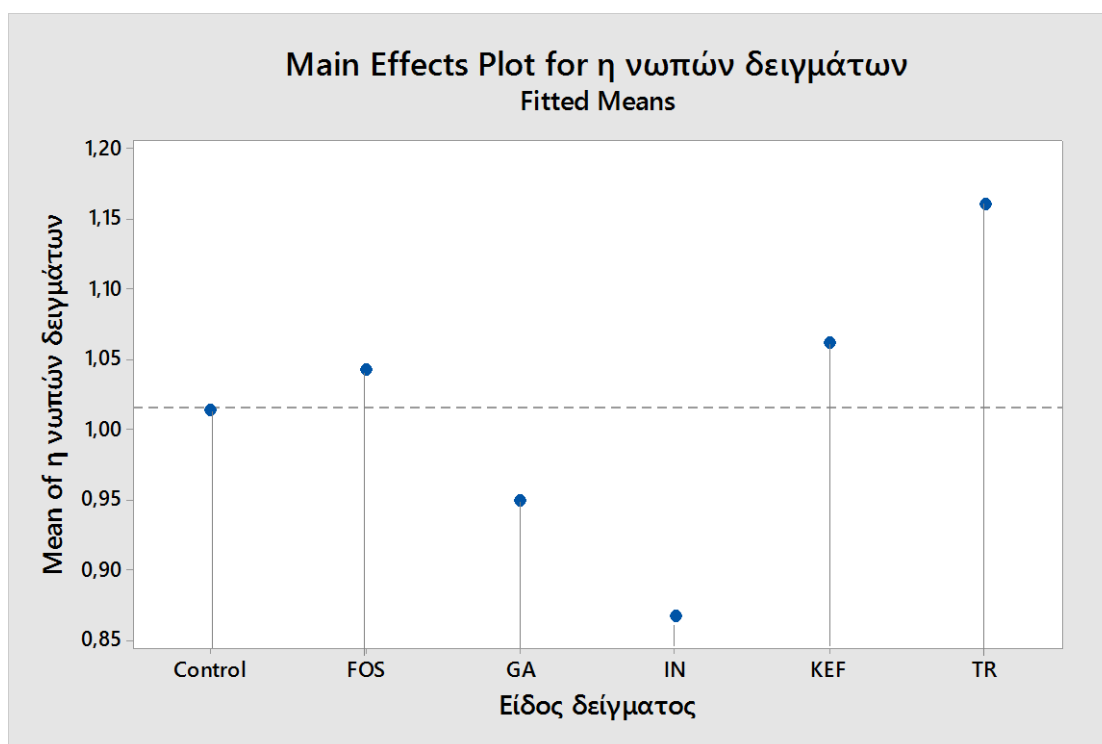
Το δείγμα KEF με την επιπρόσθετη ποσότητα κεφίρανης παρουσιάζει μεγαλύτερο ιξώδες σε σχέση με το CONTROL, γεγονός αναμενόμενο καθώς η κεφίρανη, ως εξωπολυσακχαρίτης, έχει την ικανότητα να δεσμεύει νερό και να αλληλεπιδρά με τις πρωτεΐνες, αυξάνοντας το ιξώδες (Rimada & Abraham, 2006; Dimitreli & Antoniou, 2011; Dimitreli et al., 2016).

Το δείγμα TR, το οποίο παρέμεινε 4 μέρες στο ψυγείο μέχρι την ανάλυσή του, έχει το μεγαλύτερο ιξώδες σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα. Η αύξηση του ιξώδους σε σχέση με το CONTROL οφείλεται στην παραγωγή επιπλέον ποσότητας κεφίρανης κατά την αποθήκευση.

Όσον αφορά το αραβικό κόμμι, δεν υπάρχει στη βιβλιογραφία κάποια έρευνα για την επίδρασή του σε κεφίρ, ωστόσο υπάρχουν αρκετές έρευνες προσθήκης του σε γιαούρτι όπως και στο ρόφημα ζυμωμένου γάλακτος Doogh. Σε όλες τις έρευνες (Jasim et al., 2018; Ghafarloo et al., 2020; Mugo et al., 2020; Ismaiel et al., 2022) η προσθήκη αραβικού κόμμιος σε ποσοστό έως 1% έγινε πριν την προσθήκη της καλλιέργειας και επέφερε αύξηση στο ιξώδες του τελικού προϊόντος. Τα δεδομένα αυτά έρχονται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος, καθώς σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ANOVA προκύπτει μια μικρή αλλά στατιστικώς σημαντική μείωση του φαινομενικού ιξώδους στο κεφίρ με προσθήκη αραβικού κόμμιος σε σχέση με το CONTROL. Ενδεχομένως, η προσθήκη του αραβικού κόμμιος μετά το πέρας της ζύμωσης και της παραλαβής του τελικού προϊόντος, σε αντίθεση με τις παραπάνω έρευνες, να είχε ως αποτέλεσμα τη μη ενσωμάτωσή του στο ήδη δημιουργηθέν δίκτυο και άρα την απλή διαλυτοποίησή του στη συνεχή φάση. Επιπλέον, ίσως στην περίπτωση του κεφίρ που το δίκτυο που σχηματίζεται είναι πιο ασθενές και λιγότερο συνεκτικό σε σχέση με το γιαούρτι, να χρειάζεται μεγαλύτερη συγκέντρωση του αραβικού κόμμιος για να αυξηθεί το ιξώδες.

Η ινουλίνη που χρησιμοποιήθηκε στο παρόν πείραμα έχει υψηλό βαθμό πολυμερισμού,  $\geq 23$ , και χρησιμοποιείται ευρέως ως υποκατάστατο λίπους, άρα αναμένεται αύξηση στο ιξώδες του κεφίρ. Η ικανότητα της ινουλίνης με μεγάλο βαθμό πολυμερισμού να δρα ως πηκτικός παράγοντας αυξάνοντας το ιξώδες σε ζυμωμένα προϊόντα γάλακτος, μπορεί να εξηγηθεί με διάφορους τρόπους. Είτε λόγω της ικανότητάς της να δεσμεύει νερό (Soukoulis et al., 2009), είτε λόγω σχηματισμού συσσωματωμάτων μικροκρυστάλλων, τα οποία έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν νερό (Gonzalez-Tomás et al., 2008), είτε αλληλεπιδρώντας με τις πρωτεΐνες, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της μοριακής μάζας και άρα αύξηση του ιξώδους (Schaller-Povolny & Smith., 2001) είτε αυξάνοντας τη συγκέντρωση των ολικών στερεών (Meyer et al., 2011). Σύμφωνα με τους Tratnik et al. (2006) και τους Glibowski & Kowalska (2012), η προσθήκη ινουλίνης πριν την παστερίωση σε

ποσοστό 2 και 4%, αντίστοιχα, οδηγεί σε αύξηση του ιξώδους σε δείγματα κεφίρ. Ωστόσο, η ANOVA δίνει αντίθετα αποτελέσματα σε σχέση με τη βιβλιογραφία, καθώς παρατηρείται μεγάλη μείωση του ιξώδους στο κεφίρ στο οποίο προστέθηκε ινουλίνη, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.3. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι δεν έγινε σωστή διαλυτοποίηση της ινουλίνης στο νερό, πριν την προσθήκη της στο κεφίρ. Η προσθήκη μεγαλύτερης ποσότητας νερού σε σχέση με τα υπόλοιπα πρόσθετα, δε συνέβαλε στην αποτελεσματική διάλυση της ινουλίνης, με αποτέλεσμα τα μικρά αδιάλυτα συσσωματώματα να αφαιρεθούν πριν την προσθήκη του διαλύματος ινουλίνης στο κεφίρ. Επίσης, όπως και στην περίπτωση του αραβικού κόμμεος, πιθανώς να επηρέασε το γεγονός ότι η προσθήκη της ινουλίνης δεν έγινε στο στάδιο της θερμικής επεξεργασίας, όπως στα προαναφερθέντα παραδείγματα της βιβλιογραφίας, αλλά στο τελικό προϊόν.



**Σχήμα 5.3:** Επίδραση του είδους του δείγματος στην τιμή του φαινομενικού ιξώδους,  $\eta$ , των νωπών δειγμάτων κεφίρ.

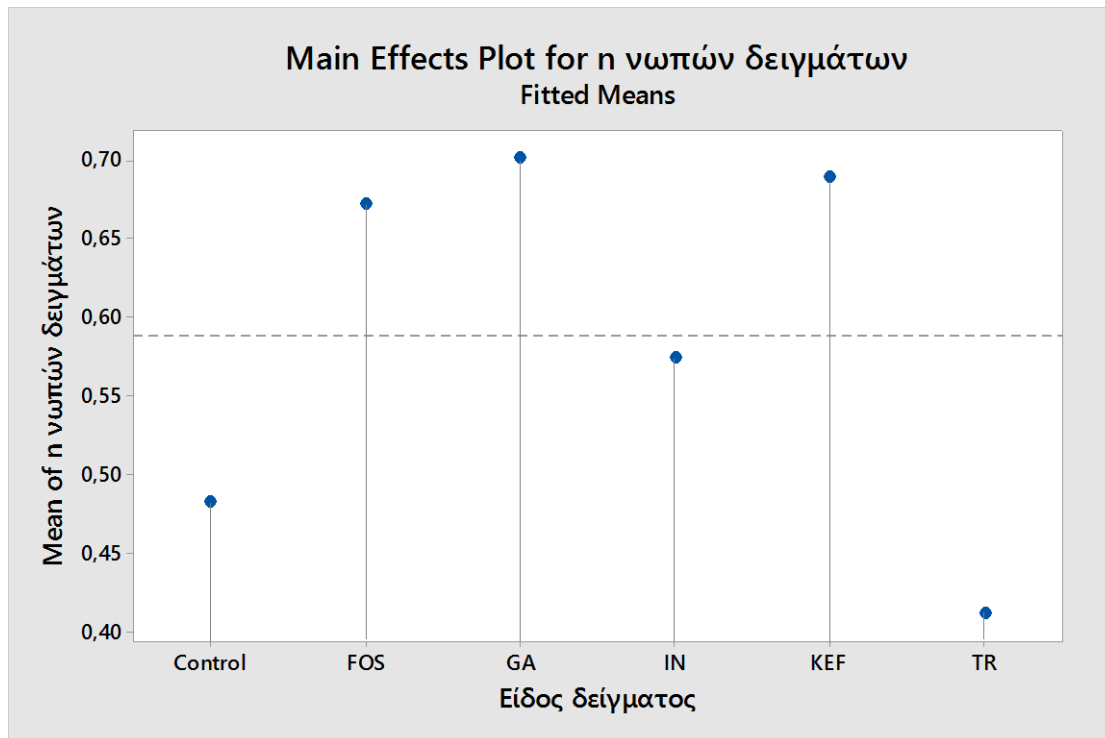
Από τις καμπύλες ροής των δειγμάτων, προέκυψαν οι τιμές του συντελεστή ρεολογικής συμπεριφοράς,  $n$ . Οι μέσοι όροι των τιμών αυτών παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3 παραπάνω. Σύμφωνα με την ANOVA και ο  $n$  επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά από το είδος του δείγματος ( $p < 0,05$ ). Η κατάταξη των δειγμάτων κατά

φθίνουσα σειρά σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων του Tukey είναι η εξής:

$$GA = KEF = FOS > IN > CONTROL > TR$$

Ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς αποτελεί μέτρο της νευτώνειας συμπεριφοράς των δειγμάτων. Παρατηρούμε ότι σε όλα τα δείγματα ο  $n$  είναι  $<1$  άρα τα δείγματα εμφανίζουν ψευδοπλαστική συμπεριφορά, δηλαδή με αύξηση της ταχύτητας διάτμησης, προκαλείται μείωση στο ιξώδες λόγω της καταστροφής της δομής του πλέγματος. Αυτή η ρεολογική συμπεριφορά είναι συνήθης σε ζυμωμένα προϊόντα γάλακτος λόγω των ασθενών δεσμών (Van der Waals, υδρόφοβοι, κολλοειδείς) και των ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων που αναπτύσσονται (Magenis et al., 2006; Ertekin & Guzel-Seydim, 2009). Παρατηρώντας το Σχήμα 5.4, η προσθήκη και των τεσσάρων προσθέτων στο κεφίρ είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς σε σχέση με το CONTROL, με την ινουλίνη να αυξάνει τον  $n$  λιγότερο σε σχέση με τα δείγματα GA, KEF και FOS. Αύξηση του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς σημαίνει μείωση της ψευδοπλαστικής συμπεριφοράς των δειγμάτων, η οποία είναι αποτέλεσμα της τάσης των μορίων να προσανατολίζονται στον κύριο άξονα της κατεύθυνσης της ροής. Πιθανώς, η αλληλεπίδραση των προσθέτων με τις πρωτεΐνες του πλέγματος να αύξησε τον υδροδυναμικό όγκο των σχηματιζόμενων συμπλόκων, με αποτέλεσμα αυτά να μην προσανατολίζονται εύκολα στην κατεύθυνση της ροής με την αύξηση της ταχύτητας διάτμησης, έχοντας ως συνέπεια τη μείωση της ψευδοπλαστικότητας. Μόνο το δείγμα TR εμφάνισε χαμηλότερο δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς σε σχέση με το CONTROL και άρα αυξημένη απόκλιση από τη νευτώνεια συμπεριφορά, ωστόσο η μεταβολή δεν μπορεί να εξηγηθεί.





Σχήμα 5.4: Επίδραση του είδους του δείγματος στην τιμή του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς,  $n$ , των νωπών δειγμάτων κεφίρ.

### 5.2.2. Προσδιορισμός του φαινομενικού ιξώδους και του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς των ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ

Στον Πίνακα 5.4 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των τιμών του φαινομενικού ιξώδους και του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς των ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ.

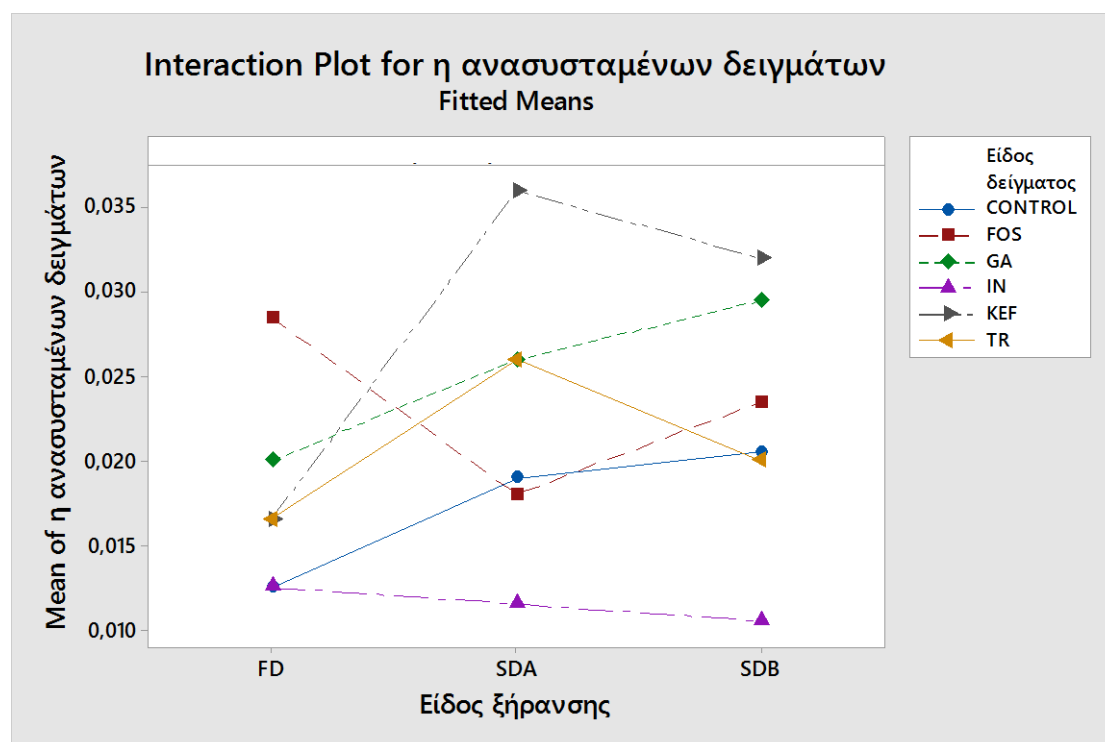
Πίνακας 5.4: Μέσοι όροι του φαινομενικού ιξώδους και του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς των ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ στα 40s<sup>-1</sup>.

<b>ΔΕΙΓΜΑ</b>	<b>η (Pa s)</b>	<b>n</b>
SDA CONTROL	0,019	0,918
SDB CONTROL	0,021	0,890
FD CONTROL	0,013	0,923
SDA KEF	0,036	0,958
SDB KEF	0,032	0,959
FD KEF	0,017	0,985
SDA TR	0,026	0,891
SDB TR	0,020	0,906
FD TR	0,017	0,995
SDA GA	0,026	0,920
SDB GA	0,030	0,989
FD GA	0,020	0,892
SDA IN	0,012	0,840
SDB IN	0,011	0,906
FD IN	0,013	0,927
SDA FOS	0,018	0,935
SDB FOS	0,024	0,893
FD FOS	0,029	0,888

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ANOVA, τόσο το είδος του δείγματος, όσο και το είδος της ξήρανσης αλλά και η αλληλεπίδρασή τους, επηρεάζουν στατιστικά σημαντικά το ιξώδες,  $\eta$ , των ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ ( $p < 0,05$ ).

Παρατηρείται πολύ μεγάλη μείωση του ιξώδους των ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ (0,011-0,036 Pa·s) σε σχέση με τα νωπά δείγματα (0,866-1,159 Pa·s), γεγονός που οφείλεται στην καταστροφή της δομής του δικτύου εξαιτίας της ξήρανσης. Στα ίδια συμπεράσματα καταλήγουν πολλοί ερευνητές όσον αφορά την ανασύσταση στην αρχική συγκέντρωση ξηρής ουσίας, σκόνης γιαουρτιού που παράχθηκε τόσο με λυοφιλίωση όσο και με ξήρανση με εκνέφωση (Ramírez-Figueroa et al., 2002; Kumar & Mishra, 2004; Venir et al., 2007; Rascón-Díaz, 2010; Sakin-Yilmazer et al., 2014)

Σύμφωνα με το Σχήμα 5.5, τα δείγματα στα οποία προστέθηκε ινουλίνη εμφανίζουν τις χαμηλότερες τιμές ιξώδους μετά την ανασύσταση και στα 3 επίπεδα της ξήρανσης, όπως συνέβη και στο νωπό δείγμα κεφίρ, ενώ το μεγαλύτερο ιξώδες εμφανίζουν τα ανασυσταμένα δείγματα SDA KEF, SDB KEF και SDB GA. Παρατηρείται ότι η ξήρανση με εκνέφωση οδηγεί σε αυξημένο ιξώδες σε σχέση με τη λυοφιλίωση στα δείγματα στα οποία προστέθηκε κεφιράνη. Αυξημένο ιξώδες παρουσιάζει και το δείγμα FD FOS, η σκόνη του οποίου είχε πολύ υψηλό ποσοστό υγρασίας, πιθανώς λόγω καλύτερης επανενυδάτωσης. Επίσης, το FD FOS είναι το μόνο λυοφιλιωμένο δείγμα το οποίο εμφανίζει μεγαλύτερο ιξώδες σε σχέση με τα αντίστοιχα δείγματα που παράχθηκαν με ξήρανση με εκνέφωση.

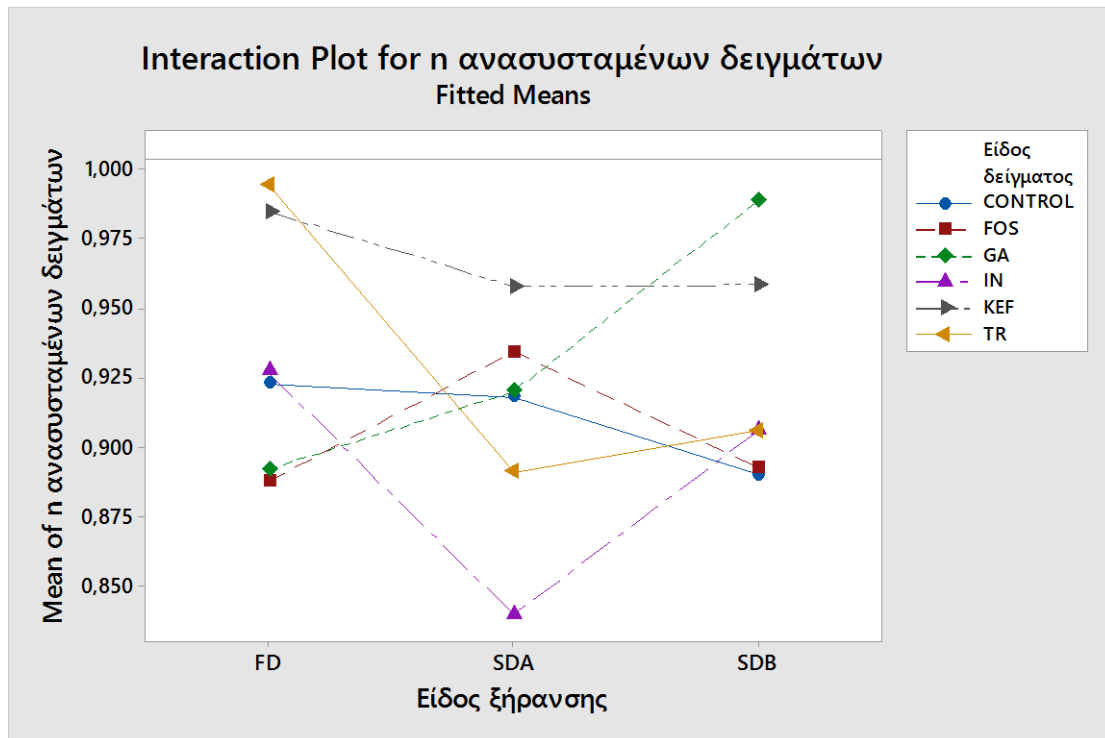


**Σχήμα 5.5:** Επίδραση του είδους του δείγματος και του είδους της ξήρανσης στο φαινομενικό ιξώδες,  $\eta$ , των ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ.

Τα αποτελέσματα της ANOVA δείχνουν ότι και ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς,  $n$ , των ανασυσταμένων δειγμάτων επηρεάζεται στατιστικά σημαντικά από τους 2 παράγοντες αλλά και από την αλληλεπίδρασή τους ( $p < 0,05$ ).

Μεγάλη αύξηση στο δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς και άρα μείωση της ψευδοπλαστικής συμπεριφοράς, παρουσιάζουν όλα τα ανασυσταμένα δείγματα (0,840-0,995) σε σχέση με τα αρχικά (0,412-0,702). Αντίστοιχη μείωση της

ψευδοπλαστικότητας ανασυσταμένου γιαουρτιού σε σχέση με το νωπό, παρατήρησαν οι Sakin-Yilmazer et al. (2014). Στο διάγραμμα αλληλεπίδρασης του Σχήματος 5.6 φαίνεται ότι τα δείγματα FD TR, FD KEF και SDB GA προσομοιάζουν τη συμπεριφορά των νευτώνειων ρευστών, καθώς ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς τους είναι σχεδόν 1. Επίσης, εκτός από το λυοφιλιωμένο δείγμα της κεφιράνης, υψηλό δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς παρουσιάζουν και τα δείγματα SDA και SDB KEF, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι η κεφιράνη αυξάνει το δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς και στα τρία επίπεδα της ξήρανσης. Αντίθετα, περισσότερο ψευδοπλαστική συμπεριφορά σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα παρουσιάζει το SDA IN, ωστόσο η μεταβολή αυτή δεν μπορεί να εξηγηθεί. Συμπερασματικά, αν εξαιρεθεί το δείγμα SDA IN, το εύρος των τιμών του  $n$  είναι μικρό (0,888-0,995) και δεν διαφαίνεται κάποιο συγκεκριμένο μοτίβο στο Σχήμα 5.6. Θα μπορούσε μόνο να προστεθεί στις προηγούμενες παρατηρήσεις ότι η ξήρανση με εκνέφωση οδηγεί σε μικρότερο δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς και στα δύο επίπεδα του δείγματος TR σε σχέση με το αντίστοιχο FD, ενώ αντίθετο αποτέλεσμα φαίνεται να συμβαίνει στα δείγματα στα οποία έχει προστεθεί αραβικό κόμμι, με το SDB GA να εμφανίζει μεγαλύτερο  $n$  σε σχέση με το αντίστοιχο FD GA. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων δυσχεραίνεται λόγω της έλλειψης δεδομένων στη βιβλιογραφία.



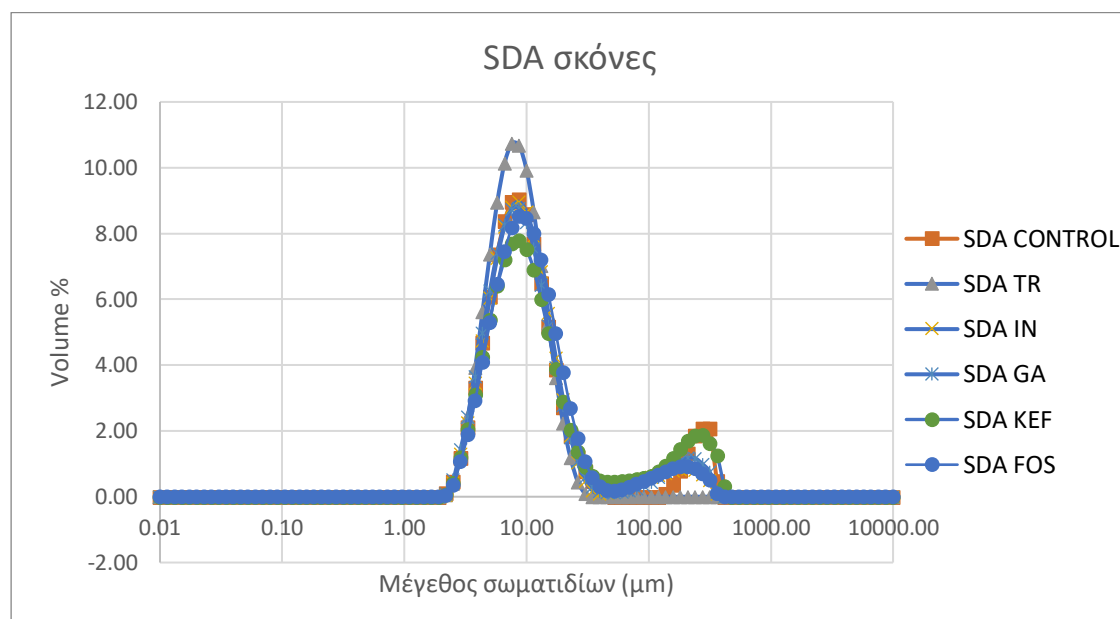
Σχήμα 5.6: Επίδραση του είδους του δείγματος και του είδους της ξήρασης στο δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς,  $n$ , των ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ.

### 5.3. Προσδιορισμός του μεγέθους σωματιδίων των δειγμάτων κεφίρ

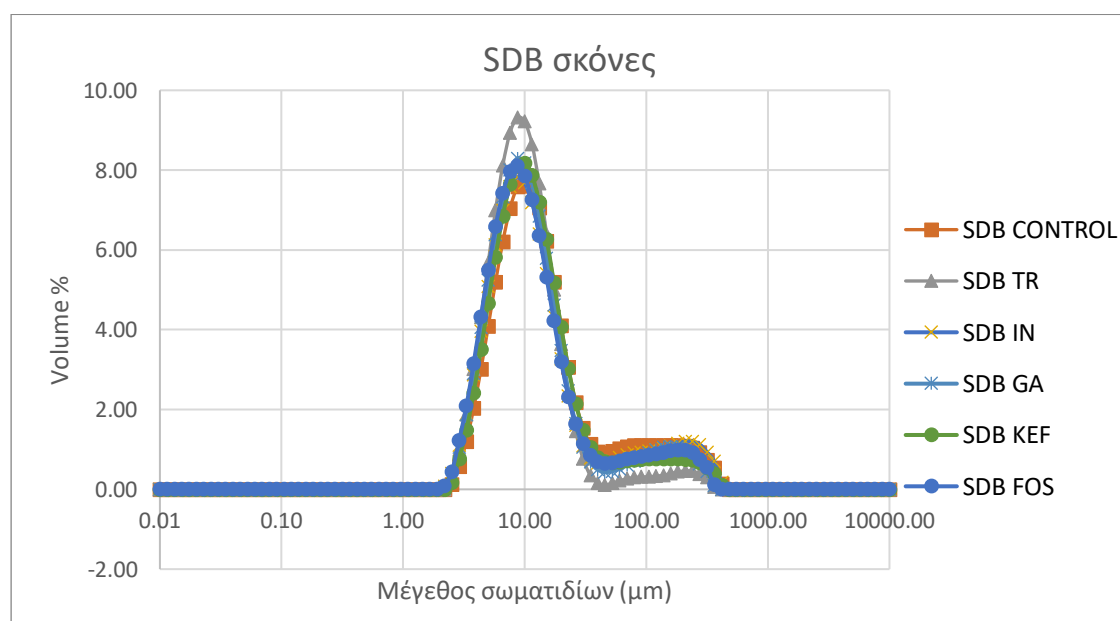
#### 5.3.1. Προσδιορισμός του μεγέθους σωματιδίων των δειγμάτων κεφίρ σε μορφή σκόνης

Το μέγεθος σωματιδίων των δειγμάτων προσδιορίστηκε μόνο για τα δείγματα σκόνης που προέκυψαν από ξήραση με εκνέφωση και όχι για τα λυοφιλωμένα. Στα Σχήματα 5.7 και 5.8 παρουσιάζονται τα διαγράμματα κατανομής μεγέθους σωματιδίων για τις SDA και τις SDB σκόνες, αντίστοιχα. Και τα 2 διαγράμματα εμφανίζουν παρόμοιες κατανομές τόσο μεταξύ τους όσο και μεταξύ των διαφορετικών δειγμάτων του κάθε διαγράμματος. Παρατηρούνται λεπτόκυρτες, σχεδόν μονοδιάστατες κατανομές, με κορυφή περίπου στα 10 $\mu$ m αλλά και με ένα μικρό ποσοστό σωματιδίων μεγαλύτερου μεγέθους. Στις SDB σκόνες η κατανομή των μεγαλύτερων σωματιδίων είναι πιο διευρυμένη σε σχέση με τις SDA σκόνες και ξεκινάει ακριβώς από το τελείωμα της κύριας καμπύλης. Επίσης, το δείγμα TR εμφανίζει ελαφρώς υψηλότερο ποσοστό στην κορυφή σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα και στα δύο γραφήματα, ενώ

το SDA TR είναι το μόνο δείγμα που παρουσιάζει μία μοναδική κορυφή, χωρίς την εμφάνιση μεγαλύτερου μεγέθους σωματιδίων.



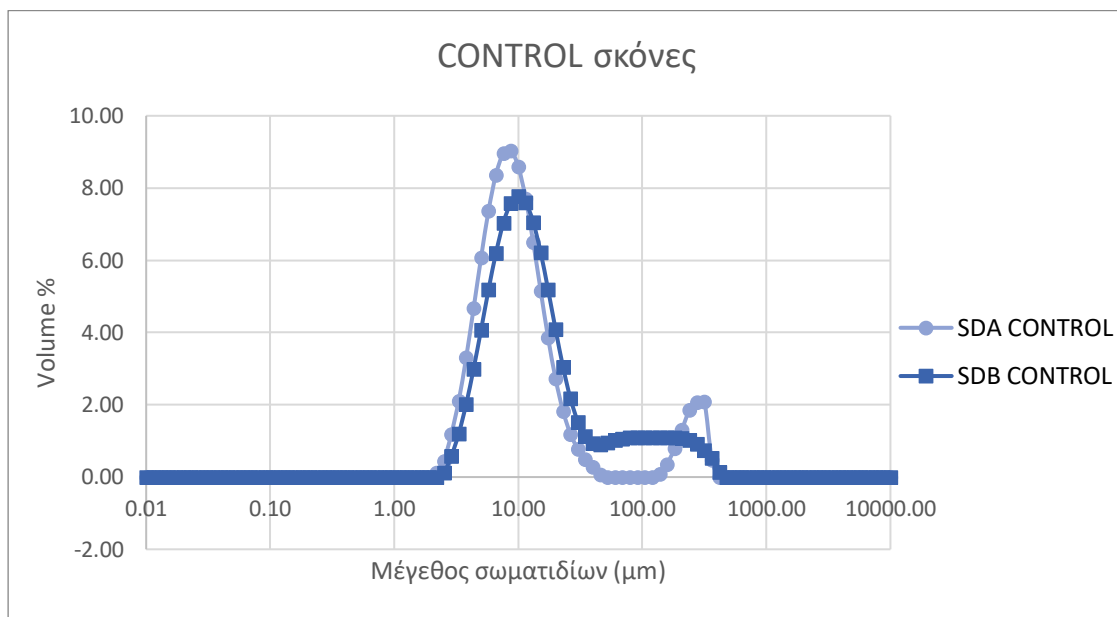
Σχήμα 5.7: Διάγραμμα κατανομής μεγέθους σωματιδίων των δειγμάτων σκόνης SDA.



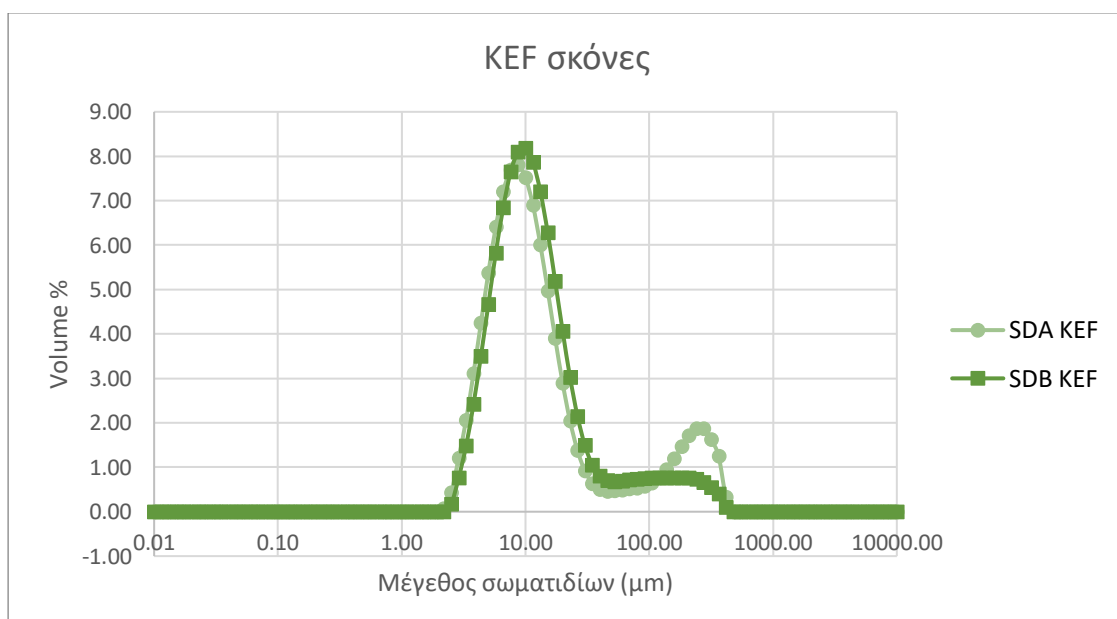
Σχήμα 5.8: Διάγραμμα κατανομής μεγέθους σωματιδίων των δειγμάτων σκόνης SDB.

Οι σκόνες CONTROL και KEF είναι οι μόνες που εμφανίζουν μικρές διαφορές στις κατανομές μεταξύ των SDA και SDB δειγμάτων τους (Σχήμα 5.9 και 5.10). Επίσης, μόνο στα SDA CONTROL και SDA KEF είναι εμφανής μια 2<sup>η</sup> διακριτή

κορυφή που αγγίζει περίπου το 2%. Στα υπόλοιπα δείγματα οι κατανομές SDA και SDB είναι σχεδόν ταυτόσημες.



Σχήμα 5.9: Διάγραμμα κατανομής μεγέθους σωματιδίων των δειγμάτων σκόνης CONTROL.



Σχήμα 5.10: Διάγραμμα κατανομής μεγέθους σωματιδίων των δειγμάτων σκόνης KEF.

Βάσει των ανωτέρω, συμπεραίνεται ότι ούτε η διαφορετική σύσταση των δειγμάτων λόγω των προσθέτων αλλά ούτε και η θερμοκρασία εισόδου επηρεάζει το μέγεθος των σωματιδίων και πιθανώς οι κατανομές να είναι αποτέλεσμα της μεθόδου ξήρανσης, των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν (ρυθμός παροχής, ιξώδες,

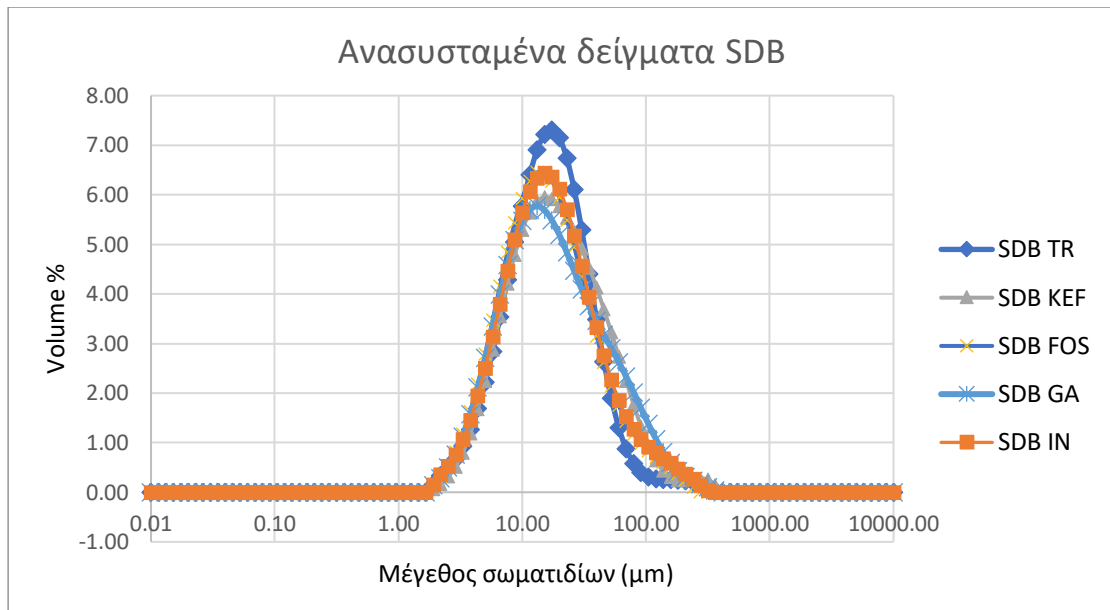
πυκνότητα και επιφανειακή τάση του υγρού τροφοδοσίας, ταχύτητα περιστροφής και διάμετρος του τροχού του φυγοκεντρικού εκνεφωτή, διάταξη του ξηραντήρα) και της φύσης του δείγματος (κεφίρ).

### **5.3.2. Προσδιορισμός μεγέθους σωματιδίων των ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ**

Όσον αφορά τα ανασυσταμένα δείγματα, στο Σχήμα 5.11 παρουσιάζονται ενδεικτικά αποτελέσματα ανασυσταμένων SDB δειγμάτων, ενώ για τα SDA ανασυσταμένα δείγματα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μόνο στα SDA GA και SDA IN, οι καμπύλες των οποίων δεν εμφάνισαν καμία διαφορά μεταξύ τους. Στο Σχήμα 5.12 παρουσιάζονται συγκριτικά οι καμπύλες για τα ανασυσταμένα δείγματα SDA GA, SDB GA και τα SDA IN και SDB IN.

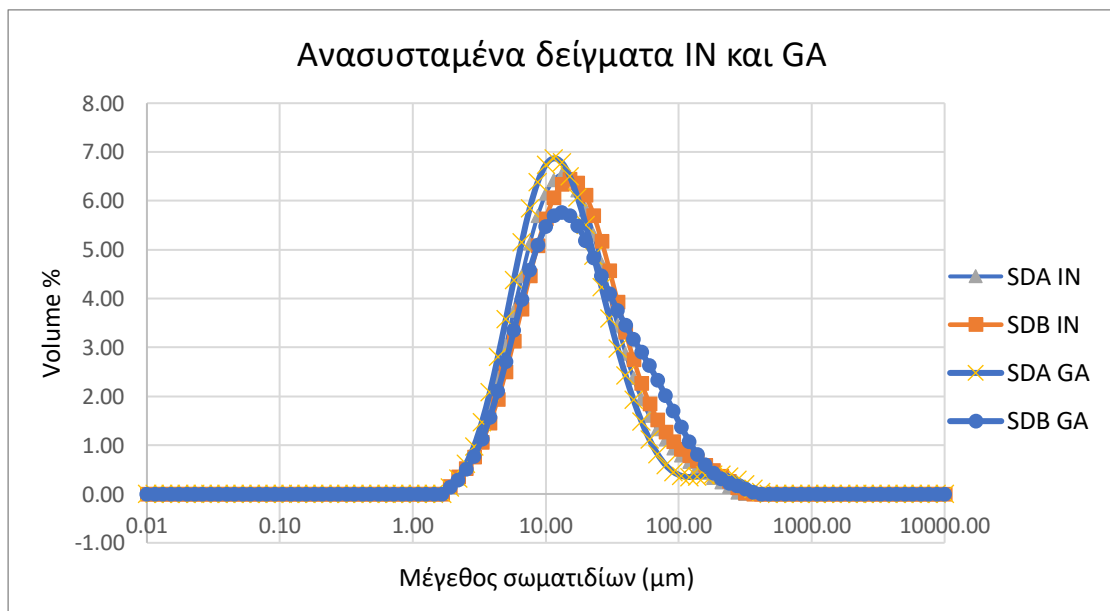
Στο Σχήμα 5.11 οι καμπύλες είναι σχεδόν ταυτόσημες, με μία μοναδική κορυφή ελαφρώς πάνω από τα 10 $\mu\text{m}$ , με το SDB TR να εμφανίζει κορυφή σε ελαφρώς υψηλότερο ποσοστό σε σχέση με τα υπόλοιπα, όπως συνέβη και στις σκόνες. Έτσι, συμπεραίνεται ότι ούτε στα ανασυσταμένα δείγματα επηρεάζεται το μέγεθος των σωματιδίων από τη σύσταση των δειγμάτων. Συγκριτικά με τις σκόνες, οι κατανομές εμφανίζονται παρόμοιες αλλά πιο μεσόκυρτες, ενώ η απουσία σωματιδίων μεγαλύτερου μεγέθους έρχεται σε αντίθεση με τις εικόνες που αποτυπώθηκαν στο μικροσκόπιο (βλ. 5.4.2.), καθώς στις εικόνες είναι εμφανής η παρουσία τόσο μικρότερου όσο και μεγαλύτερου μεγέθους σωματιδίων (όπως και στις σκόνες). Αυτή η απουσία μεγαλύτερων σωματιδίων δεν μπορεί να εξηγηθεί ικανοποιητικά. Πιθανώς να οφείλεται στην αραιώση των δειγμάτων κατά την ανασύσταση, με αποτέλεσμα το ήδη μικρό ποσοστό των μεγαλύτερων σωματιδίων, να μειώνεται ακόμα περισσότερο και να μην αντιπροσωπεύεται κατά την δειγματοληψία ή μπορεί ακόμα να οφείλεται στην ευαισθησία του οργάνου (Mastersizer).





**Σχήμα 5.11:** Διάγραμμα κατανομής μεγέθους σωματιδίων ορισμένων ανασυσταμένων δειγμάτων SDB.

Οι συγκριτικές κατανομές που παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.12 εμφανίζουν αμελητέες διαφορές, γεγονός που επιβεβαιώνει ότι ούτε η σύσταση των δειγμάτων αλλά ούτε και η θερμοκρασία εισόδου κατά τη ξήρανση, επηρέασαν το μέγεθος των σωματιδίων των ανασυσταμένων δειγμάτων.

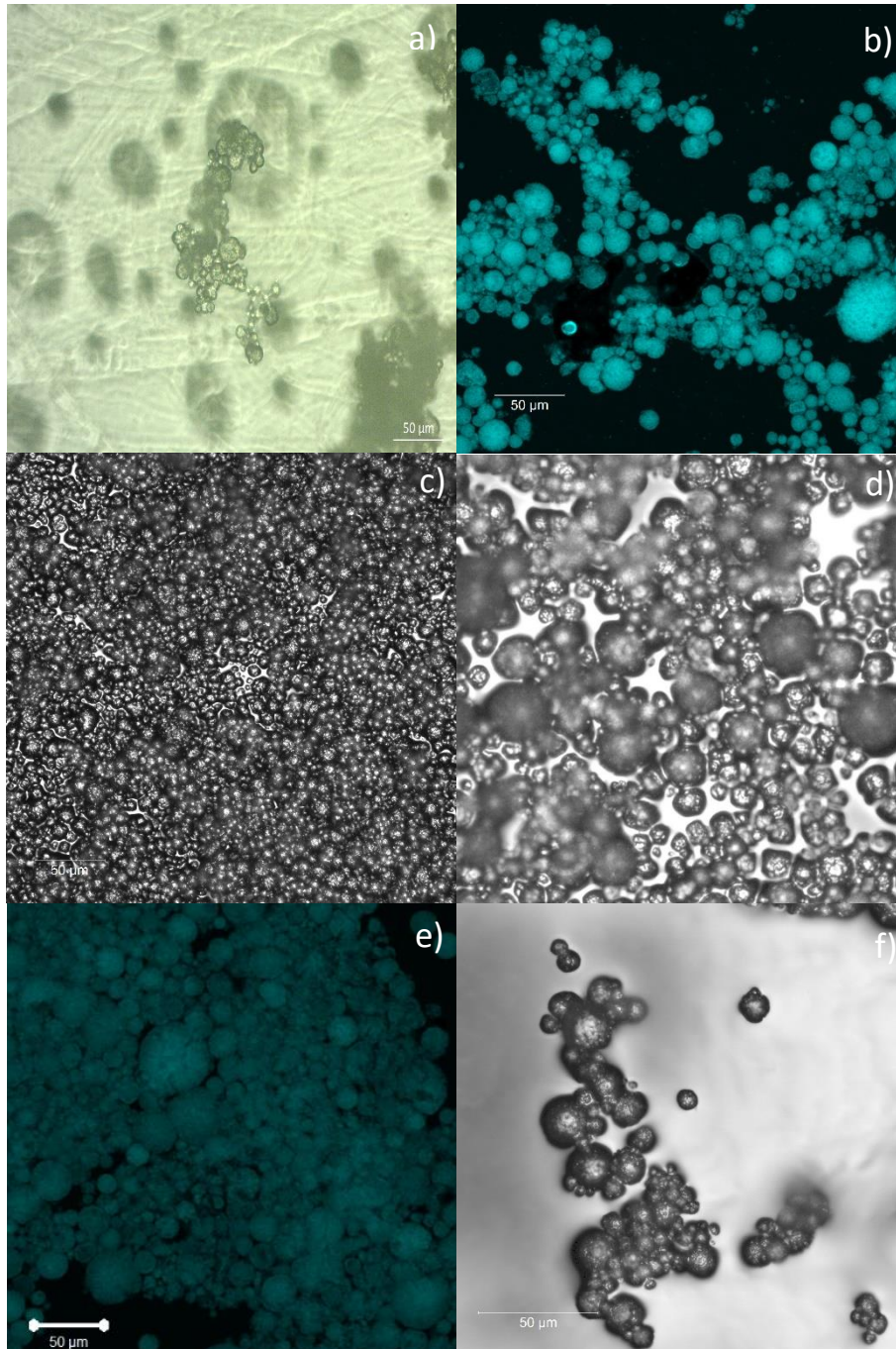


**Σχήμα 5.12:** Διάγραμμα κατανομής μεγέθους σωματιδίων ανασυσταμένων δειγμάτων IN και GA.

## **5.4. Σχολιασμός της δομής των δειγμάτων κεφίρ**

### **5.4.1. Σχολιασμός της δομής των δειγμάτων κεφίρ σε μορφή σκόνης**

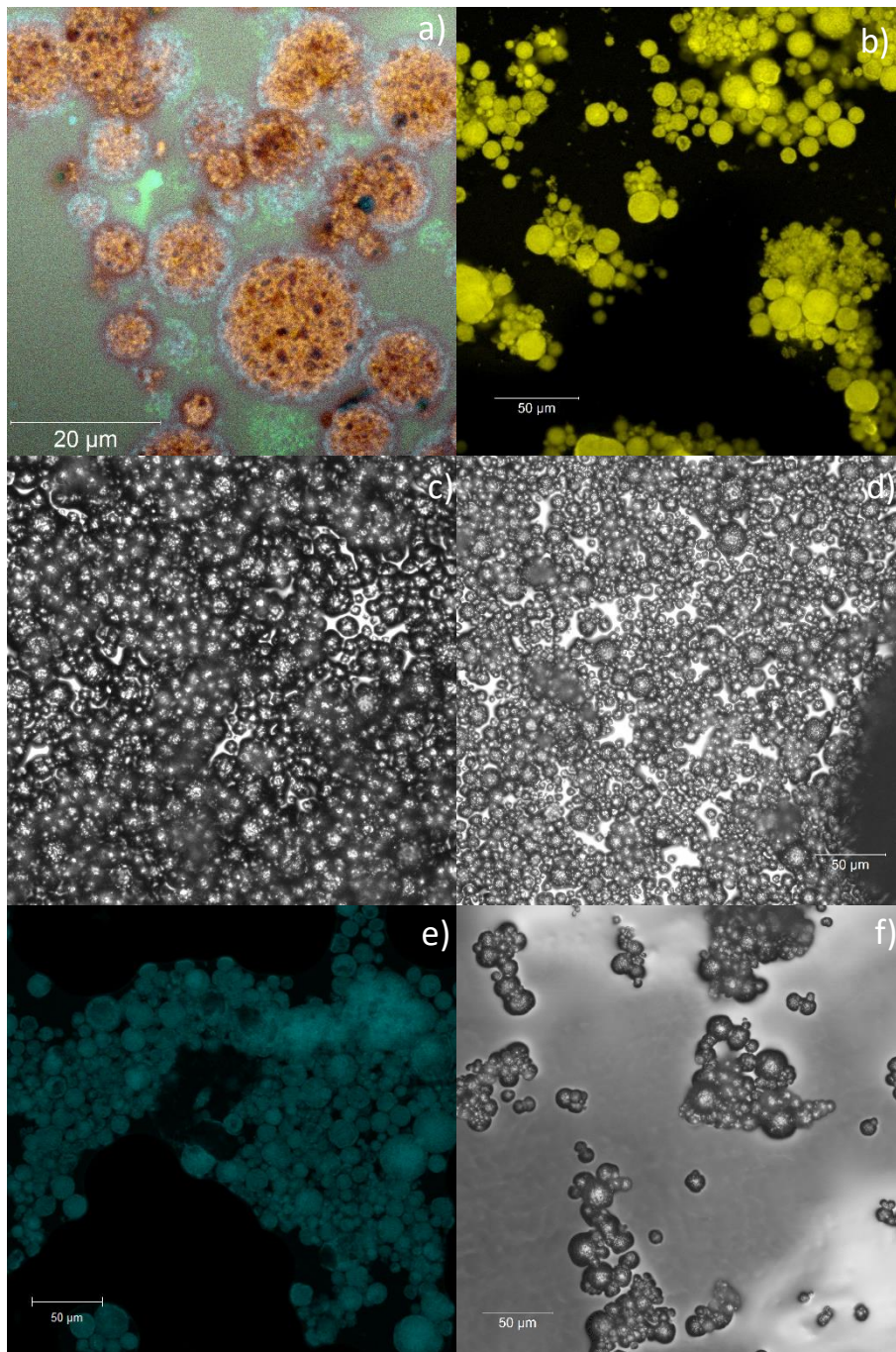
Στο Σχήμα 5.13 παρουσιάζεται η δομή των SDA δειγμάτων σκόνης, ύστερα από παρατήρησή τους στο οπτικό και στο συνεστιακό μικροσκόπιο σάρωσης (CLSM). Παρατηρούνται σφαιρικά σωματίδια μικρότερου και μεγαλύτερου μεγέθους με πορώδη επιφάνεια. Σύμφωνα με τους Hall & Hedrick (1975) και τους Ishwarya & Anandharamakrishnan (2017) σκόνες σφαιρικού μεγέθους παράγονται κατά την ξήρανση με εκνέφωση γαλακτοκομικών προϊόντων, γεγονός που έρχεται σε συμφωνία με τις ληφθείσες εικόνες του παρόντος πειράματος. Στα δείγματα SDA CONTROL (πιθανώς λόγω λήψης της εικόνας) και SDA TR παρατηρείται η απουσία μεγαλύτερου μεγέθους σωματιδίων. Για το SDA TR αυτό επιβεβαιώνεται και από το γράφημα κατανομής μεγέθους σωματιδίων (Σχήμα 5.7), καθώς είναι το μόνο δείγμα που εμφανίζει μία μοναδική κορυφή, χωρίς την ύπαρξη μεγαλύτερου μεγέθους σωματιδίων.



**Σχήμα 5.13:** Δομή των SDA δειγμάτων σκόνης κεφίρ, όπου a) SDA CONTROL, b) SDA GA, c) SDA TR, d) SDA KEF, e) SDA IN, f) SDA FOS. Η αποτύπωση της εικόνας a) έγινε με τη χρήση του οπτικού μικροσκοπίου, ενώ των υπολοίπων εικόνων έγινε με τη βοήθεια του συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης. Σε όλα τα δείγματα χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 50μm.

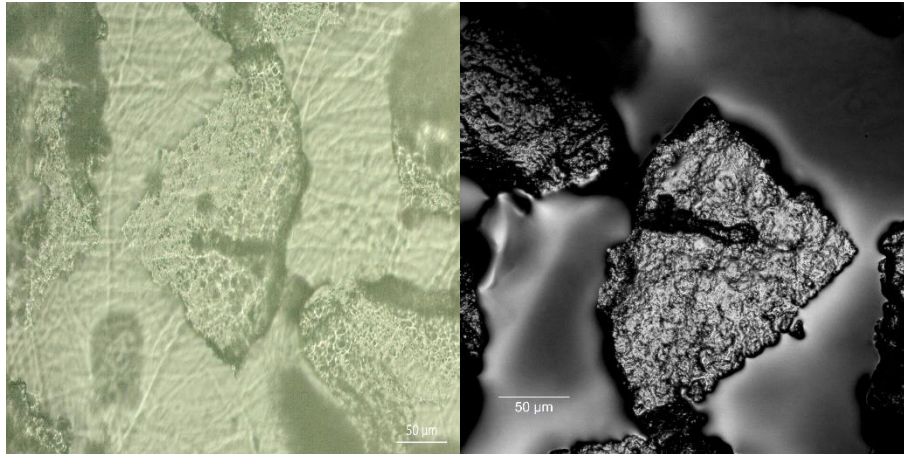
Στο Σχήμα 5.14 παρουσιάζεται η δομή των SDB δειγμάτων σκόνης, τα οποία εμφανίζουν παρόμοια μορφολογία και μέγεθος με τις SDA σκόνες. Μόνο το δείγμα SDB KEF (εικόνα d) φαίνεται να εμφανίζει σωματίδια μικρότερου μεγέθους σε σχέση με το αντίστοιχο SDA δείγμα, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από το γράφημα κατανομής μεγέθους σωματιδίων του Σχήματος 5.10.





**Σχήμα 5.14:** Δομή των SDB δειγμάτων σκόνης κεφίρ με τη χρήση του συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης, όπου a) SDB CONTROL, b) SDB GA, c) SDB TR, d) SDB KEF, e) SDB IN, f) SDB FOS. Σε όλα τα δείγματα χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 50μm, εκτός από την εικόνα a) όπου χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 20μm.

Στο Σχήμα 5.15 αποτυπώθηκαν ενδεικτικά εικόνες από τα δείγματα σκόνης FD CONTROL και FD TR. Παρατηρούνται σωματίδια σκόνης ακανόνιστου σχήματος και ανομοιόμορφης επιφάνειας, ως αποτέλεσμα της κονιορτοποίησης της σκόνης στο τέλος της διαδικασίας της λυοφιλίωσης .

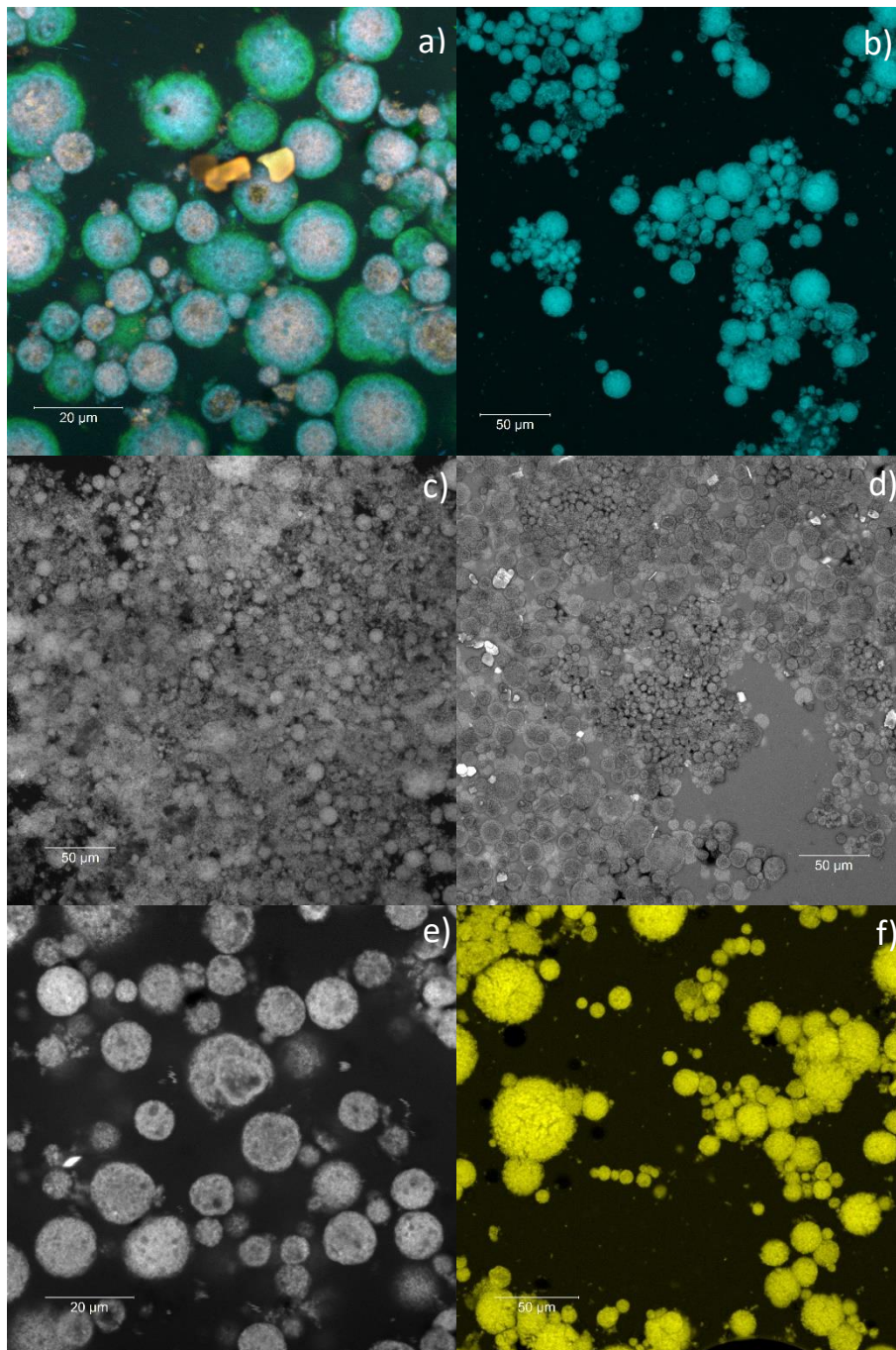


**Σχήμα 5.15:** Δομή του δείγματος σκόνης FD CONTROL (αριστερά) με τη χρήση του οπτικού μικροσκοπίου και του FD TR (δεξιά) με τη χρήση του συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης, σε κλίμακα 50μm.

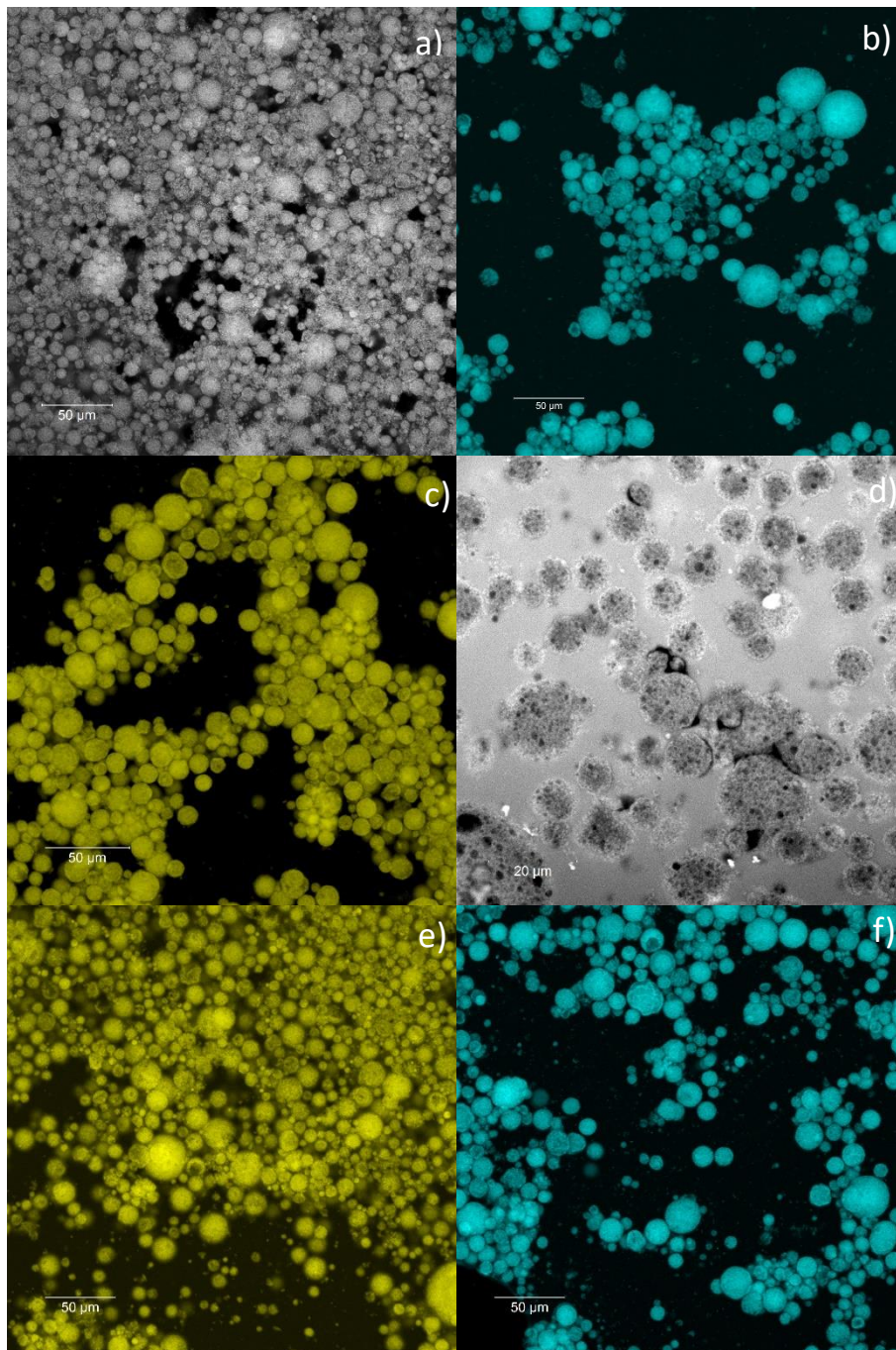
#### **5.4.2. Σχολιασμός της δομής των ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ**

Στο Σχήμα 5.16 και 5.17 παρουσιάζεται η δομή των SDA και SDB ανασυσταμένων δειγμάτων, αντίστοιχα. Και στα δύο Σχήματα, οι εικόνες είναι όμοιες με τις εικόνες που παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.13 και 5.14 για τις SDA και SDB σκόνες, αντίστοιχα. Άρα, συμπεραίνεται ότι η μορφολογία των σωματιδίων των κόνεων, δεν επηρεάστηκε από την ανασύσταση.





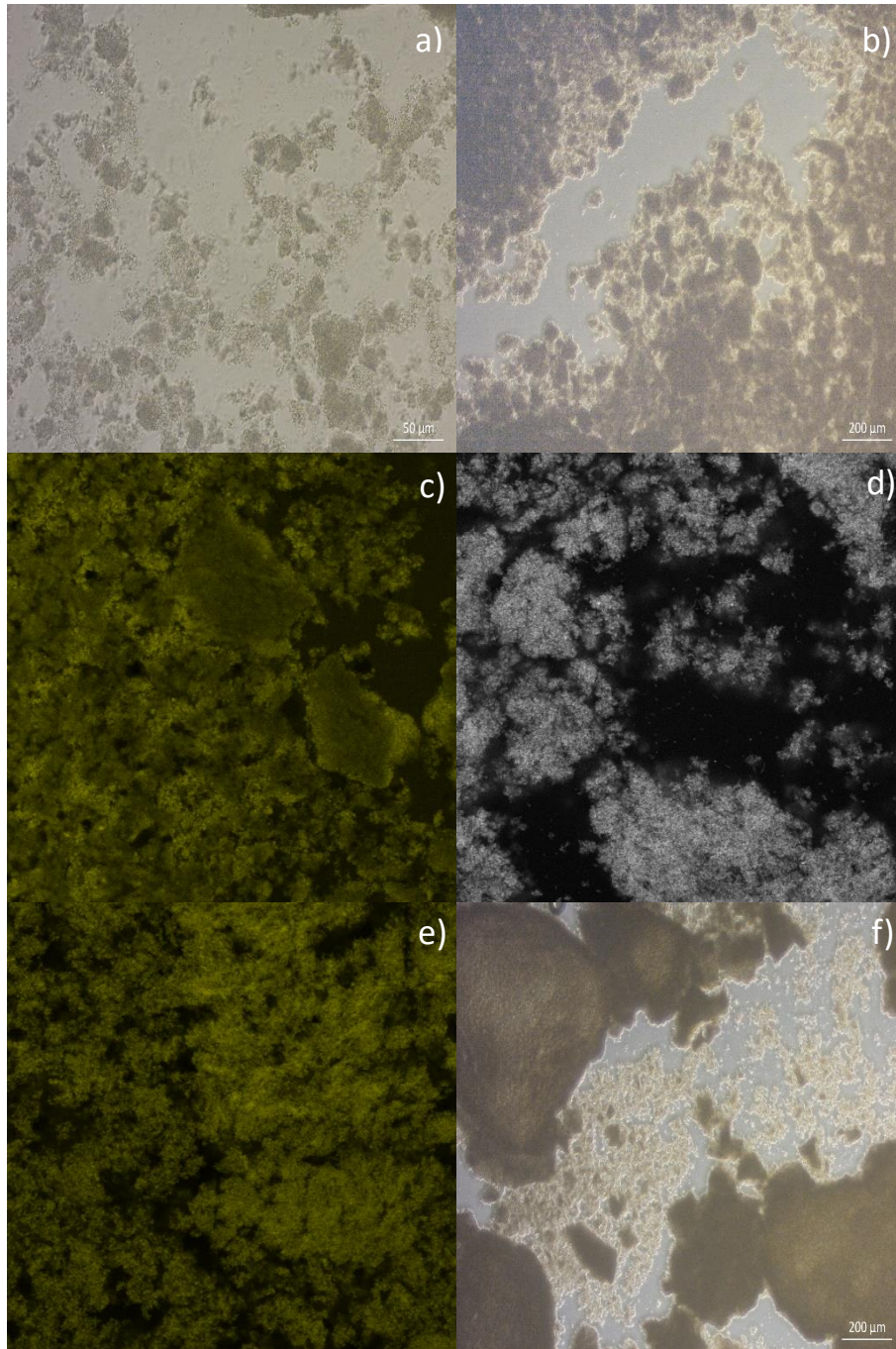
**Σχήμα 5.16:** Δομή των SDA ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ με τη χρήση του συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης, όπου a) SDA CONTROL, b) SDA GA, c) SDA TR, d) SDA KEF, e) SDA IN, f) SDA FOS. Σε όλα τα δείγματα χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 50μm, εκτός από τις εικόνες a) και e), όπου χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 20μm.



**Σχήμα 5.17:** Δομή των SDB ανασυσταμένων δειγμάτων κερί με τη χρήση του συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης, όπου a) SDA CONTROL, b) SDA GA, c) SDA TR, d) SDA KEF, e) SDA IN, f) SDA FOS. Σε όλα τα δείγματα χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 50μm, εκτός από την εικόνα d), όπου χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 20μm.

Στο Σχήμα 5.18 παρουσιάζεται η δομή των FD ανασυσταμένων δειγμάτων. Παρατηρείται παρόμοια μορφολογία με τις εικόνες των δειγμάτων σκόνης του Σχήματος 5.15, άρα συμπεραίνεται ότι ούτε στα λυοφιλωμένα δείγματα η μορφολογία των σωματιδίων επηρεάζεται από την ανασύσταση.





**Σχήμα 5.18:** Δομή των FD ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ, όπου a) FD CONTROL, b) FD GA, c) FD TR, d) FD KEF, e) FD IN, f) FD FOS. Η αποτύπωση των εικόνων a), b) και f) έγινε με τη χρήση του οπτικού μικροσκοπίου, ενώ των υπολοίπων δειγμάτων έγινε με τη βοήθεια του συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης. Σε όλα τα δείγματα χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 50μm, εκτός από τις εικόνες b) και f), όπου χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 200μm.



## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αύξηση των ολικών στερών στα νωπά δείγματα, εξαιτίας της προσθήκης των διαφορετικών ουσιών, είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του ποσοστού υγρασίας των δειγμάτων αυτών σε σχέση με το CONTROL και η μείωση αυτή ήταν μεγαλύτερη, όσο αυξανόταν η συγκέντρωση των παραγόντων ξήρανσης.

Τα λυοφιλωμένα δείγματα εμφάνισαν μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας σε σχέση με τα SDA και SDB δείγματα, εκτός από το FD IN, το οποίο παρουσίασε μικρότερο ποσοστό υγρασίας σε σχέση με το αντίστοιχο SDA και από το FD KEF, το οποίο παρουσίασε μεγαλύτερη υγρασία μόνο από το αντίστοιχο SDB δείγμα.

Τα δείγματα SDB KEF, SDB IN, SDB GA και SDB TR, εμφάνισαν χαμηλότερα επίπεδα υγρασίας σε σχέση με τα αντίστοιχα SDA.

Όσον αφορά το φαινομενικό ιξώδες των νωπών δειγμάτων, τα δείγματα TR και KEF εμφάνισαν αυξημένο ιξώδες σε σχέση με το CONTROL. Αντίθετα, χαμηλότερο ιξώδες εμφάνισαν τα δείγματα GA και IN.

Παρατηρήθηκε πολύ μεγάλη μείωση του ιξώδους των ανασυσταμένων δειγμάτων κεφίρ (0,011-0,036 Pa·s) σε σχέση με τα νωπά δείγματα (0,866-1,159 Pa·s), λόγω της καταστροφής της δομής του δικτύου εξαιτίας της ξήρανσης.

Όλα τα νωπά δείγματα εμφάνισαν ψευδοπλαστική συμπεριφορά, καθώς ο δείκτης ρεολογικής τους συμπεριφοράς ήταν  $<1$ . Τα δείγματα με τα πρόσθετα, αύξησαν τον  $n$  σε σχέση με το CONTROL, μειώνοντας έτσι την ψευδοπλαστική συμπεριφορά, σε αντίθεση με το TR που τον μείωσε.

Μεγάλη αύξηση στο δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς και άρα μείωση της ψευδοπλαστικής συμπεριφοράς, παρουσίασαν όλα τα ανασυσταμένα δείγματα (0,840-0,995) σε σχέση με τα αρχικά (0,412-0,702).

Η ξήρανση με εκνέφωση και στις 2 θερμοκρασίες παρήγαγε σκόνες μικρού μεγέθους σωματιδίων, με κορυφή περίπου στα 10 $\mu$ m, με ένα μικρό ποσοστό σωματιδίων μεγαλύτερου μεγέθους να είναι, επίσης, παρόν.

Τα ανασυσταμένα SDA και SDB δείγματα εμφάνισαν μία μοναδική κορυφή ελαφρώς πάνω από τα 10 $\mu$ m.

Η διαφορετική σύσταση των δειγμάτων λόγω των προσθέτων και οι διαφορετικές θερμοκρασίες εισόδου, δεν επηρέασαν το μέγεθος των σωματιδίων των κόνεων και των ανασυσταμένων δειγμάτων.

Η παρατήρηση της δομής των δειγμάτων με τη χρήση του συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης έδειξε ότι οι σκόνες που παράχθηκαν με ξήρανση με εκνέφωση (τόσο οι SDA όσο και οι SDB σκόνες) εμφάνισαν σφαιρικό σχήμα, με πορώδη επιφάνεια. Παρόντα σε όλα τα δείγματα ήταν σωματίδια μικρότερου και μεγαλύτερου μεγέθους, εκτός από το δείγμα SDA TR το οποίο παρουσίασε ομοιομορφία στο μέγεθος των σωματιδίων (επιβεβαιώθηκε και από την μονοδιάστατη κατανομή μεγέθους του).

Τα σωματίδια σκόνης των λυοφιλωμένων δειγμάτων εμφάνισαν ακανόνιστο σχήμα και ανομοιόμορφη επιφάνεια, ως αποτέλεσμα της κονιορτοποίησης της σκόνης στο τέλος της διαδικασίας της λυοφιλίωσης .

Η ανασύσταση τόσο των SDA και SDB δειγμάτων, όσο και των λυοφιλωμένων δειγμάτων, δεν επηρέασε τη μορφολογία των σωματιδίων των κόνεων.

## 7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Οι ελλειπείς έρευνες στη βιβλιογραφία σχετικά με την παραγωγή κεφίρ σε μορφή σκόνης με τη μέθοδο της ξήρανσης με εκνέφωσης και της λυοφιλίωσης, σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα της χρήσης σκόνης κεφίρ, θα μπορούσαν να αποτελέσουν εφιαλτήριο για μια πληθώρα διεξοδικών πειραμάτων που αφορούν τη δομή, τις φυσικοχημικές, μικροβιολογικές και οργανοληπτικές ιδιότητες αλλά και τις ιδιότητες ανασύστασης των δειγμάτων σκόνης. Μεταξύ των δύο μεθόδων, η ξήρανση με εκνέφωση θεωρείται προτιμητέα, λόγω της ταχείας διαπεραίωσης της ξήρανσης και του χαμηλού κόστους και προτείνεται οι μελλοντικές έρευνες να στηριχτούν σε αυτή. Τα προτεινόμενα πειράματα μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Μελέτη των φυσικοχημικών ιδιοτήτων της σκόνης κατά την αποθήκευση (pH, ενεργότητα νερού, δείκτης διαλυτότητας και αδιάλυτο περιεχόμενο μέρος, διαβρεξιμότητα, δείκτης διασποράς, χύδη και στοιβαχτή πυκνότητα, ισόθερμες προσρόφησης υγρασίας, χρώμα βάσει του χρωματικού μοντέλου CIELab κλπ).
- Οργανοληπτικός έλεγχος με σκοπό να αξιολογηθεί η αρέσκεια και άλλες οργανοληπτικές ιδιότητες (ιξώδες, υφή, χρώμα κλπ) του ανασυσταμένου κεφίρ σε σχέση με το νωπό.
- Παρατήρηση της μικροδομής των δειγμάτων σκόνης και ανασυσταμένων δειγμάτων με τη χρήση SEM.
- Μικροβιολογικός έλεγχος για τον προσδιορισμό της βιωσιμότητας των οξυγαλακτικών βακτηρίων και των ζυμών μετά την ξήρανση με εκνέφωση και κατά την αποθήκευση της σκόνης.
- Ξήρανση με εκνέφωση σε διαφορετικές θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου και με τη χρήση διαφόρων προστατευτικών μέσων, όπως τρεχαλόζη, σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος, μαλτοδεξτρίνη, τροποποιημένο άμυλο, κλπ) με σκοπό την αύξηση της βιωσιμότητας των μικροοργανισμών (κυρίως των θερμοευαίσθητων ζυμών).

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ξένη βιβλιογραφία:

- Abadias, M., Teixidó, N., Usall, J., Solsona, C., & Viñas, I. (2005). Survival of the postharvest biocontrol yeast *Candida sake* CPA-1 after dehydration by spray-drying. *Biocontrol Science and Technology*, 15(8), 835–846
- Abed, S.M., Ali, A.H., Noman, A., Niazi, S., Ammar, A., Bakry, A. (2016). Inulin as prebiotics and its applications in food industry and human health; a review, *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 5 pp. 88-97
- Abraham, A. G., & Gl, D. A. (1999). Characterization of kefir grains grown in cows' milk and in soya milk. *Journal of Dairy Research*, 66(2), 327–333.
- Adsare, S. R., & Annapure, U. S. (2021). Microencapsulation of curcumin using coconut milk whey and Gum Arabic. *Journal of Food Engineering*, 298, 110502.
- Aguirre-Alonso, R., Morales-Guillermo, M., Salgado-Cervantes, M., Robles-Olvera, V., García-Alvarado, M., & Rodríguez-Jimenes, G. (2019). Effect of process variables of spray drying employing heat pump and nitrogen on aromatic compound yield in powders obtained from vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) ethanolic extract. *Drying Technology*.
- Ahmed, Z., Wang, Y., Ahmad, A., Khan, S. T., Nisa, M., Ahmad, H., & Afreen, A. (2013). Kefir and Health: a Contemporary perspective. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(5), 422–434.
- Altay, F., Karbancioglu-Guler, F., Daskaya-Dikmen, C., & Heperkan, D. (2013). A review on traditional Turkish fermented non-alcoholic beverages: Microbiota, fermentation process and quality characteristics. *International Journal of Food Microbiology*, 167(1), 44–56.
- Alves, E., Ntungwe, E., Gregório, J., Rodrigues, L. M., Pereira-Leite, C., Caleja, C., Pereira, E., Barros, L., Aguilar-Vilas, M. V., Rosado, C., & Rijo, P. (2021).

- Characterization of kefir produced in household conditions: physicochemical and nutritional profile, and storage stability. *Foods*, 10(5), 1057.
- Anandharamakrishnan, C., & Ishwarya, S. P. (2015). Introduction to spray drying. In *John Wiley & Sons, Ltd eBooks*, pp. 1-36
- Arslan, S. (2014). A review: chemical, microbiological and nutritional characteristics of kefir. *Cyta-journal of Food*, 13(3), 340–345.
- Atalar, I., & Dervisoglu, M. (2015). Optimization of spray drying process parameters for kefir powder using response surface methodology. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 60(2), 751–757.
- Bengoa, A. A., Iraporda, C., Garrote, G. L., & Abraham, A. G. (2018). Kefir microorganisms: their role in grain assembly and health properties of fermented milk. *Journal of Applied Microbiology*, 126(3), 686–700.
- Berk, Z. (2018). Chapter 23 - Freeze drying (lyophilization) and freeze concentration - Food Process Engineering and Technology. *Food Science and Technology*, pp. 567-581.
- Beshkova, D., Simova, E., Simov, Z., Frengova, G. I., & Spasov, Z. (2002). Pure cultures for making kefir. *Food Microbiology*, 19(5), 537–544.
- BETE (2005). Spray Dry Manual, BETE Fog Nozzle, Inc.
- Blandón, L. M., Nosedá, M. D., Islan, G. A., Castro, G. R., De Melo Pereira, G. V., Soccol, V. T., & Soccol, C. R. (2018). Optimization of culture conditions for kefir production in whey: The structural and biocidal properties of the resulting polysaccharide. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 16, 14–21.
- Bhushani, A., & Anandharamakrishnan, C., (2017). Handbook of Drying for Dairy products. In *John Wiley & Sons, Ltd eBooks*, pp. 95-117.
- Boeckner, L. S., Schnepf, M., & Tunland, B. (2001). Inulin: A review of nutritional and health implications. In *Elsevier eBooks* (pp. 1–63).

- Bosscher, D., Van Caillie-Bertrand, M., Van Cauwenbergh, R., & Deelstra, H. (2003). Availabilities of calcium, iron, and zinc from dairy infant formulas is affected by soluble dietary fibers and modified starch fractions. *Nutrition*, *19*(7–8), 641–645.
- Bosscher, D., Van Loo, J., & Franck, A. (2006). Inulin and oligofructose as prebiotics in the prevention of intestinal infections and diseases. *Nutrition Research Reviews*, *19*(2), 216–226.
- Bot, A., Erle, U., Vreeker, R., & Agterof, W. (2004). Influence of crystallisation conditions on the large deformation rheology of inulin gels. *Food Hydrocolloids*, *18*(4), 547–556.
- Bottazzi, V., & Bianchi, F. (1980). A Note on Scanning Electron Microscopy of Micro-organisms associated with the Kefir Granule. *Journal of Applied Bacteriology*, *48*(2), 265–268.
- Bourrie, B. C. T., Willing, B. P., & Cotter, P. D. (2016). The microbiota and health promoting characteristics of the fermented beverage kefir. *Frontiers in Microbiology*, *7*.
- Burnside, E. (2014). Hydrocolloids and gums as encapsulating agents. In *Elsevier eBooks* (pp. 241–252).
- Cameron, P. (1997). *Good Pharmaceutical Freeze-Drying Practice*, Interpharm Press, Inc., Buffalo Grove, USA.
- Çevikbaş, A., Yemni, E., Ezzedenn, F. W., Yardimici, T., Cevikbas, U., & Stohs, S. J. (1994). Antitumoural antibacterial and antifungal activities of kefir and kefir grain. *Phytotherapy Research*, *8*(2), 78–82.
- Cheirsilp, B., & Radchabut, S. (2011). Use of whey lactose from dairy industry for economical kefir production by *Lactobacillus kefirifaciens* in mixed cultures with yeasts. *New Biotechnology*, *28*(6), 574–580.
- Cheirsilp, B., Shimizu, H., & Shioya, S. (2003). Enhanced kefir production by mixed culture of and. *Journal of Biotechnology*, *100*(1), 43–53.

- Chen, Z., Shi, J., Yang, X., Nan, B., Liu, Y., & Wang, Z. (2015). Chemical and physical characteristics and antioxidant activities of the exopolysaccharide produced by Tibetan kefir grains during milk fermentation. *International Dairy Journal*, *43*, 15–21.
- Dailin, D. J., Elsayed, E. A., Othman, N., Malek, R. A., Phin, H. S., Aziz, R., Wadaan, M. A., & Enshasy, H. a. E. (2016). Bioprocess development for kefir production by *Lactobacillus kefirifaciens* in semi industrial scale bioreactor. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *23*(4), 495–502.
- Dantas, D., De Bittencourt Pasquali, M. A., Cavalcanti-Mata, M. E. R. M., De L R Duarte, M., & Oliveira, H. M. L. (2018). Influence of spray drying conditions on the properties of avocado powder drink. *Food Chemistry*, *266*, 284–291.
- Darby, R. (1996). *Chemical engineering fluid mechanics*. Marcel Dekker, New York, Basel, Hong Kong.
- Dauqan, E., & Abdullah, A. (2013). Utilization of gum arabic for industries and human health. *American Journal of Applied Sciences*, *10*(10), 1270–1279.
- De Oliveira Leite, A. M., Miguel, M. a. L., Peixoto, R. S., Rosado, A. S., Silva, J. T., & Paschoalin, V. M. F. (2013). Microbiological, technological and therapeutic properties of kefir: a natural probiotic beverage. *Brazilian Journal of Microbiology*, *44*(2), 341–349.
- Dimitreli, G., & Antoniou, K. (2011). Effect of incubation temperature and caseinates on the rheological behaviour of Kefir. *Procedia Food Science*, *1*, 583–588.
- Dimitreli, G., Exarhopoulos, S., Goulas, A., Antoniou, K., & Raphaelides, S. N. (2016). Effect of kefir and milk proteins addition on the rheological behavior of Glucono-delta-Lactone induced milk gels. *Journal of Food Research*, *5*(1), 121.
- Doran, P. M. (2013). Unit operations. In *Elsevier eBooks* (pp. 445–595).

- Elawad, F. a. E., Sulieman, M. A., & Elkhalil, E. a. I. (2021). Effect of gum arabic as prebiotic on probiotics and quality of yoghurt during cold storage. *Bacterial Empire*, 4(2), e236.
- Elsayed, E. A., Farooq, M., Dailin, D., El-Enshasy, H. A., Othman, N. Z., Malek, R., Danial, E. N., & Wadaan, M. (2017). In vitro and in vivo biological screening of kefir polysaccharide produced by *Lactobacillus kefirifaciens*. *Biomedical Research (India)*, 28(2), 594-600
- Ertekin, B., & Guzel-Seydim, Z. B. (2009). Effect of fat replacers on kefir quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(4), 543–548
- Exarhopoulos, S., Goulas, A., & Dimitreli, G. (2022). Biodegradable Films from Kefiran-Based Cryogel Systems. *Macromol*, 2(3), 324–345.
- Exarhopoulos, S., Raphaelides, S. N., & Kontominas, M. G. (2018). Flow behavior studies of kefir systems. *Food Hydrocolloids*, 79, 282–290.
- Fan, N. D., Stoyanova, L. G., & Петров, А. (2022). Microbiome and metabiotic properties of kefir grains and kefirs based on them. *Microbiology*, 91(4), 339–355.
- Farag, M. A., Jomaa, S. A., El-Wahed, A. A., & El-Seedi, H. R. (2020). The many faces of kefir fermented dairy products: quality characteristics, flavour chemistry, nutritional value, health benefits, and safety. *Nutrients*, 12(2), 346.
- Farid, M. (2003). A new approach to modeling of single droplet drying. *Chemical Engineering Science*, 58, 2985–2993.
- Farnworth, E. R. (2003). Kefir - a fermented milk product. *Handbook of Fermented Functional Foods*. In CRC Press eBooks.
- Farnworth E.R. (2005). Kefir - A complex probiotic. *Food Science and Technology Bulletin: Functional Foods*, 2, 1–17.
- Furuno, T., & Nakanishi, M. (2012). Kefiran suppresses Antigen-Induced mast cell activation. *Biological & Pharmaceutical Bulletin*, 35(2), 178–183.



- Gagliarini, N., Diosma, G., Garrote, G. L., Abraham, A. G., & Piermaria, J. A. (2019). Whey protein-kefir films as driver of probiotics to the gut. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, *105*, 321–328.
- Garrote, GL., Abraham, AG., & De Antoni G. (1998). Characteristics of kefir prepared with different grain : milk ratios. *Journal of Dairy Research*, *65*, 149–154.
- Gao, X., & Li, B. (2016). Chemical and microbiological characteristics of kefir grains and their fermented dairy products: A review. *Cogent Food & Agriculture*, *2*(1).
- Ghafari, M. H., Jouki, M., & Tabari, M. (2019). Production and characterization of synbiotic Doogh, a yogurt-based Iranian drink by gum arabic, ginger extract and *B. bifidum*. *Journal of Food Science and Technology*, *57*(3), 1158–1166.
- Ghasemlou, M., Khodaiyan, F., & Oromiehie, A. (2011). Physical, mechanical, barrier, and thermal properties of polyol-plasticized biodegradable edible film made from kefir. *Carbohydrate Polymers*, *84*(1), 477–483.
- Ghasemlou, M., Khodaiyan, F., Oromiehie, A., & Yarmand, M. S. (2011). Characterization of edible emulsified films with low affinity to water based on kefir and oleic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, *49*(3), 378–384.
- Glibowski, P., & Kowalska, A. (2012). Rheological, texture and sensory properties of kefir with high performance and native inulin. *Journal of Food Engineering*, *111*(2), 299–304.
- Gohel, C.M., Parikh, R.K., Nagori, S.A., Gandhi, A. V. (2009). Spray Drying: A Review. *Pharmaceutical Reviews*, *7*(5)
- Golowczyc, M. A., Silva, J., Abraham, A. G., De Antoni, G. L., & Teixeira, P. (2010). Preservation of probiotic strains isolated from kefir by spray drying. *Letters in Applied Microbiology*, *50*(1), 7–12.

- González-Tomás, L., Coll-Marqués, J. M., & Costell, E. (2008). Viscoelasticity of inulin–starch-based dairy systems. Influence of inulin average chain length. *Food Hydrocolloids*, 22(7), 1372–1380.
- Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., & Kazakis, N. A. (2004). Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. *Drying Technology*, 22(5), 1129–1151.
- Guggisberg, D., Cuthbert-Steven, J., Piccinali, P., Bütikofer, U., & Eberhard, P. (2009). Rheological, microstructural and sensory characterization of low-fat and whole milk set yoghurt as influenced by inulin addition. *International Dairy Journal*, 19(2), 107–115.
- Güven, A., & Gülmez, M. (2003). The effect of kefir on the activities of GSH-PX, GST, CAT, GSH and LPO levels in Carbon Tetrachloride-Induced mice tissues. *Journal of Veterinary Medicine Series B-infectious Diseases and Veterinary Public Health*, 50(8), 412–416.
- Guzel-Seydim, Z. B., Gökırmaklı, Ç., & Greene, A. K. (2021). A comparison of milk kefir and water kefir: Physical, chemical, microbiological and functional properties. *Trends in Food Science and Technology*, 113, 42–53.
- Guzel-Seydim, Z. B., Seydim, A. C., & Greene, A. K. (2000). Organic acids and volatile flavor components evolved during refrigerated storage of kefir. *Journal of Dairy Science*, 83(2), 275–277.
- Guzel-Seydim, Z. B., Taş, T., Greene, A. K., & Seydim, A. C. (2011). Review: Functional properties of Kefir. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(3), 261–268.
- Guzel-Seydim, Z. B., Wyffels, J. T., Seydim, A. C., & Greene, A. K. (2005). Turkish kefir and kefir grains: microbial enumeration and electron microscobic observation+. *International Journal of Dairy Technology*, 58(1), 25–29.
- Hall, C. W., & Hedrick, T. I. (1975). *Drying of Milk and Milk Products*, 2<sup>nd</sup> edition, AVI Publishing Co. Ltd., Westport

- Hamet, M. F., Medrano, M., Pérez, P., & Abraham, A. G. (2016). Oral administration of kefiran exerts a bifidogenic effect on BALB/c mice intestinal microbiota. *Beneficial Microbes*, 7(2), 237–246.
- Hamida, R. S., Shami, A., Ali, M. A., Almohawes, Z. N., Mohammed, A. E., & Bin-Meferij, M. M. (2021). Kefir: A protective dietary supplementation against viral infection. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 133, 110974.
- Hond, E. D., Geypens, B., & Ghoo, Y. (2000). Effect of high performance chicory inulin on constipation. *Nutrition Research*, 20(5), 731–736.
- Hongpattarakere, T., Cherntong, N., Wichienchot, S., Kolida, S., & Rastall, R. A. (2012). In vitro prebiotic evaluation of exopolysaccharides produced by marine isolated lactic acid bacteria. *Carbohydrate Polymers*, 87(1), 846–852.
- Ishwarya, S. P., & Anandharamakrishnan, C. (2017). Handbook of Drying for Dairy products. In *John Wiley & Sons, Ltd eBooks*, pp. 57-88
- Ismail, A. El., Basheer, E. O., Elhassan, I. H., Alnor, M. A., Mustafa Ali, G. A., Ahmed, S. Y., & Babekir, W. S. (2022). Effect of Arabic Gum (AG) on Physical Characteristics of yoghurt. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, Vol. 09, Issue 08.
- Jasim, M. a. J., Salih, G. M., & Hamk, M. L. H. (2018). The effect of arabic gum on physicochemical and sensory properties of camel milk, yogurt. *Journal of Zankoy Sulaimani*, 2nd Int. Conference of Agricultural Sciences (Special Issue), 97–104.
- Kabayama, S., Osada, K., Tachibana, H., Katakura, Y., & Shirahata, S. (1997). Enhancing effects of food components on the production of interferon  $\beta$  from animal cells suppressed by stress hormones. *Cytotechnology*, 23(1/3), 119–125.
- Kaplan, H., & Hutkins, R. W. (2000). Fermentation of fructooligosaccharides by lactic acid bacteria and bifidobacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(6), 2682–2684.

- Karaaslan, M., Şengün, F., Cansu, Ü., Başığit, B., Sağlam, H., & Karaaslan, A. (2021). Gum arabic/maltodextrin microencapsulation confers peroxidation stability and antimicrobial ability to pepper seed oil. *Food Chemistry*, *337*, 127748.
- Kleessen, B., Sykura, B., Zunft, H., & Blaut, M. (1997). Effects of inulin and lactose on fecal microflora, microbial activity, and bowel habit in elderly constipated persons. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *65*(5), 1397–1402.
- Kochs, M., Körber, C.H., Heschel, I. & Nunner, B. (1993). The influence of the freezing process on vapour transport during sublimation in vacuum-freeze-drying of macroscopic samples. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *36*(7), 1727–1738
- Koroleva, N.S. (1991). Products prepared with lactic acid bacteria and yeasts. In: Robinson, R.K., editor. Therapeutic properties of fermented milks. Elsevier Applied Sciences Publishers, London, UK. 159-179.
- Kotova, I., Cherdyntseva, T. A., & Herpycov, A. (2016). Russian Kefir Grains Microbial Composition and Its Changes during Production Process. In *Advances in Experimental Medicine and Biology* (pp. 93–121).
- Krokida, M., Maroulis, Z., & Saravacos, G. D. (2001). Rheological properties of fluid fruit and vegetable puree products: compilation of literature data. *International Journal of Food Properties*, *4*(2), 179–200.
- Kumar, P., & Mishra, H. N. (2004). Yoghurt Powder - A review of process technology, storage and utilization. *Food and Bioproducts Processing*, *82*(2), 133–142.
- Leite, A., Mayo, B., Rachid, C. T. C. C., Peixoto, R. S., Silva, J., Paschoalin, V. M. F., & Delgado, S. (2012). Assessment of the microbial diversity of Brazilian kefir grains by PCR-DGGE and pyrosequencing analysis. *Food Microbiology*, *31*(2), 215–221.
- Leylak, C., Özdemir, K., Gürakan, G. C., & Ogel, Z. B. (2021). Optimisation of spray drying parameters for *Lactobacillus acidophilus* encapsulation in whey and

- gum Arabic: Its application in yoghurt. *International Dairy Journal*, 112, 104865.
- Li, J., & Nie, S. (2016). The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. *Food Hydrocolloids*, 53, 46–61.
- Libudzisz, Z., Piatkiewicz, A. (1990). Kefir production in Poland, *Dairy Industries International*, 55, pp. 31-33
- Lin, C.W., Chen, H.L., and Liu, J.R. (1999). Identification and characterization of lactic acid bacteria and yeasts isolated from kefir grains in Taiwan. *Australian Journal of Dairy Technology*. 54:14
- Liu, J. A. P. & Moon, N. J. (1983). Kefir-a ‘new’ fermented milk product. *Cultured Dairy Products Journal* 18(3) 11–12
- Liu, Y., Zhang, Z., & Hu, L. (2021). High efficient freeze-drying technology in food industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(12), 3370–3388.
- López-Molina, D., Navarro-Martínez, M. D., Melgarejo, F. R., Hiner, A. N., Chazarra, S., & Rodríguez-López, J. N. (2005). Molecular properties and prebiotic effect of inulin obtained from artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Phytochemistry*, 66(12), 1476–1484.
- Lopez-Quiroga, E., Antelo, L.T. & Alonso, A.A. (2012). Time-scale modeling and optimal control of freeze–drying. *Journal of Food Engineering*, 111(4), 655–666.
- Lopitz-Otsoa, F., Rementeria, A., Elguezabal, N., & Garaizar, J. (2006). Kefir: una comunidad simbiótica de bacterias y levaduras con propiedades saludables. *Revista Iberoamericana De Micología*, 23(2), 67–74.
- Mabel, M. J., Sangeetha, P., Platel, K., Srinivasan, K., & Prapulla, S. G. (2008). Physicochemical characterization of fructooligosaccharides and evaluation of their suitability as a potential sweetener for diabetics. *Carbohydrate Research*, 343(1), 56–66.

- McClements, D. J. (1999). *Food Emulsions: Principles, practice and techniques*. CRC Press LLC, Boca Raton, London, New York, Washington.
- Magalhães, K. T., De Melo Pereira, G. V., Campos, C. R., Dragone, G., & Schwan, R. F. (2011). Brazilian kefir: structure, microbial communities and chemical composition. *Brazilian Journal of Microbiology*, *42*(2), 693–702.
- Magenis, R. B., Prudencio, E. S., De Mello Castanho Amboni, R. D., Júnior, N. G. C., De Oliveira, R. V. B., Soldi, V., & Benedet, H. D. (2006). Compositional and physical properties of yogurts manufactured from milk and whey cheese concentrated by ultrafiltration. *International Journal of Food Science and Technology*, *41*(5), 560–568.
- Markowiak, P., & Śliżewska, K. (2017). Effects of probiotics, prebiotics, and synbiotics on human health. *Nutrients*, *9*(9), 1021.
- Martínez-Navarrete, N., Salvador, A., De La Oliva, C. G., & Del Mar Camacho, M. (2019). Influence of biopolymers and freeze-drying shelf temperature on the quality of a mandarin snack. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, *99*, 57–61.
- Meyer, D., Bayarri, S., Tárrega, A., & Costell, E. (2011a). Inulin as texture modifier in dairy products. *Food Hydrocolloids*, *25*(8), 1881–1890.
- Micheli, L., Uccelletti, D., Palleschi, C., & Crescenzi, V. (1999). Isolation and characterisation of a ropy *Lactobacillus* strain producing the exopolysaccharide kefiran. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *53*(1), 69–74.
- Moghiseh, N., Arianfar, A., Salehi, E. A., & Rafe, A. (2021). Effect of inulin/kefiran mixture on the rheological and structural properties of mozzarella cheese. *International Journal of Biological Macromolecules*, *191*, 1079–1086.
- Moradi, Z., & Kalanpour, N. (2019). Kefiran, a branched polysaccharide: Preparation, properties and applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, *223*, 115100.

- Motedayen, A. A., Khodaiyan, F., & Salehi, E. A. (2013). Development and characterisation of composite films made of kefir and starch. *Food Chemistry*, 136(3–4), 1231–1238.
- Mugo, E. M., Mahungu, S. M., Chikamai, B., & Mwove, J. (2020). Evaluation of gum arabic from *Acacia senegal* var *kerensis* and *Acacia senegal* var *senegal* as a stabilizer in low-fat yoghurt. *International Journal of Food Studies*, 9.
- Mutanda, T., Mokoena, M. P., Olaniran, A. O., Wilhelmi, B. S., & Whiteley, C. G. (2014). Microbial enzymatic production and applications of short-chain fructooligosaccharides and inulooligosaccharides: recent advances and current perspectives. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 41(6), 893–906.
- Nair, K. K. S., Kharb, S., & Thompkinson, D. K. (2010). Inulin Dietary Fiber with Functional and Health Attributes - A Review. *Food Reviews International*, 26(2), 189–203.
- Nalbantoglu, U., Cakar, A., Dogan, H., Abaci, N., Ustek, D., Sayood, K., & Can, H. (2014). Metagenomic analysis of the microbial community in kefir grains. *Food Microbiology*, 41, 42–51.
- Nejati, F., Junne, S., & Neubauer, P. (2020). A big World in small Grain: A review of natural milk kefir starters. *Microorganisms*, 8(2), 192.
- Nogay, N. H. (2019). Kefir beverage and its effects on health. In *Elsevier eBooks* (pp. 273–296).
- Nowak, D., & Jakubczyk, E. (2020). The Freeze-Drying of Foods - The characteristic of the process course and the effect of its parameters on the physical properties of food materials. *Foods*, 9(10), 1488.
- Oetjen, G.W. (1999). Freeze Drying. In *Wiley-VCH Verlag GmbH eBooks*.
- Ötleş, S., & Çağındı, Ö. (2003). Kefir: A Probiotic Dairy-Composition, Nutritional and therapeutic aspects. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2(2), 54–59.

- Perna, R., Cunha, J., Gonçalves, M., Basso, R., Silva, E., & Maiorano, A. (2018). Microbial fructosyltransferase: production by submerged fermentation and evaluation of pH and temperature effects on transfructosylation and hydrolytic enzymatic activities. *Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research)*.
- Perry H.R. (1999). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, (7th Edition). McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- Piermaria, J. A., Bosch, A., Pinotti, A., Yantorno, O., García, M. A., & Abraham, A. G. (2011). Kefiran films plasticized with sugars and polyols: water vapor barrier and mechanical properties in relation to their microstructure analyzed by ATR/FT-IR spectroscopy. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 1261–1269.
- Piermaria, J. A., De La Canal, M. L., & Abraham, A. G. (2008). Gelling properties of kefiran, a food-grade polysaccharide obtained from kefir grain. *Food Hydrocolloids*, 22(8), 1520–1527.
- Pothuraju, R., Yenuganti, V. R., Hussain, S. A., & Sharma, M. (2018). Fermented milk in protection against inflammatory mechanisms in obesity. In *Elsevier eBooks* (pp. 389–401).
- Prado, M. R. M., Blandón, L. M., De Souza Vandenberghe, L. P., Rodrigues, C., Castro, G. R., Soccol, V. T., & Soccol, C. R. (2015). Milk kefir: composition, microbial cultures, biological activities, and related products. *Frontiers in Microbiology*, 6.
- Prasad, N., Thombare, N., Sharma, S. C., & Kumar, S. (2022). Gum arabic – A versatile natural gum: A review on production, processing, properties and applications. *Industrial Crops and Products*, 187, 115304.
- Rad, F. H., Sharifan, A., & Asadi, G. (2017). Miscibility and morphology of kefiran/waterborne polyurethane blend films. *International Journal of Food Properties*, 20(3), S2764–S2775.
- Rascón-Díaz, M. P., Tejero, J., Mendoza-García, P. G., García, H. S., & Salgado-Cervantes, M. (2010). Spray drying yogurt incorporating hydrocolloids:



structural analysis, acetaldehyde content, viable bacteria, and rheological properties. *Food and Bioprocess Technology*, 5(2), 560–567.

Rattray FP., O'Connell MJ. (2011). Fermented Milks- Kefir. In: Fukay JW, editor. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2<sup>nd</sup> edition Academic Press; San Diego, USA. pp. 518–524

Ray, S., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2016). An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. *Food Bioscience*, 13, 76–83.

Rea, M. C., Lennartsson, T., Dillon, P., Drinan, F., Reville, W. J., Heapes, M., & Cogan, T. M. (1996). Irish kefir-like grains: their structure, microbial composition and fermentation kinetics. *Journal of Applied Bacteriology*, 81(1), 83–94.

Rezaei, R., Khomeiri, M., Kashaninejad, M., & Aalami, M. (2011). Effects of guar gum and arabic gum on the physicochemical, sensory and flow behaviour characteristics of frozen yoghurt. *International Journal of Dairy Technology*, 64(4), 563–568.

Rimada, P. S., & Abraham, A. G. (2006). Kefiran improves rheological properties of glucono- $\delta$ -lactone induced skim milk gels. *International Dairy Journal*, 16(1), 33–39.

Roberfroid, M. (2004). Inulin-Type fructans. In *CRC Press eBooks*.

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.

Ronkart, S., Paquot, M., Fougnyes, C., Deroanne, C., Van Herck, J., & Blecker, C. (2006). Determination of total water content in inulin using the volumetric Karl Fischer titration. *Talanta*, 70(5), 1006–1010.

- Rosa, D. D., Dias, M. M. S., Grzeškowiak, Ł., Reis, S. a. D., Da Conceição, L. L., & Peluzio, M. D. C. G. (2017). Milk *kefir*: nutritional, microbiological and health benefits. *Nutrition Research Reviews*, *30*(1), 82–96.
- Sakin-Yilmazer, M., Koç, B., Balkir, P., & Kaymak-Ertekin, F. (2014a). Rheological behavior of reconstituted yoghurt powder—An optimization study. *Powder Technology*, *266*, 433–439.
- Sakin-Yilmazer, M., Koç, B., Balkir, P., & Kaymak-Ertekin, F. (2014b). Rheological behavior of reconstituted yoghurt powder—An optimization study. *Powder Technology*, *266*, 433–439.
- Samakradhamrongthai, R. S., Jannu, T., Supawan, T., Khawsud, A., Aumpa, P., & Renaldi, G. (2021). Inulin application on the optimization of reduced-fat ice cream using response surface methodology. *Food Hydrocolloids*, *119*, 106873.
- Sanchez, C., Nigen, M., Tamayo, V. M., Doco, T., Williams, P., Amine, C., & Renard, D. (2018). Acacia gum: History of the future. *Food Hydrocolloids*, *78*, 140–160.
- Santhalakshmy, S., Bosco, S. J. D., Francis, S., & Sabeena, M. (2015). Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Technology*, *274*, 37–43.
- Santos, D., Maurício, A. C., Sencadas, V., Santos, J. G., Fernandes, M. H., & Gomes, P. (2018). Spray drying: An Overview. In *InTech eBooks*.
- Sarkar, S. (2008). Biotechnological innovations in kefir production: a review. *British Food Journal*, *110*(3), 283–295.
- Satir, G., & Guzel-Seydim, Z. B. (2016). How kefir fermentation can affect product composition? *Small Ruminant Research*, *134*, 1–7.
- Seydel, P., Blomer, J. and Bertling, J. (2006). Modeling particle formation at spray drying using population balances. *Drying Technology*, *24*, 137–146.

- Schaller-Povolny, L., & Smith, D. E. (2001). Viscosity and freezing point of a reduced fat ice cream mix as related to inulin content. *Milchwissenschaft*, 56(1), 25-29
- Schoevers, A., & Britz, T. J. (2003). Influence of different culturing conditions on kefir grain increase. *International Journal of Dairy Technology*, 56(3), 183–187.
- Sharifi, M., Moridnia, A., Mortazavi, D., Salehi, M., Bagheri, M., & Sheikhi, A. (2017). Kefir: a powerful probiotic with anticancer properties. *Medical Oncology*, 34(11).
- Shoab, M., Shehzad, A., Mukama, O., Rakha, A., Raza, H., Sharif, H. R., Shakeel, A., Ansari, A. Q., & Niazi, S. (2016). Inulin: Properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate Polymers*, 147, 444–454.
- Simova, E., Beshkova, D., Angelov, A., Hristozova, T., Frengova, G. I., & Spasov, Z. (2002). Lactic acid bacteria and yeasts in kefir grains and kefir made from them. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 28(1), 1–6.
- Soukoulis, C., Lebesi, D., & Tzia, C. (2009). Enrichment of ice cream with dietary fibre: Effects on rheological properties, ice crystallisation and glass transition phenomena. *Food Chemistry*, 115(2), 665–671.
- Stapley, A. (2008). Freeze drying. *Frozen Food Science and Technology* (ed. Evans J.A.), Blackwell Publishing, Oxford
- Steffe, J. F. (1996). Rheological methods in food process engineering. 2<sup>nd</sup> edition. Freeman Press, USA.
- Stepaniak L., Fetliński A. (2002). Fermented milks- kefir. In H. Roginski (Ed.) *Encyclopedia of dairy science* (pp. 1049-1054). Amsterdam: Elsevier Ltd.
- Sulieman, A. M. E. (2018). Gum arabic as thickener and stabilizing agents in dairy products. In *Elsevier eBooks* (pp. 151–165).

- Szulc, K., & Lenart, A. (2013). Surface modification of dairy powders: Effects of fluid-bed agglomeration and coating. *International Dairy Journal*, 33(1), 55–61.
- Tadesse Teferra, F. (2019). Direct and Indirect Actions of Inulin as Prebiotic Polysaccharide: A Review. *CPQ Nutrition*, 3(6), 01-15.
- Takahashi, K., & Kohno, H. (2016). Different Polar Metabolites and Protein Profiles between High- and Low-Quality Japanese Ginjo Sake. *PLOS ONE*, 11(3).
- Tamime, A. Y. (2009). Dairy powders and concentrated products. Wiley-Blackwell Publishing Ltd.
- Wszolek, M., Kupiec-Teahan, B., Guldager, H. S., & Tamime, A. Y. (2007). Production of Kefir, Koumiss and other Related Products. In Blackwell Publishing Ltd eBooks (pp. 174–216).
- Toba, T., Arihara, K., & Adachi, S. (1990). Distribution of microorganisms with particular reference to encapsulated bacteria in kefir grains. *International Journal of Food Microbiology*, 10(3–4), 219–224.
- Tratnik, L., Božanić, R., Herceg, Z., & Drgalić, I. (2006). The quality of plain and supplemented kefir from goat's and cow's milk. *International Journal of Dairy Technology*, 59(1), 40–46.
- Venir, E., Del Torre, M., Stecchini, M. L., Maltini, E., & Di Nardo, P. (2007). Preparation of freeze-dried yoghurt as a space food. *Journal of Food Engineering*, 80(2), 402–407.
- Wang, S., Chen, K., Lo, Y. M., Chiang, M., Chen, H., Liu, J., & Chen, M. (2012). Investigation of microorganisms involved in biosynthesis of the kefir grain. *Food Microbiology*, 32(2), 274–285.
- Wang, W., Chen, M. & Chen, G. (2012). Issues in freeze drying of aqueous solutions. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 20(3), 551–559.

- Williams, P. A., & Phillips, G. O. (2009). 11 - Gum arabic. Handbook of hydrocolloids (2<sup>nd</sup> edition). Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, (pp. 252–273).
- Yilmaz, B., Sharma, H., Melekoglu, E., & Özogul, F. (2022). Recent developments in dairy kefir-derived lactic acid bacteria and their health benefits. *Food Bioscience*, 46, 101592.
- Yu, K.C., Chen, C.C. & Wu, P.C. (2011). Research on application and rehydration rate of vacuum freeze drying of rice. *Journal of Applied Sciences*, 11(3), 535–541.
- Zhang, X., Wang, Y., Jia, H., Wang, Z., Gao, Z., Luo, Y., Sheng, Q., Yuan, Y., & Yue, T. (2022). Metagenomic analysis of microflora structure and functional capacity in probiotic Tibetan kefir grains. *Food Research International*, 151, 110849.
- Zhong, Q. (2019). Food rheology. In *Elsevier eBooks* (pp. 461–481).
- Zhou, J., Liu, X., Han-Hu, J., & Dong, M. (2009). Analysis of the microflora in Tibetan kefir grains using denaturing gradient gel electrophoresis. *Food Microbiology*, 26(8), 770–775.
- Zhu, Z., Zhou, Q., & Sun, D. (2019). Measuring and controlling ice crystallization in frozen foods: A review of recent developments. *Trends in Food Science and Technology*, 90, 13–25.
- Zourari, A., Zourari, A., & Anifantakis, E. (1988). Le kéfir. Caractères physico-chimiques, microbiologiques et nutritionnels. Technologie de production. Une revue. *Lait*, 68(4), 373–392.

### **Ελληνική βιβλιογραφία:**

- Εξαρχόπουλος, Σ. (2018). Παραγωγή, χαρακτηρισμός και ρεολογικές ιδιότητες που πολυσακχαρίτη κεφιράνη. Διδακτορική διατριβή.
- Πετρίδης, Δ. (2019). Εφαρμοσμένη Στατιστική με έμφαση στην επιστήμη τροφίμων. 5<sup>η</sup> έκδοση. Εκδόσεις Back Office, Θεσσαλονίκη.

**Διαδικτυακές πηγές:**

[www.chr-hansen.com](http://www.chr-hansen.com)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ:

Πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Διακύμανσης ενός παράγοντα (*Είδος δείγματος*) για τη μεταβλητή *Υγρασία νωπών δειγμάτων*:

### General Linear Model: Υγρασία νωπών δειγμάτων versus Είδος δείγματος

#### Method

Factor coding (-1; 0; +1)

#### Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Είδος δείγματος	Fixed	6	CONTROL; FOS; GA; IN; KEF; TR

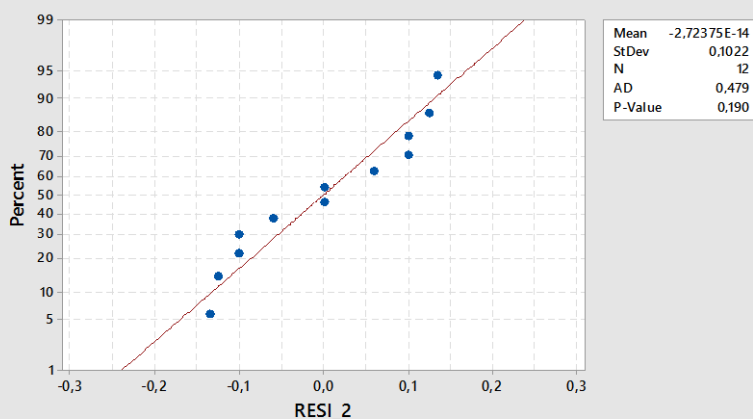
#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Είδος δείγματος	5	8,1992	1,63984	85,63	0,000
Error	6	0,1149	0,01915		
Total	11	8,3141			

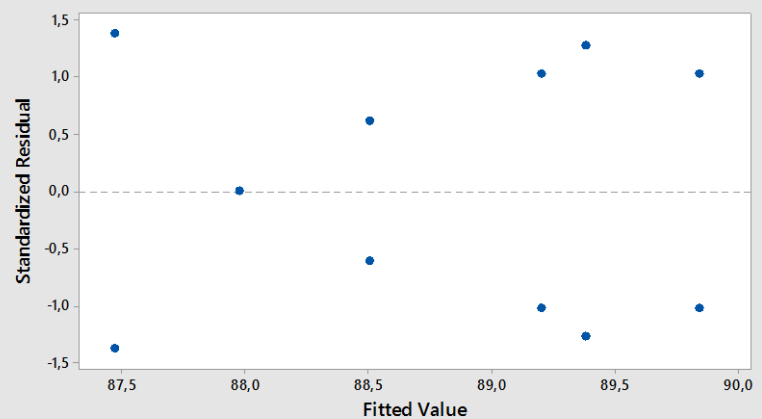
#### Means

Term	Fitted Mean	SE Mean
Είδος δείγματος		
CONTROL	89,8400	0,0979
FOS	87,4650	0,0979
GA	88,5000	0,0979
IN	87,9700	0,0979
KEF	89,3750	0,0979
TR	89,2000	0,0979

Probability Plot of RESI\_2  
Normal



Versus Fits  
(response is Υγρασία)



## Test for Equal Variances: Υγρασία νωπών δειγμάτων versus Είδος δείγματος

### Method

Null hypothesis	All variances are equal
Alternative hypothesis	At least one variance is different
Significance level	$\alpha = 0,05$

*Bartlett's method is used. This method is accurate for normal data only.*

### Tests

Method	Statistic	P-Value
Bartlett	0,48	0,976

## Comparisons for Υγρασία νωπών δειγμάτων

### Tukey Pairwise Comparisons: Είδος δείγματος

#### Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Είδος δείγματος	N	Mean	Grouping
CONTROL	2	89,840	A
KEF	2	89,375	A B
TR	2	89,200	B
GA	2	88,500	C
IN	2	87,970	C D
FOS	2	87,465	D

*Means that do not share a letter are significantly different.*

Πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Διακύμανσης ενός παράγοντα (**Είδος δείγματος**) για τη μεταβλητή **η νωπών δειγμάτων**:

## General Linear Model: η νωπών δειγμάτων versus Είδος δείγματος

### Method

Factor coding (-1; 0; +1)

### Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Είδος δείγματος	Fixed	6	CONTROL; FOS; GA; IN; KEF; TR

### Analysis of Variance

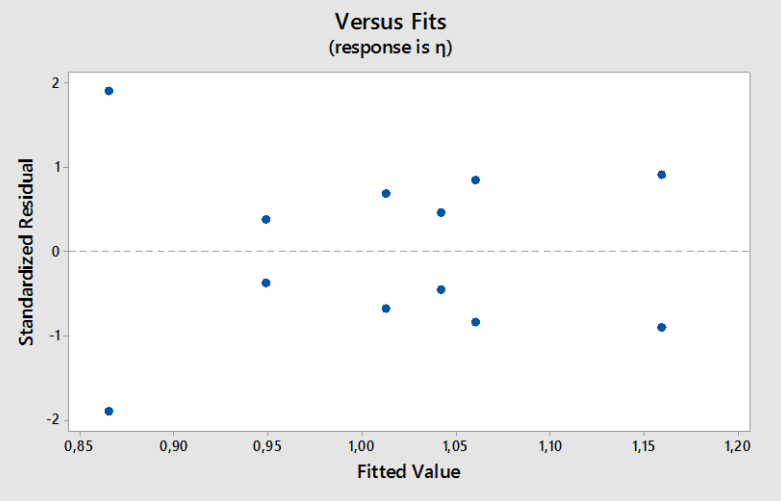
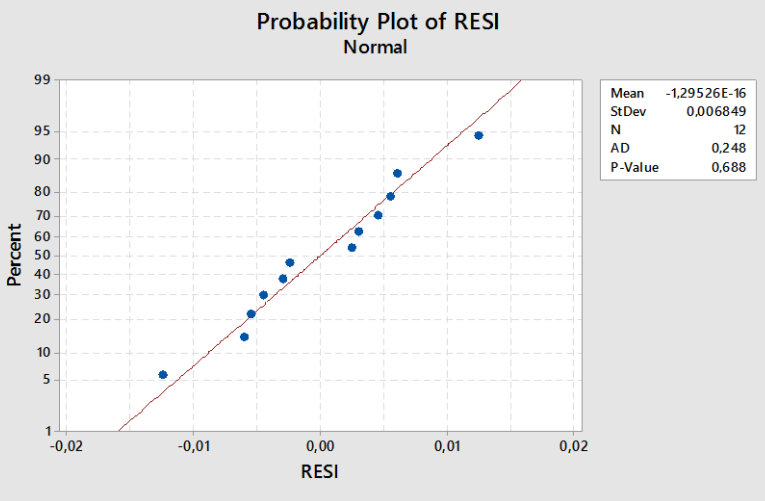
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Είδος δείγματος	5	0,100627	0,020125	234,02	0,000



Error	6	0,000516	0,000086
Total	11	0,101143	

### Means

Term	Fitted Mean	SE Mean
Είδος δείγματος		
CONTROL	1,01250	0,00656
FOS	1,04200	0,00656
GA	0,94850	0,00656
IN	0,86550	0,00656
KEF	1,06050	0,00656
TR	1,15900	0,00656



### Test for Equal Variances: η νωπών Δειγμάτων versus Είδος δείγματος Method

- Null hypothesis All variances are equal
- Alternative hypothesis At least one variance is different
- Significance level  $\alpha = 0,05$

Bartlett's method is used. This method is accurate for normal data only.

### 95% Bonferroni Confidence Intervals for Standard Deviations

Είδος δείγματος	N	StDev	CI
CONTROL	2	0,0063640	(0,0022211; 1,21864)
FOS	2	0,0042426	(0,0014807; 0,81243)
GA	2	0,0035355	(0,0012339; 0,67702)
IN	2	0,0176777	(0,0061697; 3,38512)
KEF	2	0,0077782	(0,0027146; 1,48945)
TR	2	0,0084853	(0,0029614; 1,62486)

Individual confidence level = 99,1667%

## Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Bartlett	2,51	0,775

## Comparisons for η νωπών δειγμάτων

### Tukey Pairwise Comparisons: Είδος δείγματος

### Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Είδος δείγματος	N	Mean	Grouping
TR	2	1,1590	A
KEF	2	1,0605	B
FOS	2	1,0420	B C
CONTROL	2	1,0125	C
GA	2	0,9485	D
IN	2	0,8655	E

Means that do not share a letter are significantly different.

Πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Διακύμανσης ενός παράγοντα (*Είδος δείγματος*) για τη μεταβλητή *n νωπών δειγμάτων*:

## General Linear Model: n νωπών δειγμάτων versus Είδος δείγματος Method

Factor coding (-1; 0; +1)

### Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Είδος δείγματος	Fixed	6	CONTROL; FOS; GA; IN; KEF; TR

### Analysis of Variance

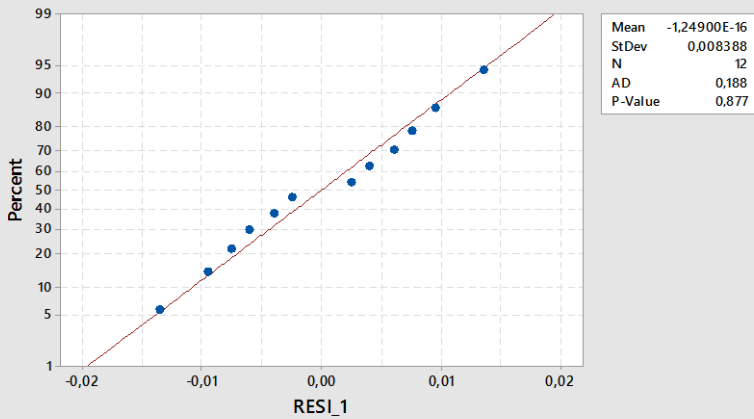
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Είδος δείγματος	5	0,145205	0,029041	225,12	0,000
Error	6	0,000774	0,000129		
Total	11	0,145979			

### Means

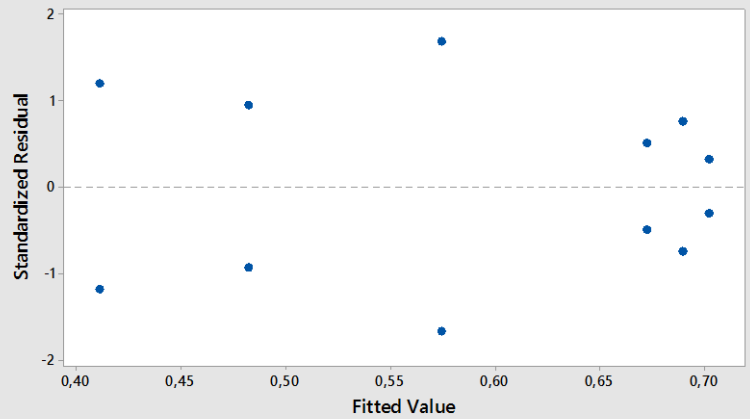
Term	Fitted Mean	SE Mean
Είδος δείγματος		

CONTROL	0,48250	0,00803
FOS	0,67200	0,00803
GA	0,70150	0,00803
IN	0,57450	0,00803
KEF	0,68900	0,00803
TR	0,41150	0,00803

Probability Plot of RESI\_1  
Normal



Versus Fits  
(response is n)



### Test for Equal Variances: *n* νωπών Δειγμάτων versus Είδος Δείγματος Method

Null hypothesis All variances are equal  
 Alternative hypothesis At least one variance is different  
 Significance level  $\alpha = 0,05$   
*Bartlett's method is used. This method is accurate for normal data only.*

#### Tests

Method	Test Statistic	P-Value
Bartlett	2,21	0,819

### Comparisons for *n* νωπών Δειγμάτων

#### Tukey Pairwise Comparisons: Είδος δείγματος

#### Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Είδος δείγματος	N	Mean	Grouping
GA	2	0,7015	A
KEF	2	0,6890	A
FOS	2	0,6720	A
IN	2	0,5745	B
CONTROL	2	0,4825	C

TR                      2   0,4115                      D  
*Means that do not share a letter are significantly different.*

Πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Διακύμανσης 2 παραγόντων (*Είδος δείγματος και Είδος ξήρανσης*) για τη μεταβλητή *Υγρασία κόνεων*:

### General Linear Model: Υγρασία κόνεων versus Είδος ξήρανσης; Είδος δείγματος

#### Method

Factor coding (-1; 0; +1)

#### Factor Information

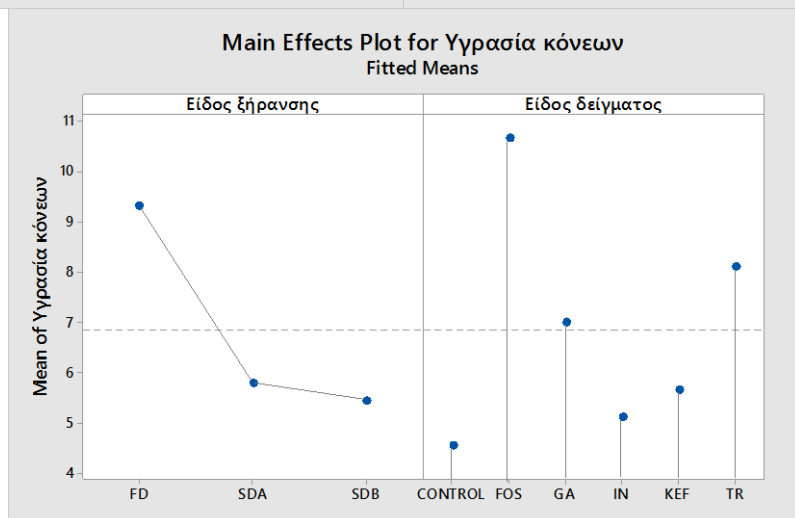
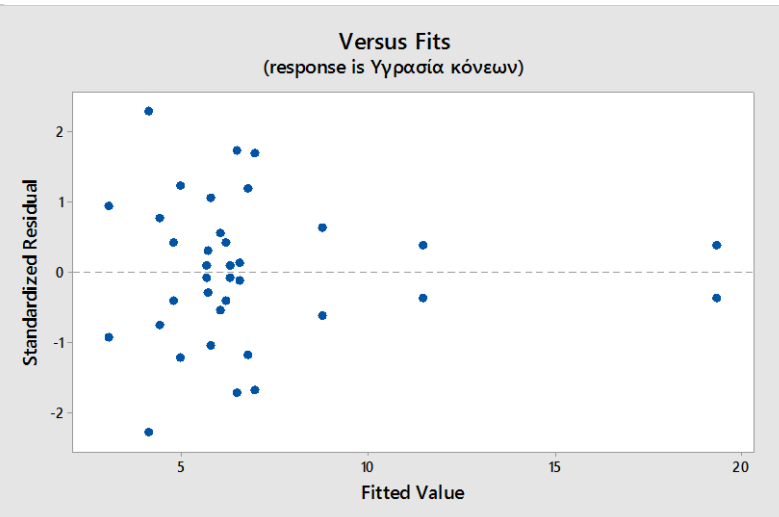
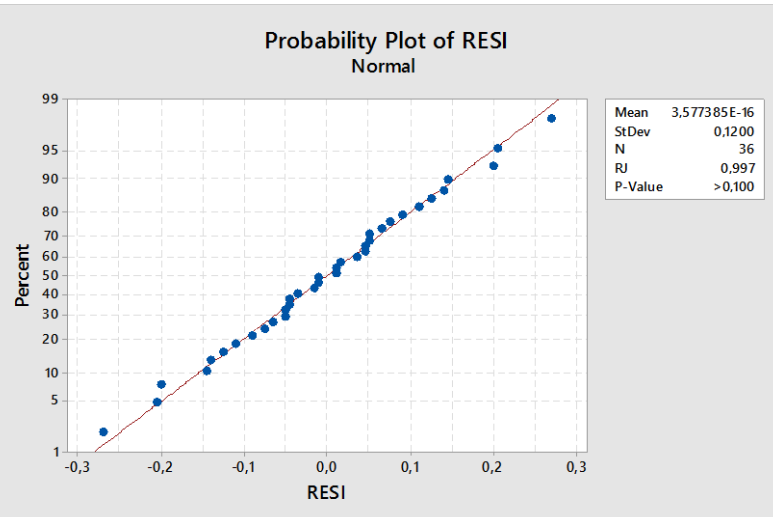
Factor	Type	Levels	Values
Είδος ξήρανσης	Fixed	3	FD; SDA; SDB
Είδος δείγματος	Fixed	6	CONTROL; FOS; GA; IN; KEF; TR

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Είδος ξήρανσης	2	110,227	55,1136	1968,93	0,000
Είδος δείγματος	5	154,704	30,9408	1105,36	0,000
Είδος ξήρανσης*Είδος δείγματος	10	178,669	17,8669	638,29	0,000
Error	18	0,504	0,0280		
Total	35	444,104			

#### Means

Term	Fitted Mean	SE Mean
Είδος ξήρανσης		
FD	9,3158	0,0483
SDA	5,7875	0,0483
SDB	5,4442	0,0483
Είδος δείγματος		
CONTROL	4,5617	0,0683
FOS	10,6633	0,0683
GA	7,0050	0,0683
IN	5,1133	0,0683
KEF	5,6583	0,0683
TR	8,0933	0,0683



**Test for Equal Variances: Υγρασία κόνεων versus Είδος ξήρανσης; Είδος δειγματος**  
Method

Null hypothesis            All variances are equal  
 Alternative hypothesis    At least one variance is different  
 Significance level         $\alpha = 0,05$

*Bartlett's method is used. This method is accurate for normal data only.*

**Tests**

Method	Statistic	P-Value
Bartlett	16,21	0,509

**Comparisons for Υγρασία κόνεων**

**Tukey Pairwise Comparisons: Είδος ξήρανσης**  
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Είδος ξήρασης	N	Mean	Grouping
FD	12	9,31583	A
SDA	12	5,78750	B
SDB	12	5,44417	C

Means that do not share a letter are significantly different.

### Tukey Pairwise Comparisons: Είδος δείγματος Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Είδος δείγματος	N	Mean	Grouping
FOS	6	10,6633	A
TR	6	8,0933	B
GA	6	7,0050	C
KEF	6	5,6583	D
IN	6	5,1133	E
CONTROL	6	4,5617	F

Means that do not share a letter are significantly different.

### Tukey Pairwise Comparisons: Είδος ξήρασης\*Είδος δείγματος Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Είδος ξήρασης*Είδος δείγματος	N	Mean	Grouping
FD FOS	2	19,325	A
FD TR	2	11,465	B
FD GA	2	8,765	C
SDB FOS	2	6,970	D
SDA TR	2	6,770	D E
SDA KEF	2	6,555	D E F
SDA GA	2	6,475	D E F
FD KEF	2	6,290	E F G
SDA IN	2	6,170	E F G
SDB TR	2	6,045	F G
SDB GA	2	5,775	G
SDA FOS	2	5,695	G
FD CONTROL	2	5,650	G
SDB CONTROL	2	4,975	H
SDB IN	2	4,770	H I
FD IN	2	4,400	H I
SDB KEF	2	4,130	I

SDA CONTROL 2 3,060  
*Means that do not share a letter are significantly different.*

J

Πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Διακύμανσης 2 παραγόντων (*Είδος δείγματος και Είδος ξήρανσης*) για τη μεταβλητή *η ανασυσταμένων δειγμάτων*:

## General Linear Model: *η ανασυσταμένων δειγμάτων versus Είδος ξήρανσης; Είδος δείγματος*

### Method

Factor coding (-1; 0; +1)

### Factor Information

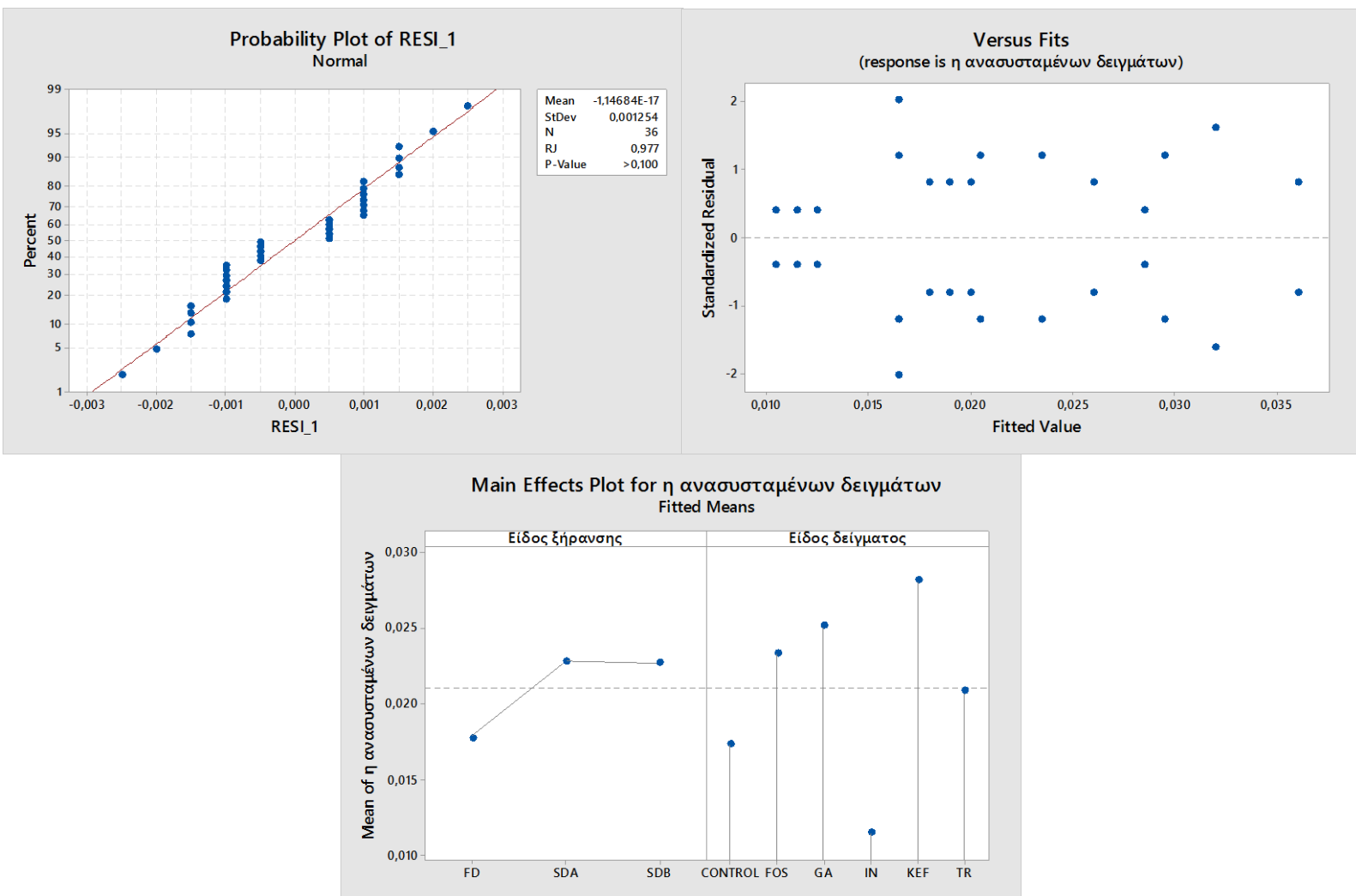
Factor	Type	Levels	Values
Είδος ξήρανσης	Fixed	3	FD; SDA; SDB
Είδος δείγματος	Fixed	6	CONTROL; FOS; GA; IN; KEF; TR

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Είδος ξήρανσης	2	0,000197	0,000098	32,19	0,000
Είδος δείγματος	5	0,001067	0,000213	69,85	0,000
Είδος ξήρανσης*Είδος δείγματος	10	0,000599	0,000060	19,60	0,000
Error	18	0,000055	0,000003		
Total	35	0,001918			

### Means

Term	Fitted Mean	SE Mean
Είδος ξήρανσης		
FD	0,017750	0,000505
SDA	0,022750	0,000505
SDB	0,022667	0,000505
Είδος δείγματος		
CONTROL	0,017333	0,000714
FOS	0,023333	0,000714
GA	0,025167	0,000714
IN	0,011500	0,000714
KEF	0,028167	0,000714
TR	0,020833	0,000714



## Test for Equal Variances: η ανασυσταμένων δειγμάτων versus Είδος ξήρασης; Είδος δείγματος

### Method

Null hypothesis      All variances are equal  
Alternative hypothesis    At least one variance is different  
Significance level       $\alpha = 0,05$

*Bartlett's method is used. This method is accurate for normal data only.*

### Tests

Method	Statistic	P-Value
Bartlett	5,99	0,993

## Comparisons for η ανασυσταμένων δειγμάτων:

### Tukey Pairwise Comparisons: Είδος ξήρασης

### Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Είδος ξήρασης	N	Mean	Grouping
---------------	---	------	----------



SDA	12	0,0227500	A
SDB	12	0,0226667	A
FD	12	0,0177500	B

Means that do not share a letter are significantly different.

### Tukey Pairwise Comparisons: *Είδος δείγματος*

#### Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Είδος δείγματος	N	Mean	Grouping
KEF	6	0,0281667	A
GA	6	0,0251667	A B
FOS	6	0,0233333	B C
TR	6	0,0208333	C
CONTROL	6	0,0173333	D
IN	6	0,0115000	E

Means that do not share a letter are significantly different.

### Tukey Pairwise Comparisons: *Είδος ξήρανης; Είδος δείγματος*

#### Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Είδος ξήρανης*Είδος δείγματος	N	Mean	Grouping
SDA KEF	2	0,0360	A
SDB KEF	2	0,0320	A B
SDB GA	2	0,0295	A B C
FD FOS	2	0,0285	B C
SDA GA	2	0,0260	B C D
SDA TR	2	0,0260	B C D
SDB FOS	2	0,0235	C D E
SDB CONTROL	2	0,0205	D E
FD GA	2	0,0200	D E
SDB TR	2	0,0200	D E
SDA CONTROL	2	0,0190	D E F
SDA FOS	2	0,0180	E F G
FD KEF	2	0,0165	E F G H
FD TR	2	0,0165	E F G H
FD CONTROL	2	0,0125	F G H
FD IN	2	0,0125	F G H
SDA IN	2	0,0115	G H
SDB IN	2	0,0105	H

Means that do not share a letter are significantly different.

Πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Διακύμανσης 2 παραγόντων (*Είδος δείγματος και Είδος ξήρανσης*) για τη μεταβλητή *n ανασυσταμένων δειγμάτων*:

### General Linear Model: *n ανασυσταμένων δειγμάτων versus Είδος ξήρανσης; Είδος δείγματος* Method

Factor coding (-1; 0; +1)

#### Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Είδος ξήρανσης	Fixed	3	FD; SDA; SDB
Είδος δείγματος	Fixed	6	CONTROL; FOS; GA; IN; KEF; TR

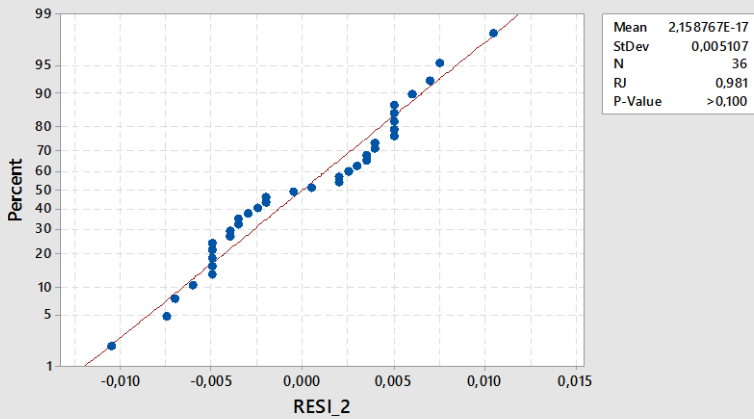
#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Είδος ξήρανσης	2	0,003662	0,001831	36,09	0,000
Είδος δείγματος	5	0,021875	0,004375	86,25	0,000
Είδος ξήρανσης*Είδος δείγματος	10	0,032052	0,003205	63,19	0,000
Error	18	0,000913	0,000051		
Total	35	0,058502			

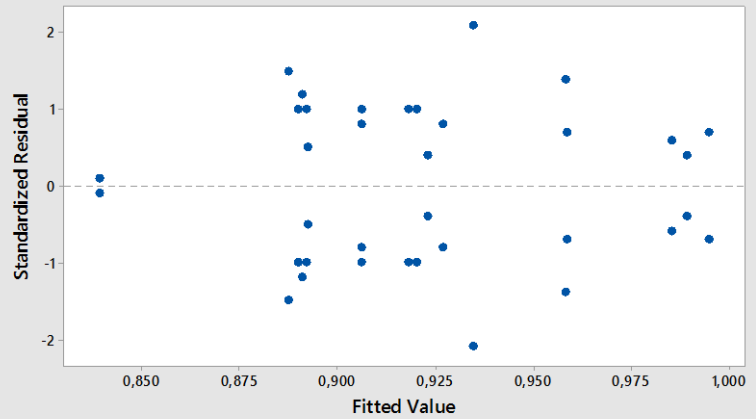
#### Means

Term	Fitted Mean	SE Mean
Είδος ξήρανσης		
FD	0,93483	0,00206
SDA	0,91017	0,00206
SDB	0,92367	0,00206
Είδος δείγματος		
CONTROL	0,91033	0,00291
FOS	0,90483	0,00291
GA	0,93367	0,00291
IN	0,89083	0,00291
KEF	0,96717	0,00291
TR	0,93050	0,00291

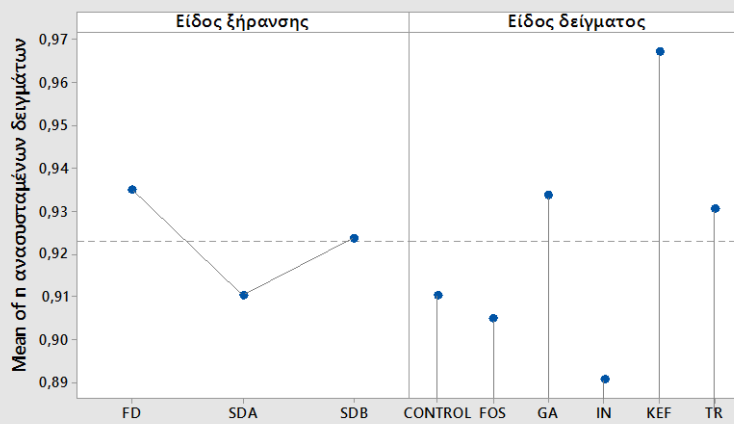
Probability Plot of RESI\_2  
Normal



Versus Fits  
(response is η ανασυσταμένων δειγμάτων)



Main Effects Plot for η ανασυσταμένων δειγμάτων  
Fitted Means



### Test for Equal Variances: η ανασυσταμένων δειγμάτων versus Eίδος ξήρανσης; Eίδος δείγματος

#### Method

- Null hypothesis All variances are equal
- Alternative hypothesis At least one variance is different
- Significance level  $\alpha = 0,05$

Bartlett's method is used. This method is accurate for normal data only.

#### Tests

Method	Test Statistic	P-Value
Bartlett	7,34	0,979

### Comparisons for η ανασυσταμένων δειγμάτων

#### Tukey Pairwise Comparisons: Eίδος ξήρανσης

#### Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Eίδος ξήρανσης	N	Mean	Grouping
----------------	---	------	----------

FD	12	0,934833	A
SDB	12	0,923667	B
SDA	12	0,910167	C

Means that do not share a letter are significantly different.

### Tukey Pairwise Comparisons: *Είδος δείγματος* Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Είδος δείγματος	N	Mean	Grouping
KEF	6	0,967167	A
GA	6	0,933667	B
TR	6	0,930500	B
CONTROL	6	0,910333	C
FOS	6	0,904833	C
IN	6	0,890833	D

Means that do not share a letter are significantly different.

### Tukey Pairwise Comparisons: *Είδος ξήρανης; Είδος δείγματος* Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Είδος ξήρανης*Είδος δείγματος	N	Mean	Grouping
FD TR	2	0,9945	A
SDB GA	2	0,9890	A
FD KEF	2	0,9850	A B
SDB KEF	2	0,9585	B C
SDA KEF	2	0,9580	B C
SDA FOS	2	0,9345	C D
FD IN	2	0,9270	D
FD CONTROL	2	0,9230	D
SDA GA	2	0,9200	D E
SDA CONTROL	2	0,9180	D E F
SDB TR	2	0,9060	D E F G
SDB IN	2	0,9060	D E F G
SDB FOS	2	0,8925	E F G
FD GA	2	0,8920	E F G
SDA TR	2	0,8910	F G
SDB CONTROL	2	0,8900	F G
FD FOS	2	0,8875	G
SDA IN	2	0,8395	H

Means that do not share a letter are significantly different.