

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



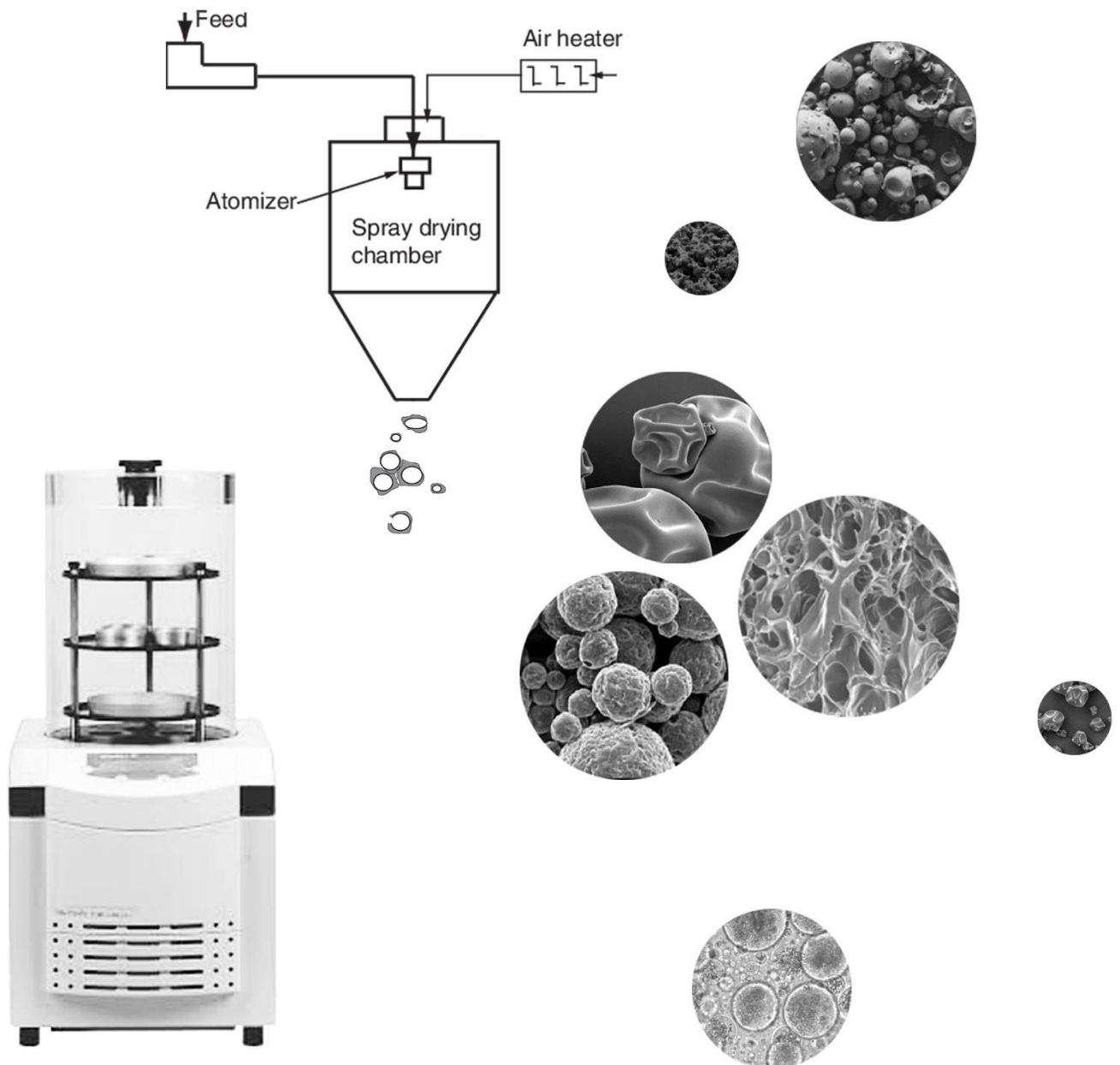
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΙV_ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΞΗΡΑΝΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΣΥΣΤΑΣΗ ΓΙΑΟΥΡΤΙΟΥ



Διπλωματική εργασία_ Κωβαίος Κωνσταντίνος

Επιβλέπουσα καθηγήτρια_ Τζιά Κωνσταντίνα

Αθήνα 2018

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς, την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου κυρία Τζιά Κωνσταντίνα για την καθοδήγησή της στο στήσιμο των πειραμάτων και για την καθημερινή παρακολούθηση της εξέλιξης των πειραμάτων. Για την υπομονή της κατά την συγγραφή της παρούσας εργασίας στο να εντοπίζει τα λάθη, να μου εξηγεί και να με διορθώνει. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την Γιάννου Βιργινία για την συνεχή βοήθειά της σε κάθε πρόβλημα που προέκυπτε. Ευχαριστώ πολύ τον Σφακιανάκη Παναγιώτη καθώς ήταν ο πρώτος που μοιράστηκε τις γνώσεις του για το γιαούρτι και με βοήθησε να εξοικειωθώ με τις μεθόδους. Ευχαριστώ τους υποψήφιους διδάκτορες Χανιώτη Σοφία, την Κατσούλη Μαρία, την Σιαμανδούρα Παρασκευή, την Φρακολάκη Τζίνα, τον Κεκέ Τρύφωνα που μ' έκαναν μέλος της ομάδας τους, με βοήθησαν, μου δώσανε την ευκαιρία να παρακολουθήσω και να συμμετέχω και σε άλλες πολύ εποικοδομητικές και ενδιαφέρουσες δραστηριότητες του εργαστηρίου. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το προσωπικό του εργαστηρίου για την προθυμία του και τη δημιουργία πρόσχαρου κλίματος που συνετέλεσε στο να περάσουν τόσο ευχάριστα δύο χρόνια.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω θερμά τη ΦΑΓΕ Α.Ε. για τη δωρεάν παροχή γιαουρτιών, που βοήθησαν στη διεξαγωγή των πειραμάτων της παρούσας εργασίας. Την καθηγήτρια ΕΜΠ κα. Μ. Κροκίδα και τη διδάκτορά Οικονομοπούλου Βάσια για τη βοήθεια και την παραχώρηση του στερεοπυκνόμετρου αερίου.

Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ θα ήθελα να εκφράσω στην οικογένειά μου που με στηρίζει όλα αυτά τα χρόνια με κάθε δυνατό τρόπο. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου και να τους εκφράσω με αυτό τον τρόπο το πόσο τυχερός νιώθω για όλη τη στήριξη, τη βοήθεια, τη συμπαράσταση όλα αυτά τα χρόνια στη σχολή και στην ιδιαίτερη περίοδο της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Πίνακας περιεχομένων

i) Περίληψη.....	1
ii) Abstract	5
iii) Εισαγωγή.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^Α : Γιαούρτι.....	11
1 ^Α .1 Γενικά.....	11
1 ^Α .2 Πρώτες Ύλες.....	12
1 ^Α .2.1 Γάλα.....	12
1 ^Α .2.2 Βακτηριακή Καλλιέργεια.....	18
1 ^Α .2.3 Πρόσθετα	20
1 ^Α .3 Ταξινόμηση	21
1 ^Α .4 Παραγωγική Διαδικασία Γιαουρτιού.....	23
1 ^Α .4.α Παραγωγή και Μεταφορά Γάλακτος.....	23
1 ^Α .4.β Προεπεξεργασία γάλακτος.....	23
1 ^Α .4.γ Τυποποίηση Λιπαρών	24
1 ^Α .4.δ Τυποποίηση Σ.Υ.Α.Λ.	24
1 ^Α .4.ε Προσθήκη Πρόσθετων	25
1 ^Α .4.στ Ομογενοποίηση.....	25
1 ^Α .4.ζ Θερμική Κατεργασία	27
1 ^Α .4.η Εμβολιασμός- Ζύμωση.....	29
1 ^Α .4.θ Ψύξη.....	30
1 ^Α .4.ι Συσκευασία.....	30
1 ^Α .5 Δομή - Χαρακτηριστικά Γιαουρτιού.....	30
1 ^Α .5.α Ιξώδες Αναμεμιγμένου Γιαουρτιού	31
1 ^Α .5.β Συνεκτικότητα.....	31
1 ^Α .5.γ Συναίρεση.....	31
1 ^Α .5.δ Θρεπτική Αξία του Γιαουρτιού.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^Β : Υδροκολλοειδή και Πηκτικά μέσα.....	35
1 ^Β .1 Γενικά -Κατηγοριοποίηση	35
1 ^Β .2 Υδροκολλοειδή στη βιομηχανία τροφίμων	35
1 ^Β .3 Ιδιότητες.....	36
1 ^Β .3.1 Πηκτικότητα	36
1 ^Β .3.2 Ζελατινοποίηση.....	36
1 ^Β .3.3 Γαλακτωματοποίηση.....	37
1 ^Β .3.4 Ενθυλάκωση/ Εγκλεισμός /Επικαλύψεις.....	38

1 ^B . 4 Πίνακες βασικών χαρακτηριστικών	38
Κεφάλαιο 2 : Ξήρανση στη Βιομηχανία Τροφίμων και τη Γαλακτοβιομηχανία	49
2.1 Γενικά στοιχεία	49
2.2 Μέθοδοι ξήρανσης.....	50
2.2.1 Ξήρανση με τύμπανα	50
2.2.2 Ξήρανση με ψεκασμό και κατάψυξη	51
2.2.3 Ξήρανση με κατάψυξη (Freeze drying)	52
2.2.4 Ξήρανση με ψεκασμό (Spray drying)	63
Κεφάλαιο 3 : Ανασύσταση	71
3.1 Στάδια και ορισμοί	71
3.2 Επίδρασεις στην ικανότητα Ανασύστασης των σκονών	74
3.2.1 Επίδραση τρόπου ξήρανσης και προκατεργασίας.....	74
3.2.2 Επίδραση του αρχικού ιξώδους	75
3.2.3 Επίδραση διπλής ξήρανσης.....	76
3.2.4 Επίδραση της σύνθεσης του τροφίμου.....	76
3.2.5 Επίδραση του μεγέθους των σωματιδίων	78
3.2.6 Επίδραση των συνθηκών ανασύστασης	78
3.3 Αντιδράσεις υποβάθμισης των σκονών.....	78
3.3.1 Maillard.....	78
3.3.2 Οξειδωση.....	80
Κεφάλαιο 4 : Οργανοληπτικός Έλεγχος	83
4.1 Οργανοληπτικός Έλεγχος στο Γιαούρτι.....	83
4.2 Επίδραση των υδροκολλοειδών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του γιαουρτιού	84
4.3 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά γαλακτοκομικών σκονών	85
Κεφάλαιο 5 : Πειραματικό Μέρος	87
5.1 Σκοπός	87
5.2 Υλικά.....	88
5.2.1 Πρώτες Ύλες.....	88
5.2.2 Αντιδραστήρια.....	88
5.2.3 Εργαστηριακός Εξοπλισμός.....	88
5.3 Πειραματική διαδικασία	89
5.3.1 Παραγωγή σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση.....	89

5.3.2 Ανασύσταση σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, προερχόμενης από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση.....	90
5.3.3 Παραγωγή σκόνης γιαουρτιού 0% λιπαρών με ξήρανση με ψεκάσμο σε διαφορετικές αραιώσεις (τροφοδοσίας) και σε διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης.....	92
5.4 Μέθοδοι και αναλύσεις	92
5.4.1 Μετρήσεις και Αναλύσεις για τις παραγόμενες σκόνες	92
5.4.2 Μετρήσεις και αναλύσεις για την ανασυσταμένη σκόνη γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, προερχόμενης από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση.....	94
5.5 Σχεδιασμός Πειραμάτων	98
Κεφάλαιο 6 : Αποτελέσματα – Σχολιασμός	103
6.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων των μετρήσεων για σκόνη γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που παρήχθη με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 1 ^η)	103
6.1.1 Ενεργότητα νερού(a_w)	103
6.1.2 Διαβροχή	104
6.1.3 Διαλυτότητα	108
6.1.4 Πορώδες.....	110
6.1.5 Χρώμα.....	111
6.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων ανασυσταμένης σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που έχει προέλθει από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 2 ^η).....	113
6.2.1 pH	113
6.2.2 Ιξώδες	113
6.2.3 Ικανότητα συγκράτησης νερού (% WHC).....	119
6.2.4 Ανάλυση Υφής	119
6.2.5 Οξύτητα	125
6.2.6 Οργανοληπτικός έλεγχος	125
6.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων παραχθείσας σκόνης γιαουρτιού 0% λιπαρών με ξήρανση με ψεκάσμο σε διαφορετικές αραιώσεις (τροφοδοσίας) και σε διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης.	138
6.3.1 Ενεργότητα νερού (a_w)	138
6.3.2 Διαβροχή - Διαλυτότητα.....	138
6.3.3 Χρώμα - Πορώδες - pH	138
6.4 Συσχέτιση αποτελεσμάτων, αντικειμενικών μετρήσεων με τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, για τις δυο σειρές πειραμάτων με εφαρμογή PCA (Principal Component Analysis).....	140

Κεφάλαιο 7 : Συμπεράσματα– Προτάσεις	143
7.1 Συμπεράσματα ανά σειρά πειραμάτων.....	143
7.2 Συγκριτικά συμπεράσματα και υποθέσεις για τις δυο πρώτες σειρές πειραμάτων..	147
7.3 Προτάσεις.....	148
7.3.α Προτάσεις Αξιοποίησης των αποτελεσμάτων	148
7.3.β Προτάσεις περαιτέρω μελέτης	149
Βιβλιογραφία	151
Παράρτημα.....	161

i) Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Τα πειράματα εκτελέστηκαν κατά τη διάρκεια των ακαδημαϊκών ετών 2016-2018. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η ξήρανση τυποποιημένου αναμεμιγμένου γιαουρτιού διαφορετικών λιπαρών και η ανασύσταση της παραχθείσας σκόνης με στόχο τη βελτίωση των τελικών χαρακτηριστικών, ρεολογικών και οργανοληπτικών, έτσι ώστε να προσομοιάζουν τα χαρακτηριστικά του ανασυσταμένου γιαουρτιού εκείνα του γιαουρτιού από το οποίο προήλθαν. Το υπό ξήρανση γιαούρτι ήταν, τυποποιημένο αναμεμιγμένο γιαούρτι διαφορετικής περιεκτικότητας λιπαρών 0%, 2% και 5%. Οι μέθοδοι που επιλέχθηκαν ήταν η ξήρανση με κατάψυξη (freeze drying) και η ξήρανση με ψεκασμό (spray drying). Αυτές οι μέθοδοι είναι πολύ διαδεδομένες στη βιομηχανία και η κάθε μία έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον μελέτης. Η ξήρανση με κατάψυξη υποβαθμίζει λιγότερο το προϊόν, ως μη θερμική μέθοδος, ενώ η ξήρανση με ψεκασμό είναι οικονομικότερη. Παρόλα αυτά και οι δύο μέθοδοι υποβαθμίζουν σε κάποιο βαθμό τα ρεολογικά χαρακτηριστικά. Έτσι το εμπορεύσιμο γιαούρτι σε σκόνη χρησιμοποιείται κυρίως για επικαλύψεις, γემίσεις, γεύση ή ροφήματα. Επιλέχθηκε η μελέτη αραβικού κόμματος, CMC (carboxymethyl cellulose), πηκτίνης, ζελατίνης, πρωτεΐνης ορού γάλακτος, καθώς είναι πολύ κοινά κόμματα για τη γαλακτοβιομηχανία. Η κλίμακα περιεκτικότητας διαμορφώθηκε στο 1%, 2% και 3% επί της ξηρής μάζας των αντίστοιχων στερεών του κάθε γιαουρτιού.

Έτσι για τη μελέτη των προαναφερόμενων σχεδιάστηκαν τρεις πειραματικές σειρές. Στην 1^η σειρά έγινε **παραγωγή σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση**. Η παραχθείσα σκόνη της σειράς αυτής χαρακτηρίστηκε ως προς την ενεργότητα νερού, την ικανότητα διαβροχής, διαλυτότητας, το πορώδες, και ως προς το χρώμα.

Στην 2^η σειρά έγινε **ανασύσταση σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, προερχόμενης από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση**. Το ανασυσταμένο γιαούρτι χαρακτηρίστηκε ως προς το pH, το ιξώδες, την υφή, την οξύτητα, τη συναίρεση και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

Στην 3^η σειρά έγινε **παραγωγή σκόνης γιαουρτιού 0% λιπαρών με ξήρανση με ψεκασμό σε διαφορετικές αραιώσεις (τροφοδοσίας) και σε διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης**. Η παραχθείσα σκόνη της σειράς αυτής χαρακτηρίστηκε ως προς την ενεργότητα νερού, το πορώδες, την ικανότητα διαβροχής, τη διαλυτότητα, το χρώμα και το pH.

Τα πειράματα, οι μέθοδοι και οι αναλύσεις έδειξαν για την παραχθείσα **σκόνη γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση** ότι η ενεργότητα του νερού, σε όλα τα δείγματα της σκόνης κινήθηκαν σε εύρος τιμών από 0,25 έως 0,35. Όσον αφορά την ικανότητα διαβροχής, αυτή μειώνεται όσο αυξάνεται η υδροφοβικότητα της σκόνης, έτσι μεγαλύτερη διαβροχή παρουσιάζουν σκόνες γιαουρτιού με 0% λιπαρά. Η προσθήκη πηκτίνης αυξάνει την ικανότητα διαβροχής, ενώ η προσθήκη πρωτεΐνης ορού γάλακτος την δυσκολεύει. Η προσθήκη κόμματος πριν την ξήρανση βοηθά στην αύξηση της διαβροχής της σκόνης και ειδικότερα των δειγμάτων με 5% λιπαρά. Ακόμη, η διαλυτότητα της σκόνης αυξάνεται με την προσθήκη κόμματος και η προσθήκη τους πριν τη διαδικασία της ξήρανσης, στην κύρια μάζα του γιαουρτιού, επιδρά θετικά ειδικά στα δείγματα με λιπαρά. Επίσης το πορώδες κινήθηκε μεταξύ 60% και 70%, εύρος χαρακτηριστικό για την ξήρανση με κατάψυξη. Τέλος το χρώμα της σκόνης με την ξήρανση υπό κατάψυξη έχει τη

μικρότερη δυνατή υποβάθμιση. Παρόλα αυτά τα δείγματα με 5% λιπαρά παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη διαφορά χρώματος.

Η σειρά πειραμάτων για την ανασύσταση της σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, προερχόμενης από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση έδειξε ότι: Το εύρος τιμών του pH του ανασυσταμένου γιαουρτιού κινήθηκε μεταξύ 4.0-4.4 και δεν επηρεάστηκε σημαντικά. Όσον αφορά το ιξώδες, υψηλότερες τιμές αυτού παρουσιάστηκαν στα υπό ανασύσταση δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 0% σε λιπαρά (εύρος 8000-17.000 cps), ενώ χαμηλότερες τιμές στα υπό ανασύσταση δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 5% σε λιπαρά (εύρος 1.500-12.000 cps). Γενικά καλύτερο κόμμα κρίθηκε η πηκτίνη όσον αφορά το ιξώδες. Ακόμη, η προσθήκη του κόμματος πριν από την ξήρανση εμφανίζει πολύ καλύτερα αποτελέσματα στο ανασυσταμένο γιαούρτι σε σχέση με τα ανασυσταμένα γιαούρτια που έχουν προκύψει από σκόνη γιαουρτιού και κόμματος, το οποίο έχει προστεθεί μετά την ξήρανση.

Η ικανότητα των δειγμάτων ανασυσταμένου γιαουρτιού για συγκράτηση νερού είναι εμφανώς μειωμένη. Η διαφορά κυμαίνεται γύρω στο 10-20% κάτω σε σχέση με το τυποποιημένο γιαούρτι. Η προσθήκη κόμματος γενικά βελτιώνει τη συγκράτηση νερού. Επίσης τα δείγματα των οποίων τα κόμματα είχαν προστεθεί πριν από την ξήρανση παρουσιάζουν μία πιο ομοιόμορφη ικανότητα συγκράτησης νερού.

Η σκληρότητα του ανασυσταμένου γιαουρτιού ανεξαρτήτως δείγματος είναι κατά πολύ μειωμένη (εύρος περίπου 0,1-0,45N) σε σχέση με τη σκληρότητα του τυποποιημένου γιαουρτιού (εύρος περίπου 1-1,2N). Όσον αφορά τη συνεκτικότητα, τα δείγματα ανασυσταμένου γιαουρτιού εμφάνισαν εύρος τιμών περίπου 0,4-0,95 σε σχέση με το τυποποιημένο που παρουσίασε εύρος τιμών 0,6-0,85 αντίστοιχα. Υψηλότερη τιμή συνεκτικότητας παρουσίασαν τα δείγματα με πρωτεΐνη ορού γάλακτος, όσον αφορά τα κόμματα. Ακόμη η διαδικασία προσθήκης κόμματος μετά την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές συνεκτικότητας σε σχέση με την προσθήκη κόμματος πριν την ξήρανση.

Η προσκολλησιμότητα τυποποιημένου γιαουρτιού με λιπαρά 2% και 5% ήταν στο 70-80 N*s, ενώ τα ανασυσταμένα δείγματα με την ίδια περιεκτικότητα σε λιπαρά και με την προσθήκη κόμματος πριν ή μετά την ξήρανση παρουσίασαν προσκολλησιμότητα γύρω στο 10-35 N*s. Ακόμη τα δείγματα ανασυσταμένου γιαουρτιού με 0% λιπαρά εμφάνισαν προσκολλησιμότητα περίπου 25-45 N*s έναντι περίπου 35 N*s του τυποποιημένου γιαουρτιού. Σημαντικά υψηλότερη τιμή παρουσίασε το αραβικό κόμμα και χαμηλότερη τιμή προσκολλησιμότητας παρουσίασε το CMC. Ακόμη η διαδικασία προσθήκης κόμματος πριν την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές προσκολλησιμότητας σε σχέση με την προσθήκη κόμματος μετά την ξήρανση.

Το κομμιώδες των δειγμάτων του ανασυσταμένου γιαουρτιού είναι σημαντικά μειωμένο. Για το τυποποιημένο γιαούρτι κυμαίνεται γύρω στο 0,7-1N, ενώ για το ανασυσταμένο γιαούρτι γύρω στο 0,1-0,25 N. Υψηλότερες τιμές κομμιώδους παρουσιάζουν τα δείγματα με 5% λιπαρά. Σημαντικά υψηλότερη τιμή κομμιώδους παρουσίασε η πρωτεΐνη ορού γάλακτος και χαμηλότερη τιμή το αραβικό κόμμα. Ακόμη η διαδικασία προσθήκης κόμματος μετά την ξήρανση οδήγησε σε υψηλότερες τιμές κομμιώδους σε σχέση με την προσθήκη κόμματος πριν την ξήρανση.

Η οξύτητα των δειγμάτων ανασυσταμένου γιαουρτιού κυμαίνεται μεταξύ 1,4-2,2% γαλακτικού οξέος έναντι του τυποποιημένου που κυμαίνεται στο 1,4-1,6 % γαλακτικού οξέος.

Όσον αφορά τον οργανοληπτικό έλεγχο του ανασυσταμένου γιαουρτιού, εξήχθησαν σημαντικά συμπεράσματα για την εμφάνιση (πήγμα, συναίρεση), για την υφή στο κουτάλι (φινέτσα, κοκκώδες), την υφή στο στόμα (αδιάλυτα στερεά, συσσωματώματα, λιπαρότητα), το αντιληπτό χρώμα (ένταση λευκού), τη γεύση (όξινη γεύση του γιαουρτιού, άλλες γεύσεις), το άρωμα (χαρακτηριστικό άρωμα

του γιαουρτιού, τόνοι άλλων αρωμάτων). Τέλος, οι δοκιμαστές εκτιμώντας τη συνολική αρέσκεια υπέδειξαν καλύτερα τα δείγματα ανασυσταμένου γιαουρτιού που είχαν προέλθει από σκόνες με 0% λιπαρά και στη συνέχεια τα δείγματα με 2% και 5% λιπαρά. Όσον αφορά τα κόμμεα η σειρά αρέσκειας είχε ως εξής: πρωτεΐνη ορού γάλακτος, ζελατίνη/πηκτίνη, αραβικό κόμμι, CMC. Ακόμη τα δείγματα με προσθήκη κόμμεος πριν τη διαδικασία ξήρανσης ήταν πιο αρεστά από τα δείγματα στα οποία προστέθηκε το κόμμι μετά την ξήρανση.

Η σειρά πειραμάτων παραχθείσας σκόνης γιαουρτιού 0% λιπαρών με ξήρανση με ψεκασμό σε διαφορετικές αραιώσεις (τροφοδοσίας) και σε διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης έδωσε τα εξής συμπεράσματα: Καλύτερη θερμοκρασία ξήρανσης είναι οι 170 °C με 20% w/v αραιώση ως προς τη μάζα γιαουρτιού. Η ενεργότητα του νερού του αφυδατωμένου γιαουρτιού κινήθηκε σε αποδεκτά όρια, 0,25-0,30 όπως κινήθηκε και στα δείγματα της ξήρανσης με κατάψυξη. Όσον αφορά τη διαβροχή, τα δείγματα αφυδατωμένου γιαουρτιού παρουσίασαν μειωμένη ικανότητα διαβροχής η οποία μπορεί να αποδοθεί στην αύξηση της υδροφοβικότητας της επιφάνειας της σκόνης. Η αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης αύξησε τις διαφορές στο χρώμα. Οι τιμές του πορώδους ήταν αισθητά χαμηλότερες από ότι τα δείγματα του της ξήρανσης με κατάψυξη, σε εύρος τιμών 40%-50% που είναι χαρακτηριστικό για την ξήρανση με ψεκασμό. Τέλος το pH όπως και στο αφυδατωμένο με ξήρανση με κατάψυξη δεν έδειξε σημαντικές διαφορές και κινήθηκε μεταξύ 4,1-4,3. Η δοκιμή για ξήρανση δειγμάτων με λιπαρά σε διάφορες αραιώσεις είχε ως αποτέλεσμα, σε μικρές αραιώσεις να καίγονται τα λιπαρά και να προκαλούν προβλήματα στη διεργασία και με μεγάλες αραιώσεις να παραλαμβάνεται υγρή σκόνη.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι έγινε στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων για κάθε σειρά πειραμάτων με τη βοήθεια του λογισμικού Statistica 12, από την οποία ελήφθησαν σημαντικά συμπεράσματα. Ακόμη, με τη βοήθεια του ίδιου λογισμικού, έγινε συσχέτιση αποτελεσμάτων, με εφαρμογή PCA (Principal Component Analysis). Από την ανάλυση συμπερασματικά προέκυψε ότι η αρέσκεια, το πήγμα, η συναίρεση, η φινέτσα, τα αδιάλυτα στερεά, το λευκό χρώμα και το άρωμα έχουν θετική συσχέτιση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για τη συναίρεση, τα αδιάλυτα στερεά και το κοκκώδες η αύξηση της τιμής σημαίνει αύξηση της αποδοχής δηλαδή λιγότερη συναίρεση, λιγότερα αδιάλυτα στερεά, λιγότεροι κόκκοι. Ακόμη το διάγραμμα των δειγμάτων βοήθησε στην δημιουργία μιας πιο ολοκληρωμένης εικόνας.

Συνοπτικά τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 0% λιπαρών έχουν καλύτερα συνολικά χαρακτηριστικά. Όσον αφορά τα κόμμεα, η πηκτίνη ταυτίζεται σχεδόν με τη δράση της ζελατίνης και προσδίδει καλύτερα αντικειμενικά αποτελέσματα, ενώ η προσθήκη πρωτεΐνης ορού γάλακτος παρουσιάζει καλύτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Η προσθήκη κόμμεων πριν τη διαδικασία της ξήρανσης επιφέρει πολλά πλεονεκτήματα τόσο στην παραχθείσα σκόνη όσο και στις ιδιότητες ανασύστασης, ειδικά στα δείγματα με λιπαρά. Για αυτά τα πλεονεκτήματα έγιναν υποθέσεις και από τη συνολική εικόνα των αποτελεσμάτων έγιναν προτάσεις για αξιοποίησή τους καθώς και για περαιτέρω έρευνα όσον αφορά τα διάφορα επίπεδα μελέτης του θέματος.

ii) Abstract

YOGURT DRYING AND RECONSTITUTION

The present thesis has been conducted in the laboratory of Food Chemistry and Technology of the National Technical University of Athens. The experiments were performed during the academic years 2016-2018. The main purpose of this study was to dry stirred yogurt of different fats and to reconstitute the produced powder in order to improve the final characteristics, rheological and sensory, in order to simulate the characteristics of the reconstituted yogurt with the yogurt from which they originated. Yogurt products that were dried, were stirred with a different fat content of 0%, 2% and 5%. The methods chosen were freeze drying and spray drying. These methods are widespread in the industry and each has a particular scientific interest. Freeze drying present a low degradation in the quality of the product since it is a non-thermal method, while spray drying is more economical. However, both methods downgrade to some extent the rheological features. Thus, marketable yogurt powder is mainly used for coatings, fillings, flavors or beverages. Arabic gum, CMC (carboxymethyl cellulose), pectin, gelatin, whey protein were chosen for this study, as they are very common gums for the dairy industry. The content range was set at 1%, 2% and 3% on the dry mass of the respective solids of each yoghurt.

Three set of experiments were planned to study the above. In the first set, yogurt powder of different fats was produced by freeze-drying with addition of hydrocolloids at different content, after or before drying. Water activity, wettability, solubility, porosity, and color measurements were made to the produced powder.

In the 2nd set, yogurt powder of different fats was produced from freeze-drying with addition of hydrocolloids in different content, after or before drying. The reconstituted yogurt was characterized for pH, viscosity, texture, acidity, syneresis and sensory characteristics.

In the 3rd set, yogurt powder with 0% fats was produced by spray drying in different feeds and different drying temperatures. Water activity, porosity, wettability, solubility, color and pH measurements were made to the produced powder.

The yogurt powder of different fats, produced by freeze-drying with the addition of hydrocolloids at different content, after or before drying presented water activity in the range values from 0.25 to 0.35. As far as the wetting capacity is concerned, it decreases as the hydrophobicity of the powder increases, thus more wetting ability shows yoghurt powders with 0% fat demonstrate the highest values of wetting ability. Adding pectin increases the wetting capacity, while adding whey protein decreases it. Adding gums before drying increases the wettability of the powder, especially for 5% fat samples. Furthermore, the solubility of the powder is increased by the addition of gums and their addition before the drying process to the main yoghurt mass has a positive effect especially on the samples with fat content. Porosity also ranged between 60% and 70%, a characteristic range for freeze-drying products. Finally, the color of the powder produced by freeze-drying has the lowest possible degradation. However, the 5% fat samples show the greatest color difference.

The set of experiments on the reconstitution of yoghurt powder of different fats content produced by freeze drying with the addition of hydrocolloids at different content after or before drying showed that: The pH range of the reconstituted yogurt was between 4.0-4.4 and was not affected significantly. Samples with 0% fats yoghurt powder presented higher values of viscosity (in the range 8000-17,000 cps), while lower were in the samples with 5% fats yogurt powder (in the range 1,500-12,000 cps).

Pectin has proven to be the better gum in terms of viscosity. Addition of gum before drying results in much better results in the reconstituted yogurt compared to when the gum is added after drying.

The ability of samples of reconstituted yogurt to retain water is noticeably reduced. The difference is around 10-20% below the standard yogurt. The addition of gum generally improves water retention. Also, the samples whose gums were added prior to drying show a more invariable water retention capacity.

The hardness of the reconstituted yoghurt in all sample is greatly reduced (range about 0.1-0.45N) compared to the hardness of the standard yoghurt (range about 1-1.2N). Regarding consistency, the samples of reconstituted yoghurt showed a range of values of about 0.4-0.95 compared to the standard which showed a range of 0.6-0.85. Samples with whey protein as gum presented higher consistency values. Still, the gum addition after the drying process exhibited higher consistency values in relation to the addition of gums prior to drying.

The adhesion of yogurt with 2% and 5% fat was 70-80 N*s, while the reconstituted samples with the same fat content and with the addition of gums before or after drying showed adhesion around 10-35 N*s. Samples of reconstituted yoghurt with 0% fat exhibited adhesion of about 25-45 N*s compared to 35 N*s of stirred yogurt. Significantly higher values of adhesion presented the samples with arabic gum and a lower adhesion value was exhibited by the CMC. Still, the gum addition after the drying process exhibited higher adhesion values in relation to the addition of gums prior to drying.

The gummy of the reconstituted yogurt samples is significantly decreased. For the standard yogurt it is around 0.7-1 N, while for the reconstituted yogurt around 0.1-0.25 N. Higher gummy values show the samples with 5% fat. A significantly higher gummy value was reported in the whey samples and a lower value of gum arabic. Still, the gum addition after the drying process exhibited higher gummy values in relation to the addition of gums prior to drying.

The acidity of the reconstituted yoghurt samples ranges between 1.4-2.2% lactic acid compared to the standard, ranging from 1.4-1.6% lactic acid.

Regarding the sensory characteristics of the reconstituted yogurt, important conclusions were made for appearance (gel, syneresis), texture in the spoon (finesse, granular), texture in the mouth (insoluble solids, agglomerates, greasiness), white color, taste (yogurt's acid flavor, other flavors), flavor (characteristic yoghurt flavor, tones of other fragrances). Finally, the testers appreciating the overall liking best indicated the samples of reconstituted yoghurt that were derived from 0% fat powders and then the samples with 2% and 5% fat. For gums the order of liking was as follows: Whey protein, gelatin / pectin, arabic gum, CMC. Still the gum samples before the drying process were more desirable than the samples to which the gum was added after drying.

The set of experiments of yoghurt powder with 0% fat content produced by spray drying at different feed dilutions and different drying temperatures gave the following conclusions: Best drying temperature is 170 ° C with 20% w /v dilution as to the yoghurt mass. The water activity of the dehydrated yoghurt was within acceptable limits, 0.25-0.30 same with the freeze-dried samples. Regarding the wettability, dehydrated yogurt samples showed reduced wetting ability, which can be attributed to the increase in hydrophobicity of the surface of the powder. Increasing the drying temperature resulted in increased color differences. The porosity values were significantly lower than in the freeze-dried samples in range 40% -50% which is typical for spray drying. Finally, the pH did not show significant differences and moved between 4.1-4.3. The test of drying the samples with fat content in various dilutions resulted in burning the fat and causing problems in the process in small dilutions and in receiving liquid powders in large dilutions.

It should be noted that statistical analysis of results for each set of experiments was carried out with the help of Statistica 12 software, from which important conclusions were drawn. Also, with the help of the same software, a correlation of results was made by applying Principal Component Analysis (PCA). The analysis concluded that the liking, the gel, the syneresis, the finesse, the insoluble solids, the white color and the aroma have a positive correlation. It should be noted that for syneresis, insoluble solids and granules, the increase in the value means an increase in acceptability, less syneresis, less insoluble solids, fewer grains.

In summary, samples with 0% fat content yogurt powder presented better overall characteristics. In the case of gums, pectin is almost identical to the action of gelatin and gives better objective results, while the addition of whey protein has better sensory characteristics. The addition of gums prior to the drying process delivers many advantages in both the powder produced and the reconstitution properties, especially in the samples with fat content. These assumptions were hypothesized, and from the overall analysis of the results, proposals were made for their exploitation as well as for further research on the different levels of study in the subject.

iii) Εισαγωγή

Το γιαούρτι αποτελεί προϊόν ζύμωση του γάλακτος και καταμετρά αιώνες παραγωγής. Είναι ένα τρόφιμο ιδιαίτερα αγαπητό, με πολλά οφέλη για την υγεία, τα οποία δεν περιορίζονται μόνο στο ότι αποτελεί εναλλακτική πηγή ασβεστίου, αλλά επεκτείνονται σε οφέλη που αφορούν την εύρυθμη λειτουργία του γαστρεντερικού σωλήνα και του ανοσοποιητικού συστήματος. Το γιαούρτι, ως μέρος της αγοράς του γάλακτος, αποτελεί ένα κλάδο που αναπτύσσεται συνεχώς, καινοτομεί και διευρύνει το αγοραστικό κοινό του.

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής, η ανομοιόμορφη ζήτηση χρονικά και γεωγραφικά καθώς και ο υπερπληθυσμός έχουν δημιουργήσει ανάγκες για τρόφιμα μεγάλης διάρκειας ζωής, εύκολα στην αποθήκευση και τη μεταφορά. Τα αφυδατωμένα/ξηραμένα τρόφιμα καλύπτουν όλες αυτές τις ανάγκες και έχουν αποτελέσει σπουδαίο τομέα έρευνας τις τελευταίες δεκαετίες. Η ξήρανση με κατάψυξη και η ξήρανση με ψεκασμό αποτελούν δύο ιδιαίτερους τρόπους ξήρανσης τροφίμων. Η ξήρανση με κατάψυξη, λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας υποβαθμίζει και αλλοιώνει στο ελάχιστο το προϊόν, παρόλα αυτά αποτελεί μία πολύ δαπανηρή διεργασία λόγω των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών και της δημιουργίας κενού. Αν και το κόστος της μέχρι πρότινος ήταν απαγορευτικό και περιοριζόταν στη δημιουργία προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας, ο κατάλληλος σχεδιασμός και οι καινούργιοι εξοπλισμοί έχουν καταφέρει να την κάνουν οικονομικά πιο προσφιλή. Η ξήρανση με ψεκασμό χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στη βιομηχανία του γάλακτος και παρόλο την υποβάθμιση του προϊόντος λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, αποτελεί μία οικονομική διεργασία. Αυτές οι δύο μέθοδοι εξετάστηκαν και στην παρούσα εργασία.

Σκόνη γιαουρτιού είναι ήδη εμπορεύσιμη και χρησιμοποιείται στην αρτοποιία, την ζαχαροπλαστική, και γενικότερα στη βιομηχανία τροφίμων και καλλυντικών. Η χρήση της περιορίζεται στις επικαλύψεις, στα γεμίσματα και στην προσθήκη του χαρακτηριστικού του αρώματος, λόγω της υποβάθμισης των ρεολογικών ιδιοτήτων του γιαουρτιού από τις διεργασίες ξήρανσης. Η έρευνα για παραγωγή σκόνης γιαουρτιού με βελτιωμένα χαρακτηριστικά μπορεί να προσδώσει πλεονέκτημα διαφοροποίησης, διευρύνοντας τις χρήσεις της και καλύπτοντας περισσότερες ανάγκες. Μία σκόνη γιαουρτιού με βελτιωμένα χαρακτηριστικά μπορεί να πωληθεί κατευθείαν από τη βιομηχανία στον καταναλωτή (B2C) ως instant food (στιγμιαίο τρόφιμο), εύκολο στην αποθήκευση και τη μεταφορά, χωρίς χρήση ψυγείου, έτοιμο για κατανάλωση με την προσθήκη νερού σε ένα μπολ. Ακόμη, θα ήταν ιδανικό για πωλήσεις από βιομηχανία σε βιομηχανία (B2B). Σε περιοχές που η παραγωγή γιαουρτιού είναι απαγορευτική λόγω συνθηκών ή λόγω έλλειψης εξοπλισμού, ένα απλό δοχείο ανάδευσης θα ήταν ικανό για την παραγωγή και εμπορία γιαουρτιού.

Για τις βελτιωτικές ιδιότητές τους στα τρόφιμα είναι πολύ γνωστά τα υδροκολλοειδή. Συχνά χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων λόγω των παχυντικών, σταθεροποιητικών και εγκλειστικών ιδιοτήτων τους. Υδροκολλοειδή χρησιμοποιούνται και στην παραγωγή γιαουρτιού, ως σταθεροποιητές πήγματος ή ως μέσα για την καλύτερη ενσωμάτωση γεύσεων και αρωμάτων. Το αραβικό κόμμα, το CMC, η πηκτίνη, η ζελατίνη και η πρωτεΐνη ορού γάλακτος είναι μερικά από εκείνα που χρησιμοποιούνται στη γαλακτοβιομηχανία. Αυτά τα κόμματα και οι ιδιότητές τους σε διαφορετικά ποσοστά και με προσθήκη πριν ή μετά την ξήρανση του γιαουρτιού εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία.

Τέλος, ο πλήρης χαρακτηρισμός των τροφίμων δεν περιορίζεται μόνο σε αντικειμενικές μετρήσεις. Πολύ σημαντικός είναι και ο οργανοληπτικός έλεγχος ιδιαίτερα των νέων τροφίμων. Τα αποτελέσματά του δίνουν σημαντικά στοιχεία για τη διεργασία καθώς και την καταναλωτική

αποδοχή. Έτσι στην παρούσα εργασία πέρα από τις ιδιότητες της σκόνης του γιαουρτιού και της ανασύστασής της, μελετήθηκαν και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του ανασυσταμένου προϊόντος γιαουρτιού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^A : Γιαούρτι

1^A.1 Γενικά

Το γιαούρτι αποτελεί ένα γαλακτοκομικό προϊόν ζύμωσης που προσμετρά αιώνες παράδοσης και έντονης παρουσίας στη σύγχρονη αγορά τροφίμων. Η διαδικασία της ζύμωσης του γάλακτος ουσιαστικά αποτελεί την παλαιότερη μέθοδο παρασκευής προϊόντος με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, καθώς τα θρεπτικά συστατικά του γάλακτος προστατεύονταν μέσω της διαδικασίας αυτής από την υποβάθμιση και την αλλοίωση λόγω των υψηλών θερμοκρασιών. Στην πραγματικότητα, η ζύμωση του γάλακτος ανακαλύφθηκε τυχαία κατά την αποθήκευσή του σε σακούλες από έντερα ζώων. Συνεπώς, η επαφή του γάλακτος με τα εντερικά υγρά σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούσαν, προκάλεσε την πήξη του γάλακτος και την ελαφρά όξινη γεύση του (Fisberg and Machado 2015). Η αρχαία Ινδία, η Μεσοποταμία και η Αίγυπτος αποτέλεσαν τις πρώτες περιοχές όπου υπήρξε ανάπτυξη γαλακτοκομικών προϊόντων και τον 11^ο αιώνα υπάρχει η πρώτη καταγραφή του "yoğurtmak", τούρκικης λέξης η οποία σημαίνει πυκνότητα, πήξη, ή πήγμα. Τον 20^ο αιώνα οι ερευνητές εξηγούν τεκμηριωμένα τα οφέλη της κατανάλωσης γιαουρτιού στην υγεία του ανθρώπου και έτσι σήμερα το γιαούρτι (yogurt) αποτελεί κύριο τρόφιμο της μεσογειακής διατροφής, στηρίζει ενεργά τον κλάδο της γαλακτοβιομηχανίας απευθυνόμενο σε μία μεγάλη αγορά η οποία συνεχώς εξελίσσεται και ανοίγει σε ευρύτερο αγοραστικό κοινό (Farnworth 2008).

Συγκεκριμένα ως γιαούρτι ορίζεται σύμφωνα με τον ισχύοντα Ελληνικό Κώδικα Τροφίμων και Ποτών (άρθρο 82/2009) ως το προϊόν «το οποίο προκύπτει μετά από πήξη αποκλειστικά και μόνο νωπού γάλακτος της αντίστοιχης προς την ονομασία φύσης και προέλευσης, με την επίδραση καλλιέργειας ζύμης που προκαλεί ειδική γι' αυτό ζύμωση. Το γιαούρτι πρέπει να περιέχει λίπος και στερεό υπόλειμμα άνευ λίπους (Σ.Υ.Α.Λ.) σε ποσοστό ανώτερο κατά 10% τουλάχιστον από τα όρια που καθορίζονται στο άρθρο 80 (παράγραφος 3) των αντίστοιχων ειδών γάλακτος, από τα οποία παρασκευάστηκε αυτό. Επιπρόσθετα είναι επιτρεπτή η παρασκευή πλήρους γιαουρτιού από μίγμα ίσων μερών νωπού γάλακτος αγελάδας και βουβάλου ή προβάτου» (Κώδικας Τροφίμων και Ποτών 2009).

Κατά τη διάρκεια της παραγωγής του γιαουρτιού, το γάλα ζυμώνεται με τη βοήθεια βακτηριακών καλλιεργειών. Η ζύμωση γίνεται υπό ελεγχόμενες θερμοκρασίες (42-43 °C) και περιβαλλοντικές συνθήκες (σε δεξαμενή ζύμωσης), ειδικά στη βιομηχανική παραγωγή. Τα βακτήρια προσλαμβάνουν τα φυσικά σάκχαρα του γάλακτος και εκλύουν το γαλακτικό οξύ ως παραπροϊόν, έτσι το pH του γάλακτος πλησιάζει το ισοηλεκτρικό σημείο της καζεΐνης, της πρωτεΐνης του γάλακτος η οποία καταβυθίζεται και προσδίδει το χαρακτηριστικό πήγμα του γιαουρτιού (Farnworth 2008). Παράλληλα, παρατηρείται αύξηση του βακτηριακού πληθυσμού κατά 100 έως 10.000 φορές (τελική συγκέντρωση περίπου 10⁹ μικροοργανισμοί/mL) και παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, οξικού οξέος, διακετυλίου, ακεταλδεϋδης και διαφόρων άλλων ουσιών, οι οποίες προσδίδουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά στο τελικό ζυμωμένο προϊόν. Τέλος, η αυξημένη οξύτητα (pH=4-5) αποτρέπει τον πολλαπλασιασμό των δυνητικά παθογόνων βακτηρίων. (Mahomud,2017)

Η διάρκεια συντήρησης του γιαουρτιού μπορεί να κυμαίνεται από 1 έως 6 εβδομάδες και αυτό εξαρτάται: α) από τη θερμοκρασία συντήρησης, β) από την αρχική τιμή pH, γ) από τις επιμολύνσεις

και δ) από τη μέθοδο παραγωγής και το είδος της συσκευασίας. Στην πράξη ο χρόνος συντήρησης κυμαίνεται από 3 έως 5 εβδομάδες. Ο Κώδικας Τροφίμων και Ποτών δίνει τον ενδεικτικό χρόνο συντήρησης 15 ημερών σε θερμοκρασία 0- 2°C. Μετά το χρόνο αυτό το γιαούρτι γίνεται ακατάλληλο κυρίως λόγω υπεροξίνισης και διαχωρισμού ορού.

1^A.2 Πρώτες Ύλες

Για την παραγωγή γιαουρτιού είναι απαραίτητα το γάλα και η βακτηριακή καλλιέργεια. Παρόλα αυτά γίνεται εκτενής χρήση πρόσθετων.

1^A.2.1 Γάλα

Το γάλα, η βακτηριακή μαγιά και τα εκάστοτε χαρακτηριστικά τους επηρεάζουν ως πρώτες ύλες το τελικό προϊόν. Το γάλα είναι η τροφή που η φύση προόρισε για τη διατροφή και τη γρήγορη ανάπτυξη των νεογέννητων στα θηλαστικά και ορίζεται από τον Ελληνικό Κώδικα Τροφίμων και Ποτών ως το «απαλλαγμένου πρωτογάλακτος προϊόν της ολοσχερούς, άνευ διακοπής αμέλξεως υγιώς έχοντος γαλακτοφόρου ζώου, διαβιούντος και διατρεφόμενου υπό υγιεινούς όρους και μη ευρισκομένου εις κατάστασιν υπερκοπώσεως» (Κ.Τ.Π. 2009). Ορισμός του πρωτογάλακτος καταδεικνύει το έκκριμα του μαστού των γαλακτοπαραγωγών ζώων κατά τις πρώτες 5-6 ημέρες μετά τον τοκετό (Μάντης 2000). Συμπερασματικά, αποτελεί ένα περίπλοκο βιολογικό υγρό, η σύσταση και τα φυσικά χαρακτηριστικά του οποίου διαφέρουν από είδος σε είδος, ανάλογα με τις διατροφικές ανάγκες του νεογέννητου.

Τα συστατικά του γάλακτος διαφέρουν ποιοτικά και ποσοτικά ανάλογα με το είδος του γαλακτοφόρου ζώου (Saxelin 2003). Τα κύρια συστατικά του γάλακτος είναι το νερό, τα λιπίδια, οι πρωτεΐνες, οι υδατάνθρακες και τα ανόργανα άλατα. Σε μικρότερες αναλογίες υπάρχουν μεταλλικά και άλλα υδατοδιαλυτά συστατικά, τα οποία περνούν στο γάλα όπως υπάρχουν στο αίμα, χωρίς να υποστούν κανένα μετασχηματισμό στο μαστικό αδέν (Varnam and Sutherland 1994, Μάντης 2000). Το μεγαλύτερο μέρος της βιομηχανοποιημένης παραγωγής γιαουρτιού χρησιμοποιεί το αγελαδινό γάλα. Μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί πλήρες γάλα, μερικώς αποβουτυρωμένο γάλα, αποβουτυρωμένο γάλα ή κρέμα γάλακτος. Η μέση χημική σύσταση του γάλακτος αγελάδας το οποίο αποτελεί το βασικό είδος για την παραγωγή γιαουρτιού είναι: Νερό: 87%, Λίπος: 3,6%, Καζεΐνη: 2,8%, Πρωτεΐνες ορού: 0,6% και Λακτόζη:4,9%. Για να εξασφαλιστεί η ανάπτυξη των βακτηρίων κατά την παραγωγή γιαουρτιού, τα ακόλουθα κριτήρια πρέπει να πληρούνται για το γάλα: χαμηλός αριθμός βακτηρίων, να είναι απαλλαγμένο από αντιβιοτικά, χημικά, πρωτόγαλα, ταγγισμένο γάλα και τέλος να μην υπάρχει μόλυνση από βακτηριοφάγους. (Walster et al.2006)

Ακολουθούν πίνακες με τα βασικά χαρακτηριστικά του γάλακτος. Στον πίνακα 1^A.1 παρουσιάζονται τα κύρια συστατικά τυπικού γάλακτος, το οποίο προέρχεται από θηλαστικά πεδινών φυλών, καθώς και το αντίστοιχο % w/w ποσοστό τους και στη συνέχεια παρατίθεται μία σύντομη περιγραφή καθενός εξ αυτών. Στον πίνακα 1^A.2 αναφέρεται η τυπική σύσταση του γάλακτος για διάφορα είδη θηλαστικών ζώων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ζυμωμένων προϊόντων γάλακτος.

Πίνακας 1^Α.1: Συστατικά γάλακτος (Walstra et al. 2006)

Συστατικό	Μέση Περιεκτικότητα στο γάλα (%w/w)	Εύρος (%w/w)	Μέση περιεκτικότητα επί ξηρής μάζας (%w/w)
Νερό	87.1	85.3-88.7	-
Στερεά-μη λιπαρά	8.9	7.9-10.0	-
Λιπαρά επί ξηρής μάζας	31	22-38	-
Λακτόζη	4.6	3.8-5.3	36
Λιπίδια	4.0	2.5-5.5	31
Πρωτεΐνες	3.3	2.3-4.4	25
Καζεΐνη	2.6	1.7-3.5	20
Ανόργανα συστατικά	0.7	0.57-0.83	5.4
Οργανικά οξέα	0.17	0.12-0.21	1.3
Λοιπά συστατικά	0.15	-	1.2

*Η συνολική περιεκτικότητα του γάλακτος σε όλες τις ουσίες εκτός του νερού καλείται περιεκτικότητα ξηρής μάζας.

Πίνακας 1^Α.2: Σύσταση του γάλακτος διαφόρων θηλαστικών (%)(Tamime and Robinson 2000, Chandan 2006)

Γάλα/ Προέλευση	Νερό (%)	Λιπαρά (%)	Πρωτεΐνη (%)	Λακτόζη (%)	Τέφρα (%)
Αγελάδα	87,4	3,9	3,3	4,7	0,7
Βούβαλος	82,1	8,0	4,2	4,9	0,8
Γίδα	87,0	4,5	3,3	4,6	0,6
Πρόβατο	81,6	7,5	10,3	2,7	1,4
Καμήλα	87,1	4,2	3,7	4,1	0,9
Άλογο	88,8	1,9	2,6	6,2	0,5
Φοράδα	89,0	2,5	2,0	6,0	0,5
Ινδικός βους	82,7	6,5	5,3	4,6	0,9

1^A .2.1.α Νερό

Το νερό αποτελεί το μέσο στο οποίο είναι διαλυμένα τα διάφορα συστατικά του γάλακτος (ολικά στερεά), ενώ μικρές ποσότητες νερού μπορεί να βοηθούν την ενυδάτωση ή να δεσμεύονται χημικά από τη λακτόζη, τα άλατα, αλλά και τις πρωτεΐνες. Το περιεχόμενο νερό κυμαίνεται από 85,4% έως 87,7% ανάλογα με το είδος του γάλακτος (Kailasapathy 2008).

1^A .2.1.β Υδατάνθρακες

Ο κυριότερος υδατάνθρακας που περιέχεται στο γάλα είναι η λακτόζη. Γενικά υπάρχουν σε μικρά ποσά αρκετοί μονοσακχαρίτες, ουδέτεροι ή όξινοι ολιγοσακχαρίτες καθώς και σάκχαρα δεσμευμένα με πρωτεΐνες ή πεπτίδια (Μάντης 2000). Η λακτόζη η οποία αποτελεί χαρακτηριστικό δισακχαρίτη, με μόρια α-D-γλυκόζης και β-D-γαλακτόζης μπορεί να διαχωριστεί από το γάλα ή, στη βιομηχανική πρακτική, από τον ορό γάλακτος, μέσω κρυστάλλωσης, και να χρησιμοποιηθεί μετέπειτα ως υλικό πλήρωσης, αλλά και ως πρώτη ύλη για την παραγωγή διαφόρων χημικών ή ενζυμικών παραγώγων, όπως λακτιτόλη, λακτουλόζη και ολιγοσακχαρίτες. Ακόμη μπορεί να βρει πρακτική χρήση στη βιομηχανία τροφίμων καθώς ένα διάλυμα λακτόζης είναι περίπου 0,3 φορές πιο γλυκό από ένα διάλυμα σακχαρόζης της ίδιας συγκέντρωσης. Παρόλα αυτά η έλλειψη λακτάσης του ανθρώπινου μεταβολικού συστήματος οδηγεί σε δυσανεξία και καθιστά απαγορευτική την κατανάλωση προϊόντων με λακτόζη. Συγκεκριμένα, στο γιαούρτι κατά την ζύμωση του γάλακτος το 20% της λακτόζης ζυμώνεται, οπότε τα άτομα που πάσχουν από δυσανεξία στη λακτόζη ίσως μπορούν να καταναλώσουν το γιαούρτι χωρίς να επηρεαστούν (Smit and Fox 2003).

1^A .2.1.γ Λιπίδια

Τα λίπη του γάλακτος θεωρούνται μοναδικά και έχουν μεγάλη επίδραση στα οργανοληπτικά και θερμιδικά χαρακτηριστικά του γιαουρτιού. Γενικά τα λιπίδια είναι εστέρες λιπαρών οξέων και συναφών συστατικών, αποτελούνται κυρίως από τριγλυκερίδια και εμφανίζουν διαλυτότητα σε μη πολικούς οργανικούς διαλύτες, ενώ παραμένουν αδιάλυτα στο νερό. Στην κατηγορία των λιπιδίων συμπεριλαμβάνονται τα φωσφολιπίδια, η χοληστερόλη, τα ελεύθερα λιπαρά οξέα, τα μονογλυκερίδια και τα διγλυκερίδια (Walstra et al. 2006). Ειδικότερα, τα λιπαρά του γάλακτος είναι διαμορφωμένα σε σφαιρίδια, διαμέτρου 1 έως 20μm, τα οποία περιβάλλονται από μία σφαιρική μεμβράνη, η σύσταση της οποίας δομείται από πρωτεΐνες, λιπίδια, λιποπρωτεΐνες, φωσφολιπίδια, νουκλεϊκά οξέα, ένζυμα και δεσμευμένο νερό. Τα περισσότερα γάλατα που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή γιαουρτιού περιέχουν λιπαρά περίπου 3,5% (Chandan 2006), εκ των οποίων τα τριγλυκερίδια προσεγγίζουν το 98%, ενώ σε ποσοστό μικρότερο από 1% υπάρχουν φωσφολιπίδια και σε μικρότερες ποσότητες διγλυκερίδια, μονογλυκερίδια, χοληστερόλη και ίχνη άλλων λιπιδίων (Smith 2003). Συνεχίζοντας για το πλήρες γάλα, αναφέρεται ότι το 57% των λιπαρών του είναι κορεσμένα, με κυριότερα το παλμιτικό, στεατικό και μυριστικό οξύ, το 25% είναι μονοακόρεστα, ενώ το 6% είναι πολυακόρεστα. Η μοναδικότητα των λιπαρών έγκειται στο γεγονός ότι αποτελούνται από ένα σχετικά υψηλό αριθμό κορεσμένων λιπαρών μικρής και μεσαίας αλυσίδας. Επιπλέον η ποσότητα και η σύσταση των λιπαρών, που διαμορφώνει σε μεγάλο βαθμό τα οργανοληπτικά και φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του γάλακτος, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, από το είδος του γαλακτοφόρου ζώου μέχρι και το διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών αμέλξεων. (Jensen & Kroger 2000, Fox 2003)

1^A .2.1.δ Πρωτεΐνες

Οι πρωτεΐνες του γάλακτος διαχωρίζονται σε δύο διακριτούς τύπους: τις πρωτεΐνες ορού και τις καζεΐνες (Kailasapathy 2008). Συγκεκριμένα για το γάλα, το 80% των πρωτεϊνών του αποτελείται από καζεΐνες και το 20% από πρωτεΐνες ορού γάλακτος. Σαφώς περιέχονται και πολλές άλλες δευτερεύουσες πρωτεΐνες που μπορεί να βρίσκονται και σε ίχνη καθώς και ένα ευρύ φάσμα ενζύμων (Walstra et al. 2006), ορισμένα εκ των οποίων παρατίθενται στον πίνακα 1^A.3.

Οι πρωτεΐνες του ορού γάλακτος είναι υδατοδιαλυτές και αποτελούνται από β-γαλακτοαλβουμίνη, α-γαλακτοαλβουμίνη, οροαλβουμίνη, ανοσογλοβουλίνες (IG₁, IG₂, IGA, IGM, FSC), πρωτεάσες και πλήθος διαφόρων ενζύμων. Η κυριότερη είναι β-λακτοσφαιρίνη, όπου σε pH < 3.5 το διμερές της διασπάται σε μονομερή, ενώ σε εύρος pH 3.7-6.5, η πρωτεΐνη συσσωματώνεται για να σχηματίσει ένα οκταμερές. Αυτή η αντίδραση είναι αναστρέψιμη. Σε αντίθεση με τη θερμικά σταθερή καζεΐνη, οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος μετουσιώνονται εύκολα με θερμικές κατεργασίες πάνω από τους 70°C και έχουν πιο ταξινομημένη σφαιρική δομή η οποία περιέχει δισουλφιδικούς δεσμούς. Ως αποτέλεσμα τέτοιων θερμικών επεξεργασιών, τα μετουσιωμένα συσσωματώματα των πρωτεϊνών του ορού γάλακτος πήζουν ή, ανάλογα με τη συγκέντρωσή τους και τις περιβαλλοντικές συνθήκες όπως το pH και η ιοντική ισχύς, σχηματίζουν πρωτεϊνικό πήγμα (Jost 2000). Από την άλλη πλευρά έχει αναφερθεί ότι οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος έχουν μεγαλύτερη βιολογική αξία σε σχέση με τις καζεΐνες (Chandan 2006).

Οι καζεΐνες με βάση τη διάταξη των αμινοξέων στο μόριό τους διακρίνονται σε α_{s1}⁻, α_{s2}⁻, β- και κ-καζεΐνες. Εμφανίζουν ισοηλεκτρικό σημείο, δηλαδή σημείο καταβύθισης, σε pH περίπου 4.6 και απαντώνται σε συγκεκριμένη δομή. Οι καζεΐνες απαντούν στο γάλα σε μορφή συμπλόκων μορίων τα οποία καλούνται μικκύλια και βρίσκονται σε κolloειδή διασπορά στην υδατική φάση. Τα μικκύλια αποτελούνται κατά 93% από καζεΐνες και κατά το υπόλοιπο από ανόργανα συστατικά (φωσφόρος, ασβέστιο). Το μέγεθος των μικκυλίων κυμαίνεται από 50 έως 600nm και η αύξηση του μεγέθους αυτών σταματά, όταν όλη η επιφάνειά τους αποτελείται από κ-καζεΐνες, οι οποίες λόγω της υδροφιλίας τους σταθεροποιούν το μικκύλιο. Κατά την οξίνιση το ανόργανο τμήμα διασπείρεται καθώς η καζεΐνη καθιζάνει και σχηματίζει το πήγμα του γιαουρτιού. Παρόλα αυτά και σε αντίθεση με τις πρωτεΐνες ορού, η καζεΐνη δεν μετουσιώνεται κατά τη θερμική κατεργασία, αλλά η θέρμανσή της πάνω από τους 120°C μπορεί να προκαλέσει μείωση της διαλυτότητάς της, λόγω χημικών αλλαγών στη δομή της (Μάντης 2000, Jensen 1995, Smit 2003).

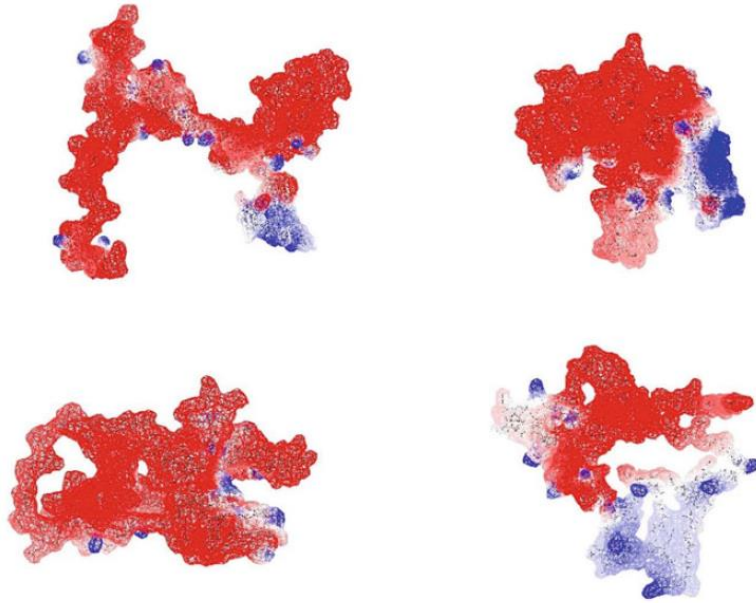
Πίνακας 1^A.3: Πρωτεΐνες γάλακτος (Walstra et al. 2006)

Πρωτεΐνη	mmol/m ³ Γάλακτος	g/kg Γάλακτος	g/100g Πρωτεΐνης	Μοριακή μάζα
Καζεΐνη	1120	26	78.3	-
α _{s1} ⁻	450	10.7	32	23600
α _{s2} ⁻	110	2.8	8.4	25200
β-καζεΐνη	360	8.6	26	23983
κ-καζεΐνη	160	3.1	9.3	19550

γ-καζεΐνηη	40	0.8	2.4	20500
Πρωτεΐνες ορού	320	6.3	19	-
β-λακτοσφαιρίνη	180	3.2	9.8	18283
α-λακταλβουμίνη	90	1.2	3.7	14176
αλβουμίνη ορού	6	0.4	1.2	66267
Πρωτεάση-πεπτόνη	40	0.8	2.4	4000-40000
Ανοσοσφαιρίνες	4	0.8	2.4	-
IgG1, IgG2	-	0.65	1.8	150000
IgA	-	0.14	0.4	385000
Gm	-	0.05	0.2	900000
Άλλες	-	0.9	2.7	-
Λακτοσφαιρίνη	1	0.1	-	86000
Τρανσφερίνη	1	0.01	-	76000
Πρωτεΐνες Μεμβράνης	-	0.7	2	-
Ένζυμα	-	-	-	-

Πίνακας 1^Α .4: Βασικές διαφορές στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των καζεΐνών και των πρωτεΐνών ορού γάλακτος (Chandan 2006)

Καζεΐνες	Πρωτεΐνες ορού γάλακτος
Ισχυρά υδρόφοβες περιοχές	Υδροφοβικές και υδρόφιλες περιοχές
Περιέχουν κατάλοιπα φωσφόρου	Δεν περιέχουν κατάλοιπα φωσφόρου
Περιέχουν μικρές ποσότητες κυστεΐνης	Περιέχουν ποσότητες κυστεΐνης και κυστίνης
Σπειροειδή μορφή	Σφαιρική και ελικοειδή μορφή
Πολύ σταθερές σε θερμική επεξεργασία	Μετουσιώνονται και καθιζάνουν με θερμική επεξεργασία
Καθιζάνουν σε pH=4,6	Διαλυτές σε pH=4,6



Εικόνα 1^Α.1 : Τα τρισδιάστατα μοριακά μοντέλα των καζεϊνών. Αριστερά πάνω: α_{S1} - καζεΐνη, δεξιά πάνω: α_{S2} -καζεΐνη
Κάτω: αριστερά β - καζεΐνη και δεξιά κ - καζεΐνη. Τα μοντέλα εμφανίζουν ένα ψευδο-φορτισμένο δυναμικό επιφάνειας που απεικονίζεται με κόκκινο το αρνητικό και με μπλε το θετικό φορτίο. (McSweeney, 2013)

1^Α .2.1.ε Ένζυμα

Το γάλα περιέχει περισσότερα από 60 ένζυμα, πολλά από τα οποία χρησιμοποιούνται ως δείκτες ποιοτικού ελέγχου στο γάλα. Η προέλευσή τους μπορεί να είναι από το μαστό ή από τα βακτήρια και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της ποιότητας του γάλακτος ή των γαλακτοκομικών προϊόντων. Ωστόσο, δεν φαίνεται να παίζουν σημαντικό ρόλο ως θρεπτικά συστατικά (Mantis 2000). Αναφέρονται χαρακτηριστικά τα εξής: οξειδάση της ξανθίνης, γλουταμυλτρανσφεράση, καταλάση, λιποπρωτεϊνική λιπάση, λακτοπεροξειδάση, ριβονουκλεάση, λυσοζύμη, κ.α. (Miller et al. 2007).

1^Α .2.1.στ Βιταμίνες

Στο γάλα εμπεριέχονται βιταμίνες, τόσο λιποδιαλυτές, όσο και υδατοδιαλυτές. Η κυριότερη λιποδιαλυτή βιταμίνη είναι η βιταμίνη Α, η οποία βρίσκεται κυρίως σε μορφή εστέρα του παλμιτικού οξέος στο γάλα. Ακόμη, στο γάλα εμπεριέχονται σημαντικές ποσότητες βιταμίνης D, και συγκεκριμένα ως μίγμα βιταμινών D₂ και D₃, η οποία ενισχύει την εντερική απορρόφηση του ασβεστίου και του φωσφόρου, γι' αυτό είναι απαραίτητη για τη διατήρηση του υγιούς ανθρώπινου σκελετού, βιταμίνης E, η οποία απαντάται ως α -τοκοφερόλη, αντιοξειδωτικό το οποίο προστατεύει την κυτταρική μεμβράνη και τις λιποπρωτεΐνες από οξειδωτική βλάβη από ελεύθερες ρίζες (Institute of Medicine 2000), καθώς και βιταμίνης K η οποία απαντάται σε πολύ μικρές ποσότητες αλλά είναι απαραίτητη για την πήξη του αίματος (Kailasapathy 2008).

Όσον αφορά στις υδατοδιαλυτές βιταμίνες που βρίσκονται στο γάλα, υπάρχουν αυτές του συμπλέγματος B, κυρίως στο γάλα των μηρυκαστικών. Συγκεκριμένα, έχουν εντοπιστεί ποσότητες επαρκείς για να προσδώσουν οφέλη στον ανθρώπινο οργανισμό θειαμίνης (Βιταμίνη B1), η οποία δρα ως συνένζυμο για πολλές αντιδράσεις στο μεταβολισμό των υδατανθράκων και ριβοφλαβίνης

(Βιταμίνη Β2) η οποία λειτουργεί ως πρόδρομος για ορισμένα συνένζυμα που είναι σημαντικά για την οξειδωση της γλυκόζης, των λιπαρών οξέων και των αμινοξέων (Miller et al. 2007).

1^A .2.1.ζ Μεταλλικά στοιχεία και Ιχνοστοιχεία

Το γάλα περιέχει αρκετά μεταλλικά στοιχεία, είτε σε ιοντική μορφή, είτε δεσμευμένα με άλλα συστατικά, είτε τέλος σε μορφή αλάτων. Από τα κυριότερα είναι: Ca²⁺, Na⁺, K⁺, Mg⁺, Cl⁻ και P⁻. Η περιεκτικότητα του γάλακτος σε μεταλλικά στοιχεία είναι μικρότερη από 1%, ωστόσο αυτά επηρεάζουν πολλά από τα χαρακτηριστικά του γάλακτος (Μάντης 2000, Chandan 2006).

Σε ακόμη μικρότερο ποσοστό, αλλά με πολύ μεγάλη σημασία περιέχονται πολλά ιχνοστοιχεία στο γάλα υπό μορφή οργανικών ενώσεων, συνδεδεμένα κυρίως με πρωτεΐνες, αν και ορισμένα από αυτά όπως ο χαλκός, ο σίδηρος, το μαγγάνιο, ο ψευδάργυρος, κ.α. βρίσκονται και στη μεμβράνη των λιποσφαιρίων. Όλα αυτά τα θρεπτικά συστατικά είναι απαραίτητα για την υγεία του ανθρώπου, παρόλο που ο οργανισμός τα χρειάζεται σε ποσότητες της τάξης των mg/ημέρα (Μάντης 2000).

1^A .2.2 Βακτηριακή Καλλιέργεια

Η άλλη πολύ σημαντική πρώτη ύλη είναι η βακτηριακή καλλιέργεια, όπου για τα γαλακτοκομικά προϊόντα είναι τα γαλακτικά βακτήρια. Τα γαλακτικά είναι θετικά κατά Gram, δεν κινούνται, δεν σχηματίζουν σπόρια και δεν είναι ικανά να παράγουν ενώσεις πορφυρίνης που περιέχουν σίδηρο, όπως η καταλάση και το κυτόχρωμα. Έτσι, αναπτύσσονται αναερόβια, αλλά παρουσιάζουν και ανοχή στο οξυγόνο. Ζυμώνουν αποκλειστικά σάκχαρα, με το γαλακτικό οξύ να είναι το κύριο τελικό προϊόν. Τείνουν να είναι επιλεκτικά ως προς τα θρεπτικά υποστρώματα στα οποία αναπτύσσονται, συχνά απαιτώντας συγκεκριμένα αμινοξέα και βιταμίνες Β ως αυξητικούς παράγοντες (Walstra et al. 2006). Ειδικότερα η γαλακτική ζύμωση της λακτόζης του γάλακτος προς γιαούρτι γίνεται από τα θερμοφιλά γαλακτικά βακτήρια *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* και *Streptococcus thermophilus* που δρουν συνεργιστικά. Τα δύο αυτά οξυγαλακτικά βακτήρια αναπτύσσονται και παράγουν γρήγορα οξύτητα στο γάλα καθώς το ένα ενισχύει την ανάπτυξη του άλλου. Αρχικά ο στρεπτόκοκκος προκαλεί πτώση του pH μέχρι την τιμή 5,0 και στη συνέχεια ο βάκιλος ευθύνεται για την περαιτέρω πτώση του pH μέχρι την τιμή 4,2, όταν ήδη το pH έχει φτάσει το ισοηλεκτρικό σημείο των καζεϊνών (pH 4,6) και έχει ξεκινήσει η όξινη πήξη του γάλακτος. Επιπρόσθετοι προαιρετικοί οργανισμοί, μπορούν να ενσωματωθούν στο γιαούρτι είτε μέσω της καλλιέργειας εκκίνησης, είτε μέσω ανάμιξης σε αυτό μετά την ολοκλήρωση της ζύμωσης. (Sfakianakis ,2014)

1^A .2.2.α *Streptococcus thermophilus*

Το γένος *Streptococcus* περιλαμβάνει 27 είδη, ωστόσο μόνο ένα είδος χρησιμοποιείται στις οξυγαλακτικές καλλιέργειες, ο *StreptococcusSalivarius subsp. Thermophilus*. Ο *Streptococcus thermophilus* ανήκει στην κατηγορία των στρεπτόκοκκων και είναι θετικός κατά Gram, δεν παράγει καταλάση, είναι αναερόβιος και έχει μορφή κόκκου. Αναπτύσσεται καλά στο γάλα και ζυμώνει τη λακτόζη και τη σακχαρόζη, για αυτό χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό στην παρασκευή ποικιλιών σκληρού τυριού, μοτσαρέλας και γιαουρτιού. Δεν αναπτύσσεται στους 10°C, αλλά αναπτύσσεται

καλά στους 45°C , τα περισσότερα στελέχη του μπορούν να επιβιώσουν στους 60°C για 30 min και είναι πολύ ευαίσθητος στα αντιβιοτικά (Hui 2004).

1^A .2.2.β *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*

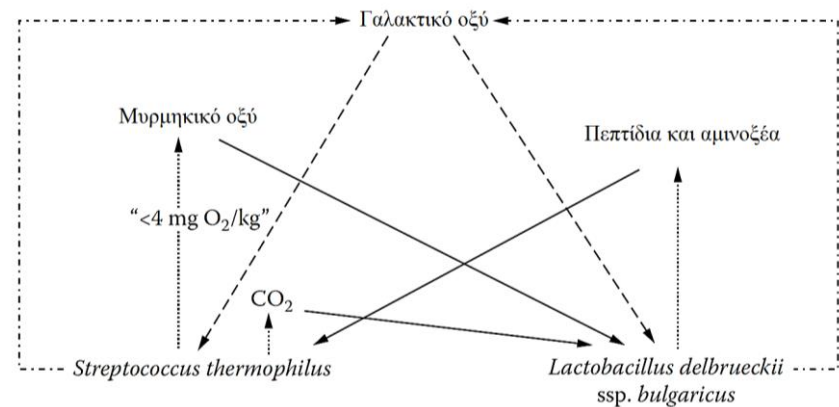
Οι *Lactobacilli* είναι μία μεγάλη και ετερογενής ομάδα μικροοργανισμών η οποία αποτελείται από 54 αναγνωρισμένα είδη. Οι *Lactobacilli* είναι βακτήρια Gram-θετικά, ραβδόμορφα, ασπορογόνα και αποτελούν μέρος της μεγάλης ομάδας βακτηρίων που παράγουν γαλακτικό οξύ. Οι *Lactobacilli* είναι επίσης πολύ σημαντικοί στη βιομηχανία τροφίμων. Το μέγεθός τους ποικίλλει και η μορφολογία τους διαφοροποιείται όχι μόνο ανάλογα με το είδος, αλλά και από την ηλικία της καλλιέργειας, καθώς επίσης και από το μέσο ανάπτυξης. Ακόμη έχουν υψηλές θρεπτικές απαιτήσεις (αμινοξέα, πεπτίδια, νουκλεοτίδια, βιταμίνες, άλατα, σάκχαρα, λιπίδια κ.α.) (Yildiz, 2016). Ανθρώπινα στελέχη λακτοβακίλλων αποτελούν μέρος της φυσιολογικής χλωρίδας της στοματικής κοιλότητας, του κατώτερου μικρού εντέρου και του κόλπου σε μερικά, αλλά όχι σε όλα τα άτομα. Αν και είναι αναερόβια και λαμβάνουν την ενέργειά τους από ζυμωτικό μεταβολισμό, μπορούν να επιβιώσουν με την παρουσία οξυγόνου, επειδή έχουν δραστηριότητα υπεροξειδάσης για την αδρανοποίηση του υπεροξειδίου του υδρογόνου. Το τελικό προϊόν της ζύμωσης των υδατανθράκων μέσω πυροσταφυλικού οξέος είναι το γαλακτικό οξύ, και ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτού του γένους είναι η ικανότητά τους να επιβιώνουν σε χαμηλό pH. Αυτή η ικανότητα να παράγουν γαλακτικό οξύ παρέχει στους λακτοβάκιλλους μία ανταγωνιστική θέση σε περιβάλλοντα πλούσια σε θρεπτικά συστατικά και εν μέρει μπορεί να εξηγήσει την προβιοτική τους δράση (Hui 2004).

Με βάση λοιπόν τα γενικά χαρακτηριστικά του γένους ο *Lactobacillus Bulgaricus* χαρακτηρίζεται ως θετικός κατά Gram, ραβδόμορφος και κατηγοριοποιείται στα ομόζυμα μαζί με τα *Lactobacillus acidophilus*, *L. lactis* και *Lactobacillus helveticus*. Όπως και ο *Streptococcus thermophilus*, ο *L. Bulgaricus* είναι αναερόβιος, αλλά εμφανίζει και ανοχή στο οξυγόνο και η βέλτιστη θερμοκρασία για την ανάπτυξή του είναι 45°C (Yildiz, 2016)

1^A .2.2.γ Συμβιωτική καλλιέργεια Εκκίνησης

Οι σύγχρονες εμπορικές καλλιέργειες εκκίνησης αποτελούνται, συνήθως, από συμβιωτικές καλλιέργειες του *Streptococcus thermophilus* και του *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* (Radke-Mitchell 1984). Κατά τη διαδικασία της ζύμωσης, διοξείδιο του άνθρακα, μυρμηκικό οξύ, πεπτίδια και πολυάριθμα αμινοξέα απελευθερώνονται από την καζεΐνη. Η συμβιωτική ανάπτυξη των δύο μικροοργανισμών έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη παραγωγή οξέος και την απόδοση καλύτερης γεύσης στο τελικό προϊόν, σε σύγκριση με την ανάπτυξη μίας μόνο καλλιέργειας (Hui 2004). Έχει αποδειχθεί ότι πολυάριθμα αμινοξέα που απελευθερώνονται από τη διάσπαση της καζεΐνης από πρωτεάσες του *L. Bulgaricus* διεγείρουν την ανάπτυξη του *S. Thermophilus* (Sfakianakis, 2014). Με τη σειρά του, ο *S. Thermophilus* παράγει CO₂ και μυρμηκικό οξύ, το οποίο διεγείρει το *L. Bulgaricus*. Κατά τη διάρκεια του πρώτου μέρους της επώασης, ο *S. Thermophilus* αυξάνεται ταχύτερα, απομακρύνει την περίσσεια οξυγόνου και παράγει CO₂ και μυρμηκικό οξύ. Μετά την επιβράδυνση της αύξησης του *S. Thermophilus*, λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης γαλακτικού οξέος, αυξάνεται το πλήθος των βακτηρίων *L. Bulgaricus* που είναι περισσότερο ανεκτικά σε οξύ. Για αναλογία ένα προς ένα των δύο μικροοργανισμών, πρέπει να ελέγχεται η ποσότητα εμβολιασμού, ο χρόνος και η θερμοκρασία επώασης. Αυτή η αναλογία μπορεί να διατηρηθεί και στο τελικό προϊόν, εάν η θερμοκρασία και ο χρόνος επώασης είναι αντιστοίχως 45°C και 2 h, ενώ το τελικό pH είναι 4,2. Τα τελευταία χρόνια, εξετάζεται όλο και περισσότερο η προσθήκη προβιοτικών μικροοργανισμών σε συνδυασμό με τις συμβατικές καλλιέργειες εκκίνησης κατά την παραγωγή γαλακτοκομικών

προϊόντων, καθώς έρευνες δείχνουν ότι ωφελούν σημαντικά την υγεία του καταναλωτή (Walstra et al. 2006).



Εικόνα 1^Α.2: Παραγωγή γαλακτικού οξέος από τους *L. bulgaricus* και *S. Thermophilus*

1^Α .2.3 Πρόσθετα

Τα κύρια συστατικά του γιαουρτιού είναι τα λιπαρά, οι πρωτεΐνες οι υδατάνθρακες/σάκχαρα και τα ανόργανα άλατα. Σαφώς το γάλα που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη και παίζει σημαντικό ρόλο στα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Παραδείγματος χάρη η χρήση πλήρους, αποβουτυρωμένου ή μερικώς αποβουτυρωμένου γάλακτος, ή ακόμη και κρέμα γάλακτος διαμορφώνει τα τελικά λιπαρά του γιαουρτιού, όμως δεν διαφοροποιεί τις κατηγορίες των συστατικών. Πρόσθετα συστατικά μπορούν να χαρακτηριστούν σταθεροποιητές, βιταμίνες, γλυκαντικές ουσίες/ γεύσεις, δημητριακά και φρούτα. Συγκεκριμένα:

- Βιταμίνη Α, η ποσότητα της οποίας δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 2000 IU (International Units)/ 946mL
- Βιταμίνη D, η ποσότητα της οποίας δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 400 IU/946mL
- Γλυκαντικές ουσίες, όπως ζάχαρη, ιμβερτοσάκχαρο, ακατέργαστη ζάχαρη, μελάσα, σιρόπι καλαμποκιού υψηλής περιεκτικότητας σε φρουκτόζη, μαλτόζη, μέλι, φρούτα και άλλα.
- Σταθεροποιητές: Ζελατίνη, καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη, κόμμι γκουάρ, αλγινικά άλατα, καραγεννάνες, και συμπύκνωμα πρωτεΐνης ορού γάλακτος. Οι σταθεροποιητές θα αναλυθούν εκτενέστερα παρακάτω.
- Άλλα συστατικά για βελτίωση της γεύσης, του αρώματος και του χρώματος Παρασκευάσματα με φρούτα, συμπεριλαμβανομένων των φυσικών και τεχνητών αρωμάτων και χρωμάτων.
- Άλλα γαλακτοκομικά προϊόντα: Συμπυκνωμένο αποβουτυρωμένο γάλα, άπαχο αφυδατωμένο γάλα, ορός γάλακτος, και λακτόζη. Τα προϊόντα αυτά χρησιμοποιούνται συχνά για να αυξηθεί η περιεκτικότητα σε άπαχα στερεά (Walstra, 2006)

1^Α.3 Ταξινόμηση

Η ταξινόμηση του γιαουρτιού σε τύπους/είδη λόγω της μακροχρόνιας παράδοσης και της ευρείας παρασκευής του δεν μπορεί να είναι απόλυτη και ακριβής. Διάφορες προσπάθειες διαχωρισμού μπορούν να γίνουν με βάση το είδος του γάλακτος, της βακτηριακής καλλιέργειας, της διαδικασίας της ζύμωσης ή με βάση τα τελικά χαρακτηριστικά του γιαουρτιού.

Με βάση τη βακτηριακή καλλιέργεια:

(1) προϊόντα γαλακτικής ζύμωσης στα οποία χρησιμοποιούνται στελέχη μεσόφιλων βακτηρίων γαλακτικού οξέος,

(2) προϊόντα γαλακτικής ζύμωσης με θερμοφιλά βακτήρια γαλακτικού οξέος,

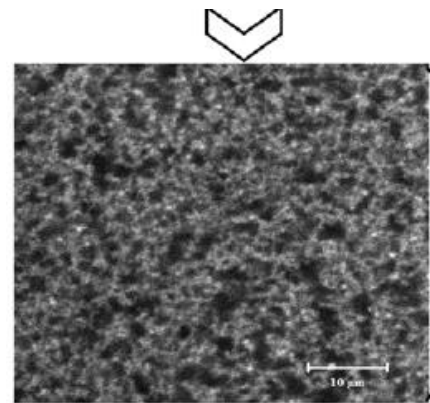
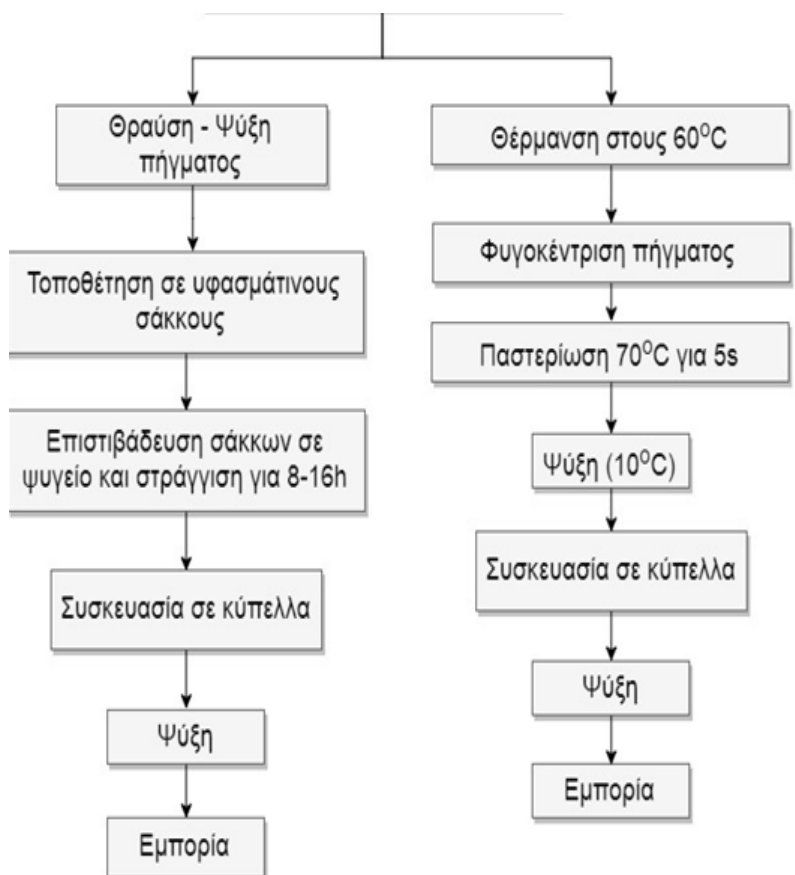
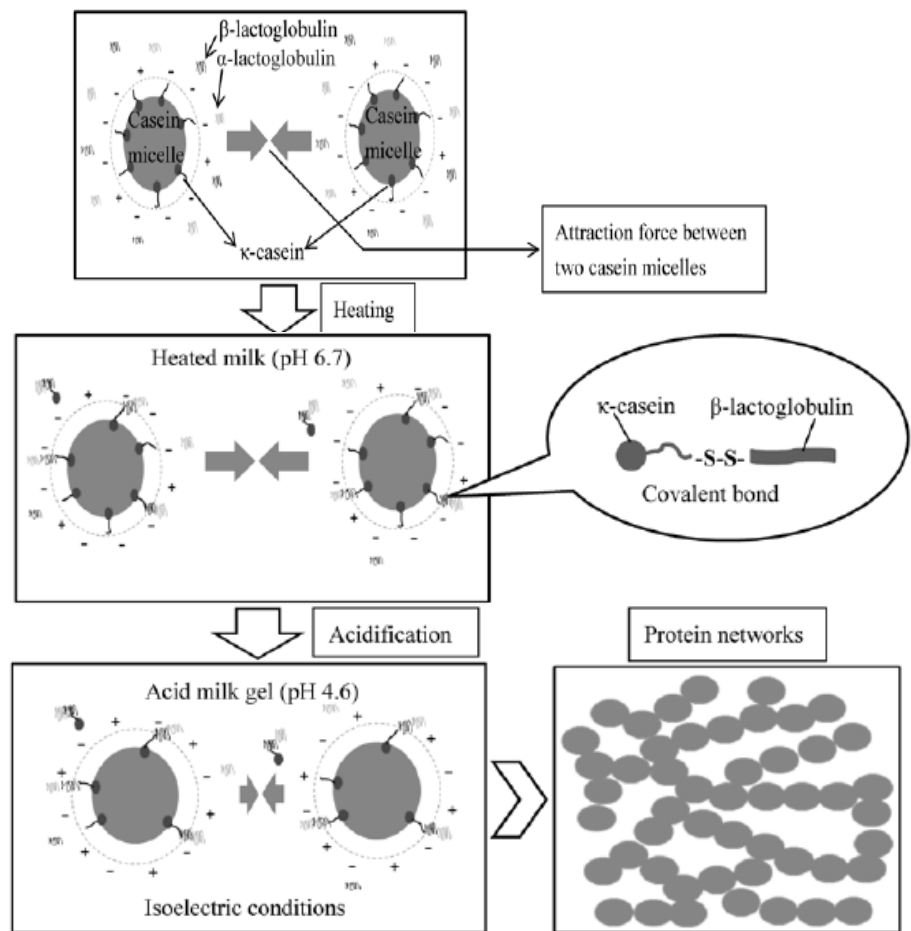
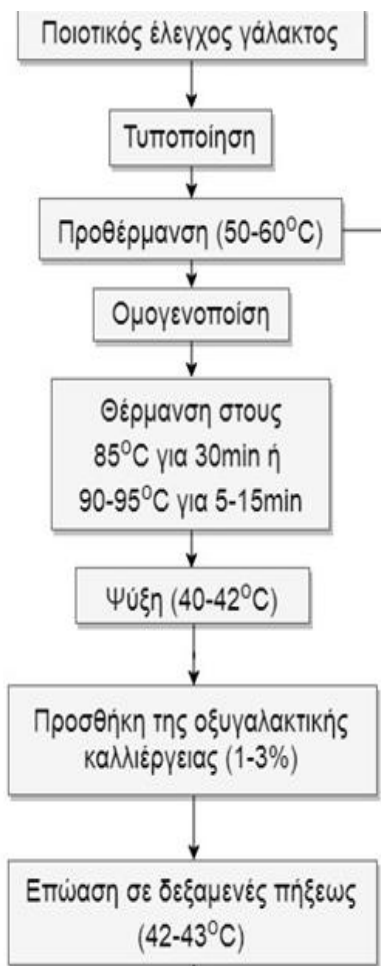
(3) προϊόντα που λαμβάνονται με ζύμωση αλκοόλης-γαλακτικού, που περιλαμβάνει ζύμες και βακτήρια γαλακτικού οξέος και

(4) προϊόντα όπου, εκτός από γαλακτικά οξέα εμφανίζεται ανάπτυξη μούχλας. Ορισμένα παραδείγματα είναι η κρέμα γάλακτος, το γιαούρτι, το kefir, και το Φινλανδικό villi, αντίστοιχα (Walstra et al. 2006).

Με βάση τη διαδικασία ζύμωσης:

- Γιαούρτι τύπου σετ, του οποίου η ζύμωση και ψύξη πραγματοποιείται εντός της συσκευασίας του,
- Αναμεμιγμένου τύπου (stirred), στο οποίο η επώαση και η ψύξη πραγματοποιούνται πριν τη συσκευασία,
- Στραγγιστό ή συμπυκνωμένο, στο οποίο η επώαση πραγματοποιείται σε ζυμωτήρα, ενώ έπειτα πραγματοποιείται συμπύκνωση και ψύξη προτού να συσκευαστεί (Farnworth 2008).

Με βάση τα τελικά χαρακτηριστικά του: κλασσικό γιαούρτι, επιδόρπιο γιαουρτιού, παγωμένο γιαούρτι.



1^Α.4 Παραγωγική Διαδικασία Γιαουριού

Η παραγωγική διαδικασία παρασκευής του γιαουριού ακολουθεί την πορεία πολλών ετών του προϊόντος και συνεχώς εξελίσσεται και βελτιστοποιείται από τη βιομηχανία. Αρχικά ένας τρόπος παρασκευής γιαουριού χρησιμοποιούσε βρασμό του γάλακτος μέχρις ότου ο όγκος του να μειωθεί στα 2/3 του συνολικού αρχικού όγκου και ακολουθούσε το μοίρασμα του σε κύπελλα μέχρι να δημιουργηθεί η χαρακτηριστική πέτσα, όπου γινόταν ο εμβολιασμός με μαγιά. Ως μαγιά οριζόταν το γιαούρτι το οποίο είχε παρασκευαστεί την προηγούμενη ημέρα κατ' ανάλογο τρόπο. Σε αυτήν την παραδοσιακή μέθοδο, στη συνέχεια το γιαούρτι επωαζόταν στους 30-40°C και τέλος ψυχόταν και αποθηκευόταν στο ψυγείο (Tamime and Deeth 1980). Αυτή η μέθοδος έχει εγκαταλειφθεί καθώς είχε πολλά μειονεκτήματα, τα κυριότερα από τα οποία ήταν το πρόβλημα των επιμολύνσεων και της υγιεινής. Σήμερα, οι γαλακτοβιομηχανίες έχουν εκσυγχρονίσει τα στάδια παραγωγής με αυτοματοποίηση και βελτιστοποίηση των συνθηκών προς όφελος της υγιεινής και της εμφάνισης του προϊόντος (Μάντης 2000).

1^Α.4.α Παραγωγή και Μεταφορά Γάλακτος

Κρίσιμο σημείο στη σύγχρονη παραγωγική διαδικασία αποτελεί η ποιότητα του νωπού γάλακτος. Το γάλα μπορεί να παρέχεται στη γαλακτοκοβιομηχανία σε κάδους γάλακτος ή σε βυτία, αφού έχει πρώτα αποθηκευτεί σε ψύξη στην εκάστοτε φάρμα. Κατά τη διάρκεια της μεταφοράς, το γάλα στους κάδους έχει συνήθως θερμοκρασία >10 ° C, έως 20-30°C ανάλογα με το κλίμα της εποχής. Έτσι διασφαλίζεται η ποιότητα του νωπού γάλακτος κατά τη μεταφορά που είναι κρίσιμης σημασίας για τη χημική και μικροβιολογική ποιότητα του τελικού προϊόντος καθώς επίσης και για την υφή του.

1^Α.4.β Προεπεξεργασία γάλακτος

Το επόμενο στάδιο αποτελεί η προεπεξεργασία του γάλακτος και η αποθήκευσή του. Ένα μέρος της προεργασίας μπορεί να γίνεται στη φάρμα ή αποκλειστικά στη βιομηχανία ανάλογα με την εγκατάσταση και την απόσταση. Η προεργασία αφορά ουσιαστικά το φιλτράρισμα του γάλακτος που στόχο έχει να απομακρυνθούν διάφορες ανεπιθύμητες προσμίξεις, όπως επιθηλιακά κύτταρα από το μαστό του ζώου, χύμα, φύλλα, σπόροι, κ.α. που είναι πιθανόν να μολύνουν το γάλα. Ειδικά στην περίπτωση των τυριών στο στάδιο του φλιταρίσματος προστίθεται θερμική επεξεργασία του γάλακτος στους 72°C για 15s για αποφυγή επιμολύνσεων από μικροοργανισμούς (Tamime and Robinson 1999). Εναλλακτική μέθοδο μπορεί να αποτελέσει η μικροδιήθηση για την απομάκρυνση των μολυσματικών σπορίων από το γάλα (Elwell and Barbano 2006). Έπειτα, κατά την αποθήκευση του γάλακτος ενδείκνυνται οι παρακάτω πρακτικές: (α) αποθήκευση του γάλακτος σε θερμοκρασία περίπου στους 4°C σε εγκεκριμένα σιλό ή κάθετες δεξαμενές, για λιγότερο από 72 h πριν από τη χρήση του για την παραγωγή γιαουριού, (β) πιθανή θερμική επεξεργασία στους 65°C και έπειτα ψύξη στους 4°C, (γ) εμβολιασμός του γάλακτος με βακτήρια γαλακτικού οξέος με σκοπό να ελεγχθεί η ανάπτυξη των ψυχρότροφων βακτηρίων και (δ) η προσθήκη CO₂ το οποίο βοηθά στη μείωση της ανάπτυξης των μικροοργανισμών (Tamime and Robinson 1999, Rajagopal et al. 2005). Κατά αυτόν τον τρόπο ακολουθεί η αποθήκευση σε δεξαμενές, έπειτα από την προεργασία, οι οποίες ακολουθούν τη νομοθετική προδιαγραφή για χρήση θερμοστοιχείων, τα οποία καταγράφουν με ακρίβεια τη θερμοκρασία εντός των δεξαμενών (Hui 2004).

1^Α .4 .γ Τυποποίηση Λιπαρών

Το γάλα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αποτελεί ένα προϊόν με ποσότητα λιπαρών που κυμαίνεται σε ένα εύρος τιμών και παρατηρούνται εποχιακές διακυμάνσεις, αλλά ακόμη και διακυμάνσεις μεταξύ αμέλξεων. Στο γιαούρτι όμως η απαιτούμενη τυποποιημένη περιεκτικότητα σε λιπαρά, που μπορεί να κυμαίνεται από 0,1% έως άνω του 10% w/w, ώστε να τηρούνται οι κανονισμοί, καθιστά το στάδιο της τυποποίησης των λιπαρών του γάλακτος κρίσιμο. Τις τελευταίες δεκαετίες, έχουν σχεδιαστεί συστήματα για την αυτοματοποιημένη τυποποίηση της περιεκτικότητας του γάλακτος σε λιπαρά (Yildiz 2016), όμως γενικά οι κύριες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την τυποποίηση των λιπαρών είναι (Tamime and Robinson 1999, Tamime 2006):

- Η αφαίρεση μέρους των περιεχόμενων λιπαρών του γάλακτος
- Η μίξη κρέμας πλήρους γάλακτος και αποβουτυρωμένου γάλακτος
- Η προσθήκη κρέμας σε πλήρες ή αποβουτυρωμένο γάλα
- συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων.

1^Α .4 .δ Τυποποίηση Σ.Υ.Α.Λ.

Εκτός της τυποποίησης των λιπαρών και η τυποποίηση του ποσοστού των περιεχόμενων στερεών άνευ λίπους (Σ.Υ.Α.Λ.) όπως η λακτόζη, οι πρωτεΐνες και τα μεταλλικά στοιχεία που περιέχονται στο γιαούρτι υπόκεινται σε νομοθετικές ρυθμίσεις. Στην Ελλάδα τα νομοθετικά όρια κυμαίνονται από 8,2-8,6g/100g. Τα στερεά που ενδείκνυται να έχει το γάλα, συμπεριλαμβανομένων και των λιπαρών είναι το λιγότερο 9g/100g και το περισσότερο 30g/100g. Η βέλτιστη τιμή των ολικών στερεών που περιέχονται στο γιαούρτι είναι 15g/100g. Έτσι η τυποποίηση των Σ.Υ.Α.Λ. μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με:

- Με βρασμό: Παρά τις αρκετές φυσικοχημικές μεταβολές και τη μεγάλη απροσδιοριστία του τελικού αποτελέσματος της μεθόδου θεωρείται ότι εάν το γάλα είχε αρχικά περιεκτικότητα 13g/100g σε Σ.Υ.Α.Λ., μετά το βρασμό η τιμή αυξάνεται σε 20g/100g.
- Προσθήκη σκόνης αποβουτυρωμένου γάλακτος σε συνδυασμό με σκόνη βουτυρογάλακτος: Περιέχουν υψηλά ποσοστά πρωτεΐνης με μειωμένη λακτόζη, εάν έχει χρησιμοποιηθεί η μέθοδος υπερδιήθησης κατά την παραγωγή τους και προσδίδουν στο τελικό προϊόν μία πιο συνεκτική και απαλή υφή (Tamime 1999, Morell et al. 2015).
- Προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος: Αποτελεί παραπροϊόν της βιομηχανίας τυριού όπου με θερμικές κατεργασίες διαχωρίζεται ο ορός και μετατρέπεται σε σκόνη. Οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος παρουσιάζουν πολύ καλή θερμική σταθερότητα στις εναλλαγές που συμβαίνουν κατά την παρασκευή γιαουρτιού. Επιπλέον, η προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος σε ποσοστά 0,6-4% κατά την παρασκευή γιαουρτιού: (α) αυξάνει την παραγόμενη ακεταλδεΐδη, (β) αυξάνει το ιξώδες και μειώνει τη συναίρεσή του και (γ) βελτιώνει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του (Tamime and Robinson 1999).
- Προσθήκη στερεών καζεϊνών: Η σκόνη καζεΐνης, όπως υποδεικνύει το όνομά της, αποτελείται κυρίως από καζεΐνη και η προσθήκη της στο γιαούρτι γίνεται για να αυξήσει την περιεχόμενη πρωτεΐνη του, να βελτιώσει το ιξώδες και να μειώσει τη συναίρεση του γιαουρτιού. Συνήθως γίνεται σε συνδυασμό με προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος (Morell et al. 2015).

1^A .4 .ε Προσθήκη Πρόσθετων

Εκτός από τη μείωση της περιεκτικότητας του νερού του γάλακτος και τη χρήση παραπροϊόντων ή προϊόντων από διεργασίες άλλων γαλακτοκομικών ώστε το γιαούρτι να έχει τις επιθυμητές προδιαγραφές, συνηθίζεται η χρήση και άλλων ουσιών. Αυτές προσδίδουν διαφορετικά χαρακτηριστικά στο τελικό προϊόν και προστίθενται στο γάλα είτε πριν την ζύμωση ή μετά, ανάλογα με τη φύση του πρόσθετου και του τύπου του παραγόμενου γιαουρτιού. Οι σταθεροποιητές αποτελούν ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα πρόσθετου. Προστίθενται στο γάλα με στόχο τη βελτίωση της υφής του γιαουρτιού, του ιξώδους, της εμφάνισης και της αίσθησης (υφής) που δίνει στο στόμα. Η λειτουργία τους συνίσταται στη δέσμευση νερού, άρα η χρήση τους βοηθά πολύ στη ρύθμιση του ιξώδους και της συναίρεσης που παρουσιάζει το αναμεμιγμένο γιαούρτι λόγω της μηχανικής καταπόνησής του (Tamime and Robinson 1999, Hematyar 2012). Εκτενέστερη αναφορά θα ακολουθήσει στην παράγραφο με τα υδροκολλοειδή.

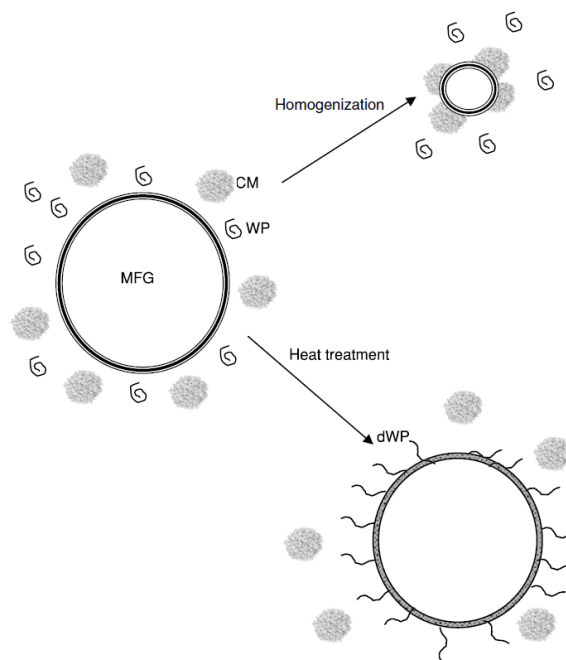
Ακόμη ένα πολύ συνηθισμένο πρόσθετο αποτελούν οι γλυκαντικές ουσίες. Μπορεί η παραγωγή γλυκού φυσικού γιαουρτιού να είναι σπάνια, αλλά η παραγωγή γιαουρτιών με φρούτα ή επιδόρπιων γιαουρτιού αυξάνεται εκθετικά. Ο κύριος λόγος της προσθήκης γλυκαντικών ουσιών είναι για να αντισταθμιστεί η οξύτητα που δημιουργείται στο γιαούρτι λόγω του γαλακτικού οξέος και τα πιο συνηθισμένα είναι διάφοροι υδατάνθρακες όπως σακχαρόζη, φρουκτόζη, γλυκόζη, σιρόπι γλυκόζης/γαλακτόζης και τεχνητά όπως η ασπαρτάμη, η σακχαρίνη, η ακεσουλφάμη και η σουκραλόζη. Συνήθως χρησιμοποιούνται μίγματα γλυκαντικών, τα ποσοστά των εκάστοτε γλυκαντικών μέσα στο μίγμα αποτελούν συνάρτηση πολλών παραγόντων τόσο νομοθετικών όσο ποιοτικών και αρέσκειας των καταναλωτών. Η προσθήκη των γλυκαντικών μπορεί να γίνει στο γάλα, αλλά έχει παρατηρηθεί ότι μπορεί να παρεμποδίσουν μερικές φορές την καλλιέργεια, στην περίπτωση όπου επιλέγεται η προσθήκη τους κατά το στάδιο της προσθήκης φρούτων και δημητριακών γίνεται στην κύρια μάζα του πήγματος είτε ενσωματωμένα πάνω σε αυτά. (Tamime and Robinson 1999).

1^A .4 .στ Ομογενοποίηση

Πέραν της τυποποίησης των συστατικών που θα χρησιμοποιηθούν ως πρώτες ύλες, πολύ σημαντικό ρόλο για την ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι η ομογενοποίηση του γάλακτος. Το γάλα αποτελεί ένα ασταθές γαλάκτωμα ελαίου σε νερό. Τα λιποσφαιρία του γάλακτος στο νωπό γάλα μπορεί να έχουν διάμετρο 2,0-20,0 μm . Έτσι λόγω μεγέθους τείνουν να ανέρχονται στην επιφάνεια και να δημιουργούν συσσωματώματα ή να συγχωνεύονται. Η ομογενοποίηση έχει ως στόχο να μειώσει τη διάμετρο των λιποσφαιριών σε τιμές μικρότερες του 0,1-3μm, ασκώντας υψηλή πίεση στο γάλα και εξαναγκάζοντας τα χοντρά σφαιρίδια λίπους να διέλθουν μέσω μικροσκοπικών οπών, με αποτέλεσμα τη θραύση των μεγάλων σφαιριδίων σε μικρότερα. Η ομογενοποίηση είναι πιο αποτελεσματική όταν τα σφαιρίδια λίπους είναι σε υγρή κατάσταση, για αυτό συνιστάται προθέρμανση τουλάχιστον μέχρι τους 60°C πριν την ομογενοποίηση (Hui 2004). Η αυξημένη θερμοκρασία ακόμη βοηθά στην απενεργοποίηση των λιπασών (θερμοκρασία άνω των 45 °C) (Massoud et al. 2016). Έτσι η ομογενοποίηση λαμβάνει συνήθως χώρα σε θερμοκρασία 60-80°C με πίεση ανάμεσα σε 10 έως 20MPa (100-250 bar). Υπάρχει επίσης μία βελτίωση της συνοχής του γιαουρτιού και μεγαλύτερη σταθερότητα έναντι του διαχωρισμού του ορού γάλακτος λόγω της αυξημένης υδροφιλικότητας. Συμπερασματικά αυτή η διεργασία έχει ως αποτέλεσμα τα λιποσφαιρίδια να κατανομούνται ομοιόμορφα στο γάλα, ώστε να μην διαχωρίζονται σχηματίζοντας κρούστα στην επιφάνεια του γιαουρτιού, να παράγεται ένα πιο σταθερό πήγμα και να μειώνεται ο διαχωρισμός του ορού λόγω

αυξημένης υδροφιλικότητας, καθώς τα νεοσύστατα λιποσφαιρία έχουν αυξημένη ικανότητα προσρόφησης πρωτεϊνών. Τέλος, αυτή η συσσωμάτωση οδηγεί σε αύξηση του πραγματικού συνολικού όγκου των αιωρούμενων σωματιδίων και, ως εκ τούτου, του ιξώδους (Walstra 2006).

Εναλλακτική μέθοδο ομογενοποίησης μπορεί να αποτελέσει η ομογενοποίηση υψηλής πίεσης (High Pressure Homogenization, HPH), όπου εφαρμόζονται πιέσεις άνω των 100MPa. Κατά τη διάρκεια της HPH λαμβάνουν χώρα φαινόμενα που συμβαίνουν και στην ομογενοποίηση με χαμηλότερη πίεση, όμως με μεγαλύτερη έκταση και ένταση. Πέραν της μείωσης του μεγέθους των λιποσφαιρίων, η HPH επιδρά στις πρωτεΐνες και στους πολυσακχαρίτες, αλλάζοντας τις λειτουργικές τους ιδιότητες. Συγκεκριμένα, τα καζεϊνικά μικκύλια διασπώνται σε μικρότερα τμήματα, απελευθερώνοντας φωσφορικό ασβέστιο και καζεΐνες στην υδατική φάση. Οι καζεΐνες προσκολλώνται στην επιφάνεια των λιποσφαιρίων ενώ το πλήθος των πρωτεϊνών αλλάζει στερεοδομή, εκθέτοντας τις υδρόφοβες περιοχές τους. Σε πιέσεις μέχρι 100MPa, οι χημικές αλλαγές των πρωτεϊνών είναι αναστρέψιμες, ωστόσο σε πιέσεις άνω των 200MPa προκαλείται μετουσίωση των πρωτεϊνών και παρατηρείται ότι οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος προσδένονται στις καζεΐνες και τα λιποσφαιρίδια (Tamime and Robinson 1999, Massoud et al. 2016, Chandan 2006).



Εικόνα 1^Α.3 Σχηματική απεικόνιση των σχετικών επιπτώσεων της θέρμανσης και της ομογενοποίησης σε σφαιρίδια λίπους του γάλακτος. MFG = σφαιρίδια λίπους γάλακτος, CM = μικκύλιο καζεΐνης, WP = πρωτεΐνη ορού γάλακτος, dWP = μετουσιωμένη πρωτεΐνη ορού γάλακτος (McSweeney 2006). Τα σφαιρίδια λίπους στο ομογενοποιημένο γάλα, λόγω του μικρού τους μεγέθους και της παρουσίας υψηλής συγκέντρωσης καζεΐνης στην επιφάνειά τους, μπορεί να συμπεριφέρονται όπως τα μικκύλια καζεΐνης, τα οποία έχουν επίδραση στην πήξη. Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να είναι θετικά στην περίπτωση των όξινων γαλακτοκομικών προϊόντων, όπως γιαούρτι.

1^A.4.ζ Θερμική Κατεργασία

Ένα ακόμη κρίσιμο στάδιο στην παραγωγή του γιαουρτιού είναι η θερμική κατεργασία του γάλακτος μετά την ομογενοποίηση. Ο χρόνος και η θερμοκρασία που εφαρμόζεται για κάθε κατεργασία παρατίθεται στον πίνακα, όμως ένας είναι ο κύριος στόχος όλων, η μείωση και εξαφάνιση των παθογόνων και άλλων ανεπιθύμητων μικροοργανισμών. Όπως όλες οι θερμικές κατεργασίες έχουν σημαντικές επιδράσεις στα συστατικά των τροφίμων, άλλοτε επιθυμητές και άλλοτε ανεπιθύμητες. Οι θερμοκρασίες παστερίωσης και αποστείρωσης προκαλούν μεταβολές στις πρωτεΐνες του γάλακτος, στα ένζυμα, στη μεμβράνη των λιποσφαιρίων, σε ορισμένες βιταμίνες και στα μεταλλικά στοιχεία (Chandal 2006). Όσον αφορά τους μικροοργανισμούς, έχει παρατηρηθεί ότι σε θερμοκρασίες 85-95°C οι περισσότεροι από αυτούς καταστρέφονται. Ωστόσο, ορισμένα σπόρια ή κάποια θερμοάντοχα ένζυμα μπορεί να επιβιώσουν. Για παράδειγμα, οι πεπτιδικές λιπάσες και υδρολάσες, που είναι θερμικώς σταθερά ένζυμα, απαιτούν πιο έντονη θερμική επεξεργασία (150°C) για την αδρανοποίησή τους. Από την άλλη για την παραγωγή γιαουρτιού και κρέμας γάλακτος, χρησιμοποιούνται υψηλές θερμοκρασίες επεξεργασίας, όχι μόνο για την ασφάλεια του προϊόντος, αλλά λόγω απώτερου στόχου που είναι η μετουσίωση των πρωτεϊνών του ορού γάλακτος, γεγονός το οποίο αυξάνει την κατακράτηση νερού και το ιξώδες του τελικού προϊόντος (Hui 2004).

Επιπρόσθετα, το θερμοκρασιακό πρόγραμμα που επιλέγεται για την εκάστοτε διεργασία έχει παρατηρηθεί ότι μπορεί να δημιουργήσει ευνοϊκές ή παρεμποδιστικές συνθήκες για το μετέπειτα εμβολιασμό του γάλακτος με την οξυγαλακτική καλλιέργεια. Ο κύκλος αυτός οφείλεται στις αλλαγές που συμβαίνουν στη συγκέντρωση των καζεϊνών στο γάλα και στη μετατροπή των θειικών σε τοξικές ενώσεις (Tamime and Robinson 1999, Quigley et al. 2013)

Πίνακας 1^A .5: Θερμοκρασία και χρόνος για τη θερμική κατεργασία του γάλακτος
(Tamime and Robinson 1999)

Χρόνος	Θερμοκρασία (°C)	Κατεργασία	
1-8s	≤65	Θέρμιση	Κύριος στόχος είναι η καταστροφή των παθογόνων βακτηρίων. Δεν προκαλεί άλλες αλλαγές.
30 min	65	Μερική Παστερίωση	Καταστροφή σχεδόν όλων των παθογόνων μικροοργανισμών που βρίσκονται στο γάλα, αλλά όχι όλων των βλαστικών κυττάρων των μικροοργανισμών. Απενεργοποίηση μερικών ενζύμων. Οι πρωτεΐνες του ορού παραμένουν αναλλοίωτες. Η γεύση διατηρείται.
15s	72	Παστερίωση	
4-20 s	85	Υψηλή παστερίωση	Καταστροφή όλων των βλαστικών κυττάρων, αλλά όχι των βακτηριακών σπορίων. Τα περισσότερα ένζυμα καταστρέφονται, αλλά όχι οι βακτηριακές πρωτεΐνες και λιπάσες. Μετουσίωση των πρωτεϊνών ορού γάλακτος.
30min	85		
5 s	90-95		
4-20min	110-120	Αποστείρωση	Καταστροφή όλων των μικροοργανισμών και των σπορίων.
2-20 s	135-150	Αποστείρωση υψηλής θερμοκρασίας (UHT)	Επηρεάζονται οι χημικές αλλαγές, το χρώμα και η γεύση του γάλακτος. Πιθανόν να μην αρκεί για την απενεργοποίηση όλων των ενζύμων

Οι πιθανές φυσικοχημικές μεταβολές που μπορεί να προκληθούν κατά τη θερμική επεξεργασία του γάλακτος περιλαμβάνουν (Walstra 2006):

- Τα αέρια, συμπεριλαμβανομένου και του CO₂, απομακρύνονται εν μέρει (εάν αυτό είναι εφικτό από τον εξοπλισμό θέρμανσης). Η απώλεια του O₂ είναι σημαντική για το ρυθμό των αντιδράσεων οξειδωσης κατά τη διάρκεια της θέρμανσης και για το ρυθμό ανάπτυξης ορισμένων βακτηρίων. Η απώλεια των αερίων είναι αναστρέψιμη, ωστόσο η πρόσληψη από τον αέρα ίσως διαρκέσει πολύ.
- Η ποσότητα των κολλοειδών φωσφορικών αυξάνεται, αλλά η συγκέντρωση του Ca²⁺ μειώνεται. Η αλλαγή αυτή είναι αναστρέψιμη, αλλά σε πολύ αργό ρυθμό.

- Η λακτόζη ισομερίζεται και αποσυντίθεται εν μέρει για να αποφέρει λακτουλόζη και οργανικά οξέα.
- Οι φωσφορικοί εστέρες, ειδικά εκείνοι της καζεΐνης, υδρολύονται. Τα φωσφολιπίδια επίσης διασπώνται. Συνεπώς, η ποσότητα ανόργανου φωσφόρου αυξάνεται.
- Η τιμή του pH του γάλακτος μειώνεται κυρίως λόγω των παραπάνω αλλαγών.
- Οι περισσότερες από τις πρωτεΐνες του ορού μετουσιώνονται και καθίστανται έτσι αδιάλυτες.
- Μέρος των πρωτεϊνών του ορού γάλακτος (ειδικά η β-γαλακτοσφαιρίνη) συνδέεται ομοιοπολικά με την κ-καζεΐνη και με άλλες πρωτεΐνες της μεμβράνης των λιποσφαιρίων.
- Τα ένζυμα αδρανοποιούνται.
- Λαμβάνουν χώρα αντιδράσεις μεταξύ των πρωτεϊνών και της λακτόζης, ιδιαίτερα αντιδράσεις Maillard. Αυτό συνεπάγεται απώλεια της λυσίνης.
- Δημιουργούνται ελεύθερες ομάδες σουλφυδρυλίων. Αυτό προκαλεί για παράδειγμα μείωση του δυναμικού οξειδοαναγωγής.
- Συμβαίνουν και άλλες αντιδράσεις μεταξύ των πρωτεϊνών, όπως η συσσωμάτωση των μικκυλίων της καζεΐνης οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε σχηματισμό πήγματος.
- Υπάρχουν αλλαγές στη μεμβράνη των λιποσφαιριδίων όπως η περιεκτικότητά της σε Cu
- Ορισμένες πρωτεΐνες υποβαθμίζονται.

1^A .4 .η Εμβολιασμός- Ζύμωση

Στο επόμενο στάδιο το γάλα απαλλαγμένο από παθογόνους μικροοργανισμούς εμβολιάζεται με επιλεγμένους μικροοργανισμούς, προκειμένου να επιτευχθεί ζύμωση. Για την παραγωγή του γιαουρτιού έχει επικρατήσει η χρήση της οξυγαλακτικής καλλιέργειας από *Streptococcus thermophilus* και *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus*. Αποτελεί μία συμβατική καλλιέργεια, η αποτελεσματικότητα της οποίας έγκειται στην ανταλλαγή των μεταβολιτών που είναι απαραίτητοι για την ανάπτυξη καθενός βακτηρίου στο γάλα (Sasaki et al. 2014). Η βέλτιστη θερμοκρασία ζύμωσης του γάλακτος προς γιαούρτι είναι 40-45°C. Το στάδιο της επώασης, παρόλο που μπορεί να διαφοροποιηθεί ως προς το πού θα πραγματοποιηθεί, ανάλογα με τον τύπο του γιαουρτιού (set) ή (stirred), οι βιοχημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκειά της είναι ακριβώς οι ίδιες και είναι υπεύθυνες για τη δημιουργία του πήγματος (Tamime 2006).

Συνεχώς ερευνώνται και αναπτύσσονται νέες καλλιέργειες εκκίνησης, με διαφορετικό συνδυασμό στελεχών καθώς και μορφών αυτών, που μπορεί να προσδώσουν στο τελικό προϊόν νέα χαρακτηριστικά και διαφορετικές ιδιότητες. Διάφοροι τύποι μορφών βακτηριακής καλλιέργειας, είναι η υγρή μορφή, οι συμπυκνωμένες καλλιέργειες βαθιάς κατάψυξης, οι λυοφιλωμένες συμπυκνωμένες καλλιέργειες βαθιάς κατάψυξης σε μορφή σκόνης και, βαθιά κατεψυγμένες ή λυοφιλωμένες, υπερ-συμπυκνωμένες καλλιέργειες σε εύκολα διαλυτή μορφή για άμεσο εμβολιασμό του προϊόντος.

Η ποσότητα εμβολιασμού είναι καθοριστική για τα τελικά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του γιαουρτιού. Μικρή ποσότητα μικροοργανισμών μπορεί να προκαλέσει αργή ανάπτυξη της οξύτητας κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, επεκτείνοντας την απαιτούμενη περίοδο ζύμωσης και αποδίδοντας εξασθενημένο πήγμα που οδηγεί στο διαχωρισμό του ορού γάλακτος. Αντίθετα, υπερβολικά μεγάλη ποσότητα μικροοργανισμών μπορεί να οδηγήσει σε ταχεία ανάπτυξη της οξύτητας, μείωση της ικανότητας ενυδάτωσης των πρωτεϊνών και έντονη οξίνιση κατά την αποθήκευση (Yildiz 2016).

1^A .4 .θ Ψύξη

Αφού ολοκληρωθεί σταδιακά η ζύμωση και δημιουργηθεί το πήγμα του γιαουρτιού ακολουθεί ψύξη του προϊόντος σε διεργασία ενός ή δύο σταδίων. Οι μικροοργανισμοί που περιέχει το γιαούρτι είναι μεσόφιλοι και έχουν μικρή ικανότητα ανάπτυξης στους 10°C. Για το λόγο αυτό, αμέσως μετά την επώαση του γιαουρτιού στους 45°C, μεταφέρεται το γιαούρτι προς ψύξη σε θερμοκρασίες μικρότερες των 10°C (ιδανικά 5°C) όσο πιο γρήγορα γίνεται, ώστε με αυτό τον τρόπο να ελέγχεται η τελική οξύτητα στο γιαούρτι (Tamime and Robinson 1999). Η μονοφασική ψύξη δεν χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία, καθώς ενδέχεται η πολύ ταχεία ψύξη να οδηγήσει σε διαχωρισμό ορού γάλακτος, λόγω της γρήγορης συστολής της πρωτεϊνική μήτρας, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει τις υδρόφιλες ιδιότητες.

Μετά την ψύξη του γιαουρτιού στους 20°C, που αποτελεί το πρώτο στάδιο ψύξης, μπορεί να προστεθούν τα φρούτα και οι αρωματικές ουσίες ή ακόμη και χρωστικές για να κάνουν πιο δελεαστικό το προϊόν. Τέλος, επισημαίνεται ότι το είδος και η ποσότητα των φρούτων, αρωματικών και χρωστικών που προστίθενται στο γιαούρτι, μπορεί να διαφέρει από χώρα σε χώρα και τα όρια ορίζονται από τη νομοθεσία της εκάστοτε χώρας. Τέλος το γιαούρτι ψύχεται και συντηρείται στους 5°C (Tamime and Robinson 1999, Bylund 1995).

1^A .4 .ι Συσκευασία

Το στάδιο της συσκευασίας ανάλογα με τον τύπο του γιαουρτιού μπορεί να γίνει μετά την επώαση, είτε να αποτελεί το τελευταίο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας. Είναι ένα κρίσιμο σημείο και τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται στη συσκευασία του γιαουρτιού πρέπει να προστατεύουν το προϊόν από την αφυδάτωση, τις επιμολύνσεις, την απώλεια του αρώματος ή την απόκτηση οσμών από το περιβάλλον. Παράλληλα πρέπει να μην αντιδρούν με τα συστατικά του γιαουρτιού, να είναι ανθεκτικά στα οργανικά οξέα και να διατηρούν ορισμένο σχήμα. Στην πράξη το γιαούρτι συσκευάζεται σε πλαστικά κύπελλα από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), πολυστυρένιο ή πολυαιθυλένιο, όλα με ειδικές προδιαγραφές σκληρότητας, ανθεκτικότητας και διαπερατότητας.

1^A .5 Δομή- Χαρακτηριστικά Γιαουρτιού

Η φυσική δομή του γιαουρτιού είναι ένα δίκτυο συσσωματωμένων σωματιδίων καζεΐνης επί του οποίου, μέρος των πρωτεϊνών του ορού έχει καταβυθιστεί λόγω της θερμικής μετουσίωσής τους. Μέσα σε αυτό το δίκτυο περικλείονται σφαιρίδια λίπους και ορός γάλακτος. Οι μεγαλύτεροι πόροι του δικτύου είναι της τάξης των 10 μm. Η ύπαρξη ενός συνεχούς δικτύου υποδηλώνει ότι το γιαούρτι είναι ένα πήκτωμα, ή ένα ιξωδοελαστικό υλικό που χαρακτηρίζεται από αρκετά μικρή τάση διαρροής (δηλαδή η ελάχιστη τάση που απαιτείται για μόνιμη παραμόρφωση του πηκτώματος, περίπου 100

Pa). Το γιαούρτι τύπου σετ και το αναμεμιγμένο γιαούρτι έχουν σημαντικές διαφορές στην υφή (Walstra et al. 2006).

1^A .5.α Ιξώδες Αναμεμιγμένου Γιαουρτιού

Το αναμεμιγμένο γιαούρτι πρέπει να είναι λείο και αρκετά παχύρρευστο. Ένα υψηλής ποιότητας προϊόν θα πρέπει να έχει ινώδη μορφή καθώς ρέει, και να σχηματίζει μία λεπτή γραμμή. Ένας τρόπος προσδιορισμού του ιξώδους είναι με τη χρήση ενός κύπελλου Ford. Το κύπελλο Ford έχει ένα κωνικό κάτω άκρο, στο οποίο αφήνεται να ρέει το γιαούρτι. Το ιξώδες μετράται με βάση το χρόνο που απαιτείται για να βυθιστεί το κύπελλο Ford. Επίσης, το ιξώδες εξαρτάται και από το ρυθμό διάτμησης του προϊόντος. Αν αρχικά εφαρμοστεί υψηλός ρυθμός διάτμησης και στη συνέχεια χαμηλότερη ταχύτητα διάτμησης, τότε το φαινόμενο ιξώδες θα μειώνεται διαρκώς και η ιξώδης συμπεριφορά του προϊόντος θα προσεγγίζει αυτήν των νευτωνικών ρευστών. (Walstra et al. 2006).

1^A .5.β Συνεκτικότητα

Η συνεκτικότητα του σετ γιαουρτιού εκτιμάται, συνήθως, με τη βύθιση ενός αντικειμένου δεδομένου βάρους και διαστάσεων στο προϊόν γιαουρτιού για καθορισμένο χρόνο και εκφράζεται ως το αντίστροφο του βάθους διείδυσης. Η συνεκτικότητα δεν σχετίζεται με το συντελεστή ελαστικότητας, αλλά με την τάση διαρροής.

1^A .5.γ Συναίρεση

Η συναίρεση, οφείλεται κατά το πλείστον στην αναδιάταξη του δικτύου των συσσωματωμάτων της καζεΐνης, με αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των διασυνδέσεων μεταξύ των σωματιδίων. Το δίκτυο έπειτα τείνει να συρρικνώνεται, αποβάλλοντας έτσι το περιεχόμενο σε αυτό υγρό. Στο γιαούρτι η συναίρεση είναι ανεπιθύμητη. Η τάση να εμφανίζεται συναίρεση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία επώασης. Εάν το γάλα επωάζεται στους 20°C (με μεσόφιλα βακτήρια εκκίνησης) με σκοπό το σχηματισμό του πήγματος σε αυτή τη θερμοκρασία, δεν υπάρχει απολύτως καμία συναίρεση, ενώ όταν επωάζεται στους 32°C είναι πιθανή η συναίρεση. Κατά την επώαση στους 45°C, η συναίρεση μπορεί να αποτραπεί, μόνο εάν το γάλα έχει θερμανθεί εντατικά, εάν η περιεκτικότητά του σε καζεΐνη έχει αυξηθεί και εάν η θερμοκρασία αποθήκευσης του γιαουρτιού είναι χαμηλή. Ωστόσο, εάν η συσκευασία που περιέχει το προϊόν ανακινηθεί, έστω και ελαφρώς, κατά τη φάση σχηματισμού του πήγματος, τότε το πήγμα μπορεί να διαρρηχθεί και να προκύψει συναίρεση. Επιπλέον, συναίρεση είναι δυνατόν να προκύψει, εάν το pH κατά την επώαση μειωθεί κάτω από την τιμή 4,0 (Hui ,2004).

1^A .6 Θρεπτική Αξία του Γιαουρτιού

Η θρεπτική αξία του γιαουρτιού προσομοιάζεται με εκείνη του γάλακτος από το οποίο παρασκευάστηκε. Ωστόσο η βιοχημική δραστηριότητα των οξυγαλακτικών βακτηρίων έχει ως συνέπεια κάποια από τα συστατικά του γάλακτος να μειώνονται και άλλα να αυξάνονται ποσοτικά, ενώ παράλληλα παράγονται και νέα προϊόντα ζύμωσης. Στον πίνακα 1^A.6 παρουσιάζονται τα διατροφικά στοιχεία διαφορετικών τύπων γιαουρτιού.

Πίνακας 1^A .6 : Τιμές διατροφικών συστατικών πλήρους γιαουρτιού, χαμηλών λιπαρών με ή χωρίς φρούτα (ανά 100g) (Tamime & Robinson 1999)

Συστατικά	Γιαούρτι		
	Πλήρες	Χαμηλών Λιπαρών	Χαμηλών Λιπαρών με Φρούτα
Νερό (g)	81,9	84,9	77
Ενέργεια (Kcal)	79	56	90
Πρωτεΐνη (g)	5,7	5,1	4,1
Λιπαρά (g)	3	0,8	0,7
Υδατάνθρακες (g)	7,8	7,5	17,9
Ασβέστιο (mg)	200	190	150
Φωσφόρος (mg)	170	160	120
Νάτριο (mg)	80	83	64
Κάλιο (mg)	280	250	210
Ψευδάργυρος (mg)	0,7	0,6	0,5

Αξίζει να σημειωθεί, ότι άνθρωποι με δυσανεξία στη λακτόζη μπορούν να αφομοιώσουν ένα προϊόν ζύμωσης γάλακτος όπως το γιαούρτι πολύ καλύτερα απ' ότι το απλό γάλα. Η μειωμένη περιεκτικότητα σε λακτόζη του ζυμωμένου γάλακτος παίζει σημαντικό ρόλο σε αυτό. Επιπρόσθετα, η κατανάλωση γάλακτος που έχει υποστεί ζύμωση διατηρεί σε χαμηλά επίπεδα το pH του στομάχου και έτσι μειώνει τον κίνδυνο μετάβασης παθογόνων μικροοργανισμών. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για τους ανθρώπους που πάσχουν από εξασθενημένη έκκριση γαστρικών υγρών, π.χ. πολλούς ηλικιωμένους και μωρά. (Tamime & Robinson 1999)

Ακόμη και τα κόμμεα που μπορεί να περιέχει το γιαούρτι έχει αποδειχθεί ότι επιφέρουν οφέλη στην υγεία του ανθρώπου, από τη μείωση της χοληστερόλης στο αίμα μέχρι και την καλύτερη απορρόφηση της λακτόζης στα άτομα που πάσχουν από δυσανεξία λόγω της επιβράδυνσης της απορρόφησής της.

Αποτελεί προϊόν πλούσιο σε πρωτεΐνες οι οποίες λόγω της κατεργασίας δεν φέρουν τη σφαιρική μορφή των μικκυλίων, αλλά έχουν μία άμορφη μορφή, γεγονός που διευκολύνει τη διάσπασή τους από τα ένζυμα του γαστρεντερικού συστήματος. Επιπρόσθετα τα λιπαρά του γιαουρτιού, εκτός από το μεγάλο θερμιδικό φορτίο που μεταφράζεται σε ενέργεια για τον οργανισμό, βοηθούν στην καλύτερη υγεία του ανθρώπου. Για παράδειγμα η χολίνη, που αποτελεί συστατικό των φωσφολιπιδίων, προωθεί την οξείδωση των λιπιδίων στο ήπαρ και διατηρεί την ισορροπία της χοληστερόλης (Fisberg and Machado 2015).

Αποτελεί πηγή βιταμινών και μεταλλικών στοιχείων. Ωστόσο, οι βιταμίνες είναι πολύ πιο δύσκολο να διατηρηθούν στο γιαούρτι σε σχέση με τα μεταλλικά στοιχεία, διότι είναι πολύ ευαίσθητες στις συνθήκες επεξεργασίας που λαμβάνουν χώρα κατά την παραγωγή του γιαουρτιού. Όσο πιο χαμηλή είναι η θερμοκρασία παστερίωσης του γάλακτος, τόσο μεγαλύτερο είναι το περιεχόμενο σε βιταμίνες. Η βιταμίνη C καταστρέφεται σχεδόν πλήρως υπό την επίδραση θερμότητας, ενώ η δράση της βιταμίνης B12 χάνεται μετά την αποθήκευση για 5 ημέρες στο ψυγείο. Οι βιταμίνες A, B1, B6 και B12 παραμένουν στο γιαούρτι. Στον οργανισμό, οι βιταμίνες απορροφώνται από το λεπτό έντερο και αποθηκεύονται στο ήπαρ. Στη συνέχεια, μεταβολίζονται στην ενεργή μορφή τους (συνένζυμα), τροφοδοτώντας διάφορες λειτουργίες του οργανισμού. Στον πίνακα 1^Α.7 δίνεται η περιεκτικότητα των πιο σημαντικών βιταμινών που βρίσκονται στο γάλα και στο παραγόμενο γιαούρτι αντίστοιχα.

Πίνακας 1^Α.7 : Βιταμίνες που περιέχονται στο γάλα και στο γιαούρτι. Αναφέρονται ανά 100g προϊόντος (Tamime and Robinson 1999)

Βιταμίνη (μg)	Γάλα		Γιαούρτι	
	Πλήρες	Αποβουτυρωμένο	Πλήρες	Χαμηλών λιπαρών
Ρετινόλη	52	1	28	10
Καροτένιο	21	ΐχνη	21	4
Θειαμίνη (B ₁)	30	40	60	50
Ριβοφλαβίνη (B ₂)	170	170	270	210
Πυροδοξίνη (B ₆)	60	60	100	80
Κυανοκοβαλαμίνη (B ₁₂)	0,4	0,4	0,2	0,2

Ακόμη στη διατροφική αξία του γιαουρτιού μπορούν να συγκαταλεγούν τα οφέλη από προβιοτικούς μικροοργανισμούς και πρεβιοτικές ουσίες, για τα οποία έχει γίνει εκτενής έρευνα τα τελευταία χρόνια και έχει αποδειχθεί ότι συνεισφέρουν και εξισορροπούν τις μικροβιολογικές διαταραχές του εντέρου και έτσι αποτρέπουν ή διορθώνουν δυσλειτουργίες συσχετιζόμενες με το γαστρεντερικό σύστημα μέχρι και αντικαρκινική δράση (Schmid et al. 2006). Δύο από τα πιο κοινά βακτηριακά στελέχη που χρησιμοποιούνται και προσφέρουν οφέλη στην ανθρώπινη υγεία είναι τα *Lactobacillus acidophilus* και *Bifidobacterium bifidus* καθώς η καθημερινή κατανάλωση μπορεί να μειώσει την ανάπτυξη των παθογόνων μικροοργανισμών, γεγονός που είναι ευεργετικό για το ανθρώπινο έντερο. Τέλος, η ενίσχυση των γιαουρτιών με πρωτεΐνες, ασβέστιο ή βιταμίνες αυξάνει τη διατροφική αξία του προϊόντος (Fisberg and Machado 2015).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^B : Υδροκολλοειδή και Πηκτικά μέσα

1^B. 1 Γενικά-Κατηγοριοποίηση

Τα υδροκολλοειδή είναι μία διαφορετική ομάδα πολυμερών μακράς αλυσίδας που είναι διαλυτά πλήρως ή μερικώς και μπορούν να διογκώνονται στο νερό. Αλλάζουν τις φυσικές ιδιότητες του διαλύματος προς σχηματισμό πηκτών ή επιτρέπουν την πάχυνση, έχουν ικανότητα γαλακτωματοποίησης, επικάλυψης και σταθεροποίησης του υγρού συστήματος (Phillips & Williams, 2009). Η ύπαρξη πολλών υδροξυλομάδων τα καθιστά πιο υδρόφιλα. Επιπλέον, τα υδροκολλοειδή όταν διασπείρονται δημιουργούν ένα σύστημα το οποίο είναι μία ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ ενός πραγματικού διαλύματος και ενός εναιωρήματος, παρουσιάζοντας έτσι τις ιδιότητες ενός κολλοειδούς. Συνεπώς, αποκαλούνται εύστοχα ως «υδροκολλοειδή» (Saha & Bhattacharya 2010). Η πρωτεϊνική ζελατίνη και η πρωτεΐνη ορού γάλακτος έχουν πολλές κοινές ιδιότητες με τα υδροκολλοειδή και χρησιμοποιούνται ευρέως ως πηκτικά μέσα (Dickinson 2003). Πολλές πρωτεΐνες, ακόμη και αν παρουσιάζουν συμπεριφορά συσσωμάτωσης και ζελατινοποίησης που ταυτίζεται με εκείνες των πολυσακχαριτών σε κάποιο βαθμό, δεν ταξινομούνται στην κατηγορία των υδροκολλοειδών. Οι κατηγορίες των υδροκολλοειδών είναι οι εξής: i) φυσικά κόμμεα που απαντώνται στη φύση, ii) τροποποιημένα κόμμεα (ημισυνθετικά) που βασίζονται σε χημικές τροποποιήσεις φυσικών κόμμεων και iii) συνθετικά κόμμεα που παράγονται από χημική σύνθεση (Nussinovitch & Hirashima 2014). Άλλη κατηγοριοποίηση μπορεί να γίνει με βάση τον ιοντικό τους χαρακτήρα (ιοντικά, μη ιοντικά) καθώς και με βάση την προέλευσή τους (φυτική, ζωική, μικροβιακή). Τα μη ιοντικά υδροκολλοειδή περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, ξανθάνη, κόμμι γκουάρ και κόμμι χαρουπιών, ενώ στα ανιονικά υδροκολλοειδή ανήκουν καραγενάνη, αραβικό κόμμι, κόμμι karaya, κόμμι τζελάν και ούτω καθεξής. Τέλος, άλλη μία προτεινόμενη κατηγοριοποίηση είναι ανάλογα με το κολλοειδές σύστημα που δημιουργούν (γέλη, γαλάκτωμα, αφρός) και υποκατηγορίες αυτών ανάλογα με την ύλη στη διασπειρόμενη και τη συνεχή φάση (Sahin & Sumnu 2006).

1^B. 2 Υδροκολλοειδή στη βιομηχανία τροφίμων

Ο κύριος λόγος της εκτεταμένης χρήσης υδροκολλοειδών στη βιομηχανία τροφίμων είναι η ικανότητά τους να δεσμεύουν νερό και να τροποποιούν τις ιδιότητες των συστατικών των τροφίμων. Η τροποποίηση των ρεολογικών χαρακτηριστικών είναι χρήσιμη και για την τροποποίηση των οργανοληπτικών ιδιοτήτων των τροφίμων (Valdez 2012). Ακόμη είναι ένας ασφαλής τρόπος επεξεργασίας, καθώς τα πιο κοινά υδροκολλοειδή έχουν χαρακτηριστεί ως GRAS παγκοσμίως, και ταυτόχρονα αποτελούν εύκολο τρόπο αύξησης της θρεπτικής αξίας του τροφίμου.

Η θρεπτική αξία των υδροκολλοειδών δεν περιορίζεται στην αύξηση των φυτικών ινών. Σαφώς το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας συστήνει ημερήσια πρόσληψη ινών άνω των 25 g. Έτσι χρησιμοποιώντας ορισμένα υδροκολλοειδή αυξάνεται η περιεκτικότητα φυτικών ινών στα τρόφιμα. Από την άλλη, υπάρχουν πολλά οφέλη που συνδέονται με την κατανάλωση τροφίμων πλούσιων σε υδροκολλοειδή, τα οποία περιλαμβάνουν τη διαχείριση του βάρους, την ανοσολογική ρύθμιση, την πρόληψη καρδιαγγειακών παθήσεων και τον έλεγχο των δεικτών διαβήτη τύπου 2 (Mudgil & Barak 2013).

Από οικονομική σκοπιά, τα υδροκολλοειδή είναι μία αγορά δισεκατομμυρίων που αυξάνεται εκθετικά. Η παγκόσμια αγορά σε ποσοστά αποτελείται από ~ 70% άμυλα, ~ 12% ζελατίνη, ~ 5%

πηκτίνη, ~ 5% καρραγενάνη και ~ 4% ξανθάνης, και ακολουθούν LBG, αλγινικά, CMC, κόμμα γκουάρ και πολλά άλλα, με συνολικό όγκο ~ 260.000 τόνους (Nussinovitch & Hirashima 2014). Το πιο ακριβό κόμμα είναι η ξανθάνη, αλλά παρουσιάζει πιο καλά αποτελέσματα με μικρότερη ποσότητα. Τα φυτικά κόμματα είναι πιο φθηνά και χρησιμοποιούνται ευρέως γιατί έχουν χαρακτηριστεί ως GRAS (Lazaridou, Duta, Parageorgiou, Belc, & Biliaderis 2007).

1^B. 3 Ιδιότητες

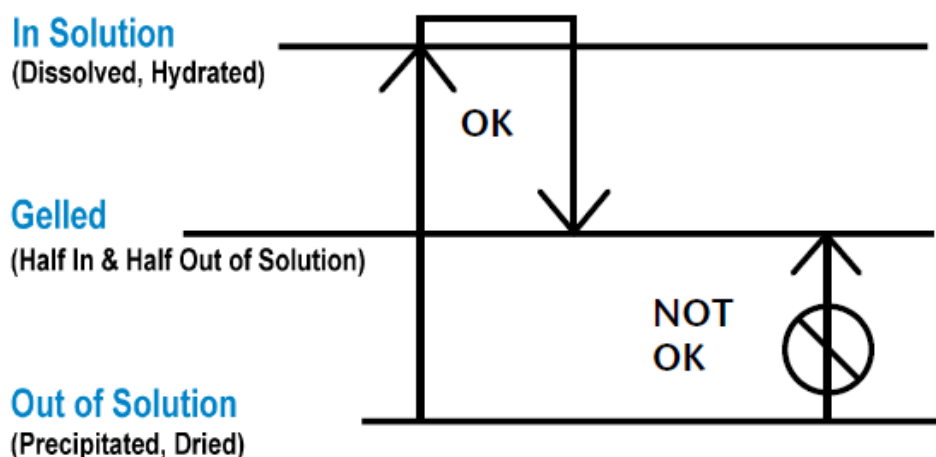
Όλα τα υδροκολλοειδή δεν έχουν τις ίδιες ιδιότητες ούτε στον ίδιο βαθμό. Ακόμη και τα εμπορικά προϊόντα των ίδιων ουσιών έχουν διαφορετικές ιδιότητες ανάλογα με την προέλευσή τους, τη διεργασία παραγωγής τους και τις μετέπειτα ενδεχόμενες μεταποιήσεις τους. Οι κύριες χρήσεις τους είναι η πηκτικότητα, η ζελατινοποίηση, η γαλακτωματοποίηση, ο εγκλεισμός και η δημιουργία επικαλυπτικών μεμβρανών.

1^B. 3 .1 Πηκτικότητα

Το ιξώδες του υδροκολλοειδούς συστήματος εξαρτάται από 10 παράγοντες: τη συγκέντρωση, τη θερμοκρασία, τη διαλυτότητα, το ηλεκτρικό φορτίο, το βαθμό διασποράς, την προηγούμενη θερμική και μηχανική επεξεργασία, την παρουσία ή μη άλλων κολλοειδών, την ηλικία του κολλοειδούς και από την παρουσία ή μη ηλεκτρολυτών (Nussinovitch 2010). Η ιδιότητα της πηκτικότητας, δηλαδή το ιξώδες είναι το βασικό χαρακτηριστικό της χρήσης των υδροκολλοειδών. Εμφανίζεται παραπάνω από μία κρίσιμη συγκέντρωση, γνωστή ως επικαλυπτική συγκέντρωση (C^*). Παρακάτω από αυτή, το υδροκολλοειδές διασπείρεται και συμπεριφέρεται ως Νευτωνικό υγρό, αλλά παραπάνω από αυτή παρουσιάζει μη νευτωνική συμπεριφορά (Phillips & Williams 2000).

1^B. 3 .2 Ζελατινοποίηση

Υπό το πρίσμα της ρεολογίας μία γέλη είναι ένα ιξωδοελαστικό σύστημα με συντελεστή «αποθήκευσης» (G_0) μεγαλύτερο από το «συντελεστή απώλειας» (G''_0). Αν και όλα τα υδροκολλοειδή προσδίδουν ιξώδες σε υδατικές διασπορές, μόνο λίγα κόμματα σχηματίζουν γέλες, όπως το άγαρ, τα αλγινικά, η καρραγενάνη, η πηκτίνη, η ζελατίνη, η gellan, η furcellaran, το τροποποιημένο άμυλο, η μεθυλοκυτταρίνη, κλπ. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε προϊόντα όπως μαρμελάδες, ζελέδες, πουτίγκες καθώς και σε αφυδατωμένες σκόνες τροφίμων και αρτοσκευάσματα (Sultani, 2014). Οι υφές τους ποικίλλουν, από την ελαστική γέλη μέχρι το εύθραυστο πήκτωμα. Όσον αφορά τα εύθραυστα πηκτώματα, μπορούν να δημιουργηθούν όταν πηκτίνη, καρραγενάνη και αλγινικό συνδεθούν με σταυροειδείς δεσμούς με ιόντα ασβεστίου (cross-linked). Αυτή η δομή είναι εύκολο να συρρικνωθεί και να συναιρεθεί. Ο τύπος στερεού και η συγκέντρωσή του στο πήκτωμα συνδέεται στενά με τη συναίρεση. Πρακτικά για την αποφυγή αυτού του φαινομένου, χρησιμοποιούνται και άλλα υδροκολλοειδή μαζί με αυτά για τη δημιουργία συνεργιστικής δράσης (Mateva, Srbinovska, Níko & Eftimova 2013).



Εικόνα 1^β.1: Στάδια ζελατινοποίησης : Ένας παράγοντας ζελατινοποίησης δεν μπορεί να πάει από την αφυδατωμένη κατάσταση απευθείας στην κατάσταση gel/πηκτής. Για να το θέσουμε με άλλο τρόπο, δεν μπορεί κανείς να ενυδατώσει έναν παράγοντα ζελατινοποίησης υπό συνθήκες <<μισό μέσα-μισό έξω του διαλύματος>>, δηλαδή υπο συνθήκες ζελατινοποίησης. Η ενυδάτωση θα πρέπει να γίνει έχοντας ξεπεράσει την φάση της ζελατινοποίησης και κατόπιν να ξαναπροκληθούν συνθήκες ζελατινοποίησης (μειώνοντας τη θερμοκρασία ή προσθέτοντας ασβέστιο) (Hoefler, 2004)

Η υφή των πηκτωμάτων συνδέεται στενά με τον αριθμό των μορίων που διασταυρώνονται σε ένα σημείο ή σε μία ζώνη (Stewart, Gray, Vasiljevic, & Orbell 2014). Περισσότερα μόρια στη σταυροειδή ζώνη ένωσης προσδίδουν ακαμψία στο πηκτωμα. Εκτός από την ακαμψία τα μόρια και η δεσμοί σε αυτήν την περιοχή επηρεάζουν τη θερμική συμπεριφορά των γελών. Η ζελατίνη τήκεται πολύ χαμηλότερα, δεδομένου ότι οι ζώνες διακλάδωσης συγκρατώνται μόνο από δεσμούς υδρογόνου, ενώ έχουν παρατηρηθεί πηκτές αλγινικού που δεν τήκονται με βρασμό λόγω της αντοχής των γεφυρών ασβεστίου στις ζώνες σταυροειδούς ένωσης (Chen, & Gong 2013).

Συμπερασματικά, το ποτέ ένα gel γίνεται υγρό, αν αυτό είναι αναστρέψιμο, η συνέργεια στην ζελατινοποίηση και η γενικότερη συμπεριφορά των γελών μέσα σε διαφορετικά συστήματα είναι θέματα ιδιαίτερου ενδιαφέροντος που εξετάζονται και έχουν να κάνουν με τη θερμοκρασία, την ανάπτυξη δυνάμεων δεσμών υδρογόνου καθώς και τις υδροφοβικές αλληλεπιδράσεις (Wu, Cui, Eskin, & Goff 2011).

1^β. 3 .3 Γαλακτωματοποίηση

Η ικανότητα γαλακτωματοποίησης των υδροκολλοειδών δεν στηρίζεται πάντα στην αμφίφιλη φύση τους. Η παραδοσιακή άποψη είναι ότι εξαιρετικοί γαλακτωματοποιητές όπως οι πρωτεϊνικοί διαθέτουν εύκαμπτες μοριακές δομές που οδηγούν σε γρήγορη προσρόφηση και αναδιάταξη στην επιφάνεια διεπαφής. Από την άλλη, τα άκαμπτα υδροκολλοειδή μπορεί να μην θεωρούνται γαλακτωματοποιητές αλλά σταθεροποιούν γαλακτώματα λόγω της υδροφιλικότητάς τους, του υψηλού μοριακού βάρους και της τάσης τους για ζελατινοποίηση. Αυτά οδηγούν στο σχηματισμό ενός παχύτερου στρώματος σταθεροποίησης το οποίο είναι ικανό να προστατεύει τα σταγονίδια έναντι της συσσωμάτωσης και των δυσμενών συνθηκών, όπως επεξεργασιών θερμικού σοκ (Chanamai & McClements 2002). Συμπληρωματικά, μερικά υδροκολλοειδή είναι αναγνωρισμένα ως καλοί σταθεροποιητές γαλακτωμάτων ελαίου σε νερό λόγω της προσροφητικής τους ικανότητας. Αυτοί καθυστερούν την κατακρήμνιση διασκορπισμένων στερεών σωματιδίων και τη συνένωση των σταγονιδίων του ελαίου. Έτσι μειώνουν τα ποσοστά των σταγονιδίων ελαίου που μπορεί να εμφανιστούν έξω από τη μάζα της κρέμας ή του αφρού και μειώνουν τη συναίρεση.

Ο πιο γνωστός γαλακτωματοποιητής υδροκολλοειδούς είναι το αραβικό κόμμα, εφαρμόζεται ευρέως σε αναψυκτικά για γαλακτωματοποίηση αρωματικών ελαίων σε χαμηλό pH και υψηλή ιοντική ισχύ καθώς και για παράγοντες χρωματισμού (Nakauma et al. 2008). Το υβρίδιο πρωτεΐνης στο αραβικό κόμμα είναι υδρόφοβο και απορροφά έντονα την επιφάνεια των σταγονιδίων ελαίου, ενώ οι προεξέχουσες αλυσίδες πολυσακχαριτών είναι υδρόφιλες και εκτείνονται στο διάλυμα, παρέχοντας ισχυρή ασπίδα σε φαινόμενα όπως η κροκίδωση σταγονιδίων και η συσσωμάτωση. Αυτή η ξεχωριστή δομή προσφέρει εξαιρετική εσωτερική υδρόφιλη και υδρόφοβη ισορροπία. Βέβαια πρέπει να σημειωθεί ότι το επίπεδο της επιφανειακής δραστηριότητας του αραβικού κόμματος είναι αρκετά χαμηλό, σε σύγκριση με τους τυπικούς γαλακτωματοποιητές πρωτεΐνης. Ως αντιστάθμισμα του ελαττώματος αυτού, στην πράξη χρησιμοποιούνται μεγαλύτερα ποσοστά αραβικού σε σχέση με το περιεχόμενο έλαιο.

Άλλοι ευρέως χρησιμοποιούμενοι υδροκολλοειδείς γαλακτωματοποιητές σε εφαρμογές τροφίμων είναι μερικά είδη πηκτίνης και γαλακτομαννάνης, τροποποιημένα άμυλα και μερικά παράγωγα κυτταρίνης. Η γαλακτωματοποιητική ικανότητα της πηκτίνης δεν εξαρτάται τόσο από το βαθμό εστεροποίησης (Dickinson 2003). Τέλος, η πρωτεΐνη ορού γάλακτος, που χρησιμοποιείται καταχρηστικά ως υδροκολλοειδής, είτε υπάρχει στο σύστημα είτε προστίθεται, λειτουργεί συνεργιστικά καθώς και μόνη της ως γαλακτωματοποιητής μεσαίας ισχύς.

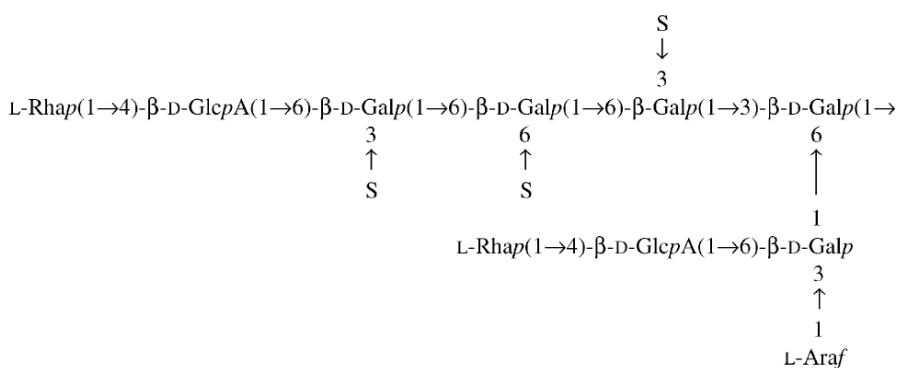
1^B. 3 .4 Ενθυλάκωση/ Εγκλεισμός /Επικαλύψεις

Η ενθυλάκωση, ο εγκλεισμός και οι επικαλύψεις είναι ιδιότητες που εκμεταλλεύονται τα πλεονεκτήματα των παραπάνω ιδιοτήτων των κόμματος για προστασία ευαίσθητων μορίων και για βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών τους. Οι καζεΐνες, οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος και το λίπος γάλακτος είναι επισημασμένες ευρέως ως Gras πρώτες ύλες με εξαιρετικά καλές οργανοληπτικές ιδιότητες. Ακόμη και στο ίδιο το γάλα οι πρωτεΐνες έχουν τις ικανότητες της ζελατινοποίησης, της αυτοσυναρμολόγησης και της δέσμευσης μικρών μορίων, και έτσι χρησιμοποιούνται ευρέως στην ενθυλάκωση βιοενεργών συστατικών (Shi et al. 2013). Μίγμα πρωτεϊνών γάλακτος - CMC έχει χρησιμοποιηθεί για την ενθυλάκωση γεύσεων σε χαμηλό pH , μέσω καταβύθισης. Ενώ το αραβικό κόμμα και άλλα φυτικά κόμματα έχουν χρησιμοποιηθεί ως φορείς εγκλεισμού σε αυφυδάτωση με ψεκασμό (Kourantsis, Pavlidou, & Paraskevoroulou, 2014). Σύμπλοκα συστήματα υδροκολλοειδών που χρησιμοποιούνται συχνά είναι: αραβικό κόμμα / ζελατίνη, αραβικό κόμμα / αλβουμίνη, αραβικό κόμμα / πρωτεΐνες ορού γάλακτος, αραβικό κόμμα / β-λακτοσφαιρίνη, πηκτίνη / β-λακτοσφαιρίνη, χαμηλή μεθοξυ-πηκτίνη / ζελατίνη, κόμμα ξανθάνης / ζελατίνη, κόμμα ξανθάνης / πρωτεΐνες ορού γάλακτος, k-καρραγενάνη / ζελατίνη, k-καρραγενάνη / αλβουμίνη βόειου ορού, k-καρραγενάνη / ζελατίνη, θειική δεξτράνη / καζεϊνικό νάτριο, θειική δεξτράνη / πρωτεΐνη σόγιας κλπ. (DeKruif, Weinbreck, & deVries 2004).

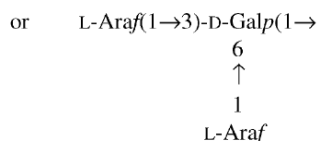
1^B. 4 Πίνακες βασικών χαρακτηριστικών

Παρακάτω συνοψίζονται σε πίνακες βασικά χαρακτηριστικά των υδροκολλοειδών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία και κάποια σημαντικά στοιχεία για αυτά (Jim Smith 2003, Nussinovitch 2010, Norton 2011, Ash 2008, Laaman 2011, (Królczyk, Dawidziuk, Janiszewska-Turak, & Sołowiej, 2016)

Αραβικό κόμμα	
Όνομα και Συνώνυμα βιβλιογραφίας της	Acacia gum/ Sudan gum/ Gum arabica/ Gum hashab/E414
Κατηγορία	Πολυσακχαρίτες
Ασφάλεια	Τύπος Gras, μη τοξικό, επιτρέπεται και η καύση του.
Χρήση στα τρόφιμα	Ποτά/ τρόφιμα με βάση τα γαλακτώματα/ Προϊόντα ζαχαροπλαστικής και αρτοποιίας
Όρια χρήσης	Λόγω του τύπου Gras δεν επιβάλλονται νομικά όρια ασφάλειας. Ενδέχεται να υπεισέρχονται θέματα χαρακτηρισμού. Κάποια πρακτικά και αποδεκτά όρια είναι: 2% (ποτά), 5,6% (τσίχλα), 12,4% (γλυκίσματα), 1,3% (γαλακτοκομικά προϊόντα), 1,5% (λίπη, έλαια), 2,5% (ζελατίνες, πουτίγκες), 46,5% (σκληρή καραμέλα), 8,3% (ξηροί καρποί), 6% (κατεψυγμένα γλυκίσματα), 4% (σνακ), 85% (μαλακή καραμέλα), 1% (άλλα τρόφιμα).
Χαρακτηριστικά και εμφάνιση	Λευκή / υπόλευκη σκόνη ή πορτοκαλί έως σκούρα καφέ κρυσταλλοειδής . Η ελαφριά οξύτητά του επιτρέπει να δημιουργεί ισχυρά άλατα.
Εύρη Ιδιοτήτων	Το αραβικό κόμμα είναι διαλυτό σε νερό, διαλύματα σακχαρόζης, διάλυμα χλωριούχου νατρίου και διαλύματα αιθανόλης. Περιορισμένη διαλυτότητα έχει σε φυτικά έλαια και προπυλενογλυκόλη. Έχει πολύ χαμηλό ιξώδες που αυξάνει με αύξηση του μοριακού του βάρους και της συγκέντρωσης. Το ιξώδες είναι βέλτιστο σε pH 6, αν και η διακύμανση σε όλη την περιοχή pH 2 έως 10 είναι σχεδόν αμελητέα. Ακόμη όπως και οι περισσότεροι πολυσακχαρίτες αρχίζει να αποικοδομείται σε pH>8 και <4, με ταυτόχρονη μείωση του ιξώδους.
Λειτουργικές Ιδιότητες στα τρόφιμα	Γαλακτωματοποιητής, πηκτικό/παχυντικό τροφίμων, σταθεροποιητής αφρού και πλέγματος, αναστολέας κρυστάλλων, βελτιωτικό γεύσεων, αύξηση διαιτητικών ινών. Αναστέλλουν την κρυσταλλοποίηση ζάχαρης, γαλακτωματοποιούν λιπίδια και βοηθούν στη σύνδεση του νερού. Το αραβικό κόμμα χρησιμοποιείται επίσης ως παράγοντας εγκλωβισμού, για την γαλακτωματοποίηση γεύσης / χρώματος σε ποτά.
Εναλλακτικά κόμματα	Κόμμα karaya, κόμμα ghatti, κόμμα τραγακάνθης, μαλτοδεξτρίνες, πυροδεξτρίνες, πολυδεξτρόζες, μεθυλοκυτταρίνες, πρωτεΐνες γάλακτος (υπό προϋποθέσεις).
Παρατηρήσεις χρήσης	Διάλυμα αραβικού κόμματος μπορεί να παρασκευαστεί με απλή διασπορά σε υδατικό διάλυμα σε θερμοκρασία δωματίου. Για χρήση ως γαλακτωματοποιητή επιβάλλεται η χρήση αναμικτήρα υψηλής διάτμησης (ομογενοποιητής). Θεωρείται ότι μικρές ποσότητες πρωτεΐνης μπορεί να είναι σημαντικές στην αύξηση των γαλακτωματοποιητικών ιδιοτήτων του αραβικού κόμματος.

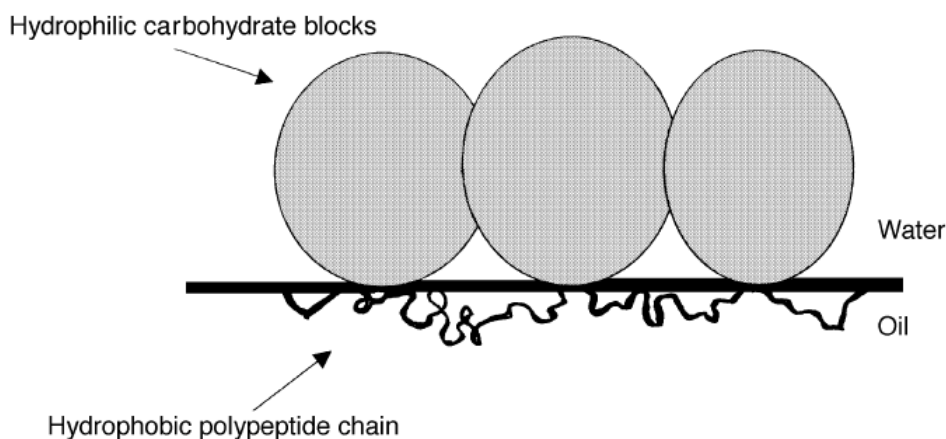


where S is a side chain of $\beta\text{-D-Galp}(1\rightarrow3)\text{-L-Araf}(1\rightarrow3)\text{-L-Araf}(1\rightarrow$



Εικόνα 1^B.2 : Τυπική χημική δομή αραβικού κόμμιος (Hoefler ,2004)

Αραβικό κόμμι: φυσικός πολυσακχαρίτης που παράγεται ως προστατευτικό κολλώδες εξίδρωμα από δέντρα ακακίας ως επουλωτικό σε πληγή του κορμού. Τα κύρια είδη είναι η *Acacia senegal*, η *Acacia laetia*, η *Acacia famesiana* και η *Acacia seyal*. Το αραβικό κόμμι παράγεται παραδοσιακά στο Σουδάν και στις γειτονικές χώρες της Αφρικής. Το αραβικό κόμμι είναι μία σύνθετη διακλαδισμένη αραβινογαλακτάνη με κυριότερη αλυσίδα (1-3) βήτα-D γαλακτοπυρανοζυλίου με πολυάριθμες διακλαδισμένες και μη διακλαδισμένες πλευρικές αλυσίδες αποτελούμενες από D-γαλακτόζη, L-αραβινόζη, D-γλυκουρονικό οξύ, L-ραμνόζη και μερικούς υποκαταστάτες μεθυλίου. Το σημείο της πρόσδεσης της αραβινογαλακτάνης στην πρωτεϊνική αλυσίδα είναι πιθανόν μέσω υδροξυπρολίνης και σερίνης. Δημιουργεί μία σφαιρική δομή σε υδατικό διάλυμα με λίγες αλληλεπιδράσεις με άλλα συστατικά τροφίμων.

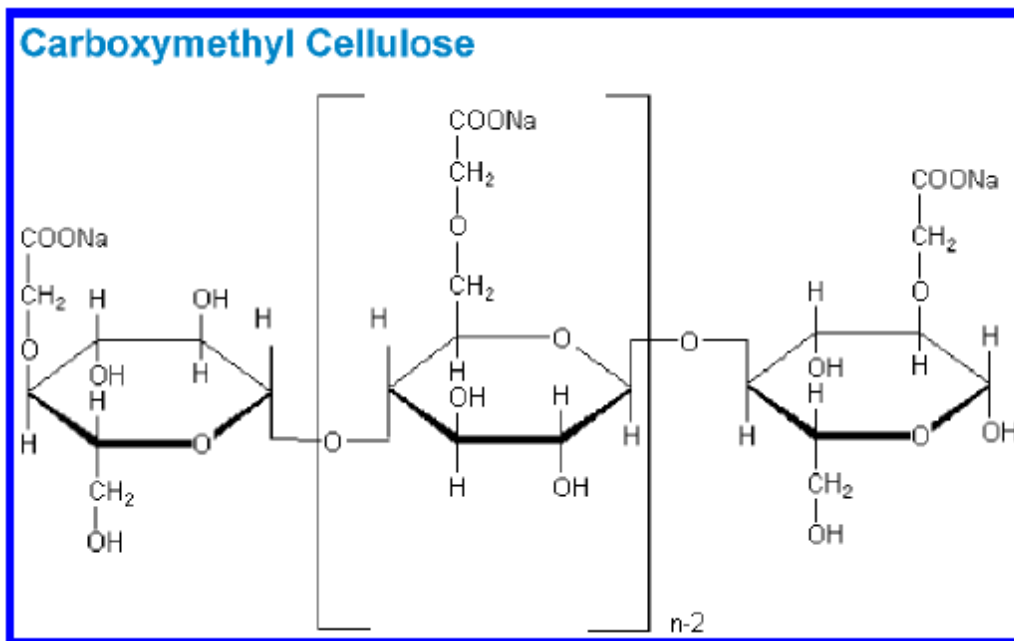


Εικόνα 1^B.3: Σχηματική απεικόνιση της σταθεροποίησης σταγονιδίων ελαίου από αραβικό κόμμι (Williams & Phillips, 2009)

CMC	
Όνομα και Συνώνυμα της βιβλιογραφίας	Carboxymethylated beta-D-(1- 4) glucan/ CMC/ Sodium CMC/ Cellulose gum/ Sodium carboxymethylcellulose / E466
Κατηγορία	Πολυσακχαρίτες
Ασφάλεια	Μη τοξικό, επιτρέπεται και η καύση του δεν έχει αναφερθεί ότι προκαλεί προβλήματα στην υγεία.
Χρήση στα τρόφιμα	Σούπες / Σιρόπια / Ποτά / Γαλακτοκομικά προϊόντα / Συνοδευτικά / Ξηρά προϊόντα / Συσκευασία τροφίμων / Βρώσιμα φιλμ και επικαλυπτικά.
Όρια χρήσης	Δεν υπάρχουν περιορισμοί, γενικά χρησιμοποιείται σε μικρές ποσότητες. Το μόνο νομικό όριο το έχει η Ιαπωνία με μέγιστο ποσοστό 2% 0.05-0,5% (παγωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα).
Χαρακτηριστικά και εμφάνιση	Λευκή σκόνη
Εύρη Ιδιοτήτων	<p>Η διαλυτότητα ποικίλλει ανάλογα με το μοριακό βάρος και την καρβοξυμεθυλίωση. Γενικά, η καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη είναι διαλυτή σε νερό, διαλύματα σακχαρόζης, διάλυμα χλωριούχου νατρίου και διαλύματα αιθανόλης, αλλά η διαλυτότητα σε φυτικά έλαια και προπυλενογλυκόλη είναι περιορισμένη. Η διαλυτότητα μειώνεται με αυξανόμενο μοριακό βάρος, μειώνοντας τη μεθυλίωση και αυξάνοντας τη συγκέντρωση. Η διαλυτότητα εξαρτάται από το pH με την περισσότερο αδιάλυτη μορφή οξέος κάτω από το pH 4.</p> <p>Το ιζώδες των καρβοξυμεθυλοκυτταρινών είναι σχετικά σταθερό μεταξύ του pH 4 και του 10, αλλά αυξάνει κάτω από το pH 4 λόγω του σχηματισμού της όξινης μορφής του μορίου. Τα μόρια μεσαίου έως υψηλού μοριακού βάρους με 0,9 έως 1,2 υποκαταστάσεις ανά μονάδα σακχάρου εμφανίζουν ψευδοπλαστική συμπεριφορά (διατμητική εξάρτηση), ενώ στην υποκατάσταση 0,4 έως 0,7% τα διαλύματα παρουσιάζουν θιξοτροπία. Τα πηκτώματα μπορούν να σχηματιστούν παρουσία τριθενών ιόντων όπως το αργίλιο.</p>
Λειτουργικές Ιδιότητες στα τρόφιμα	Πυκνωτικό μέσο, σταθεροποιητής και διογκωτική χρήση
Εναλλακτικά κόμμεα	Μεθυλαιθυλοκυτταρίνη (MEC), υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνη (HPMC), υδροξυαιθυλομεθυλοκυτταρίνη (HEMC), μεθυλική κυτταρίνη (MC), Πρωτεΐνες, αραβικό κόμμι, ξανθάνη, καραγεννάνη, δεξτράνες, άμυλα, κόμμι χαρουπιών, κόμμι γκουάρ, ζελατίνη, άγαρ, αλγινικό (υπό προϋποθέσεις).

Παρατηρήσεις χρήσης

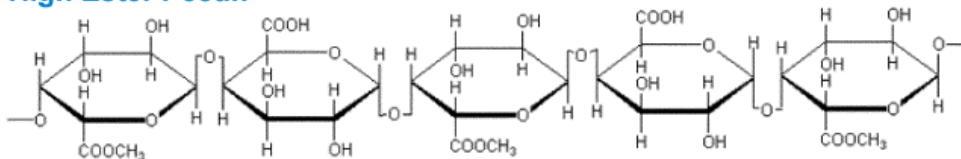
Η καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη θα πρέπει να διασπείρεται σε θερμό νερό και να ψύχεται για να ενυδατωθεί καλά. Ένας αναμικτήρας υψηλής διάτμησης θα βοηθήσει στη διασπορά, αν και η παρατεταμένη διάτμηση πολυμερών υψηλού μοριακού βάρους μπορεί να μειώσει το ιξώδες. Συνεργάζεται πολύ καλά με τρισθενή κατιόντα και μη ιονικά πολυμερή.



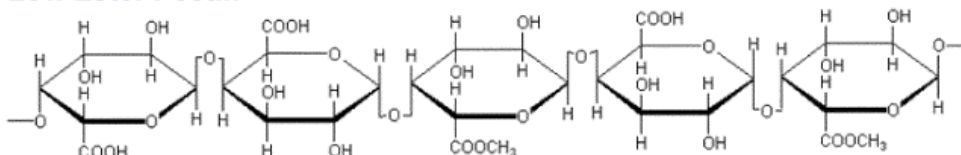
Εικόνα 1^β.4: Χημική δομή καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMC) (Hoefler, 2004)

Πηκτίνη	
Όνομα και Συνώνυμα της βιβλιογραφίας	Citrus pectin/ Pectinate/ Pectinic acids/ Pectic acids/ Pectates/ Polygalacturonic acid/ E440b/ Amidated pectin/ E440a
Κατηγορία	Πολυσακχαρίτες
Ασφάλεια	Τύπος Gras, μη τοξικό, μπορεί να καεί αλλά εκπέμπει ερεθιστικούς καπνούς όταν θερμαίνεται.
Χρήση στα τρόφιμα	Σε όλα τα τρόφιμα
Όρια χρήσης	Δεν τίθενται νομικά όρια. 0,05-1% (παγωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα), 0,4–0,75% (High-meth σε ροφήματα, τοποθετείται στο συμπύκνωμα του χυμού ή της γεύσης αρχικά), 0,5-1% (σε γιαούρτι, είτε κατευθείαν στη μάζα είτε στο συμπύκνωμα της γεύσης ή του χυμού).
Χαρακτηριστικά και εμφάνιση	Λευκή σκόνη ή σιρόπι
Εύρη Ιδιοτήτων	Η διαλυτότητα σε υδατικό διάλυμα ποικίλει ανάλογα με τη δομή, το μοριακό βάρος, το pH και τα κατιόντα. Γενικά, οι πηκτίνες είναι διαλυτές σε νερό, διαλύματα σακχαρόζης, διάλυμα χλωριούχου νατρίου και διαλύματα αιθανόλης χαμηλής συγκέντρωσης, αλλά η διαλυτότητα σε φυτικά έλαια και προπυλενογλυκόλη είναι περιορισμένη. Οι πηκτίνες είναι αδιάλυτες παρουσία δισθενών ή τρισθενών αλάτων. Κάτω από pH 2,5, συμβαίνει υδρόλυση, έτσι οι πηκτίνες είναι κυρίως κατάλληλες για όξινα τρόφιμα. Σημαντικό ρόλο παίζει η μεθυλίωση.
Λειτουργικές Ιδιότητες στα τρόφιμα	Δημιουργία gel, παράγοντας πάχυνσης, σταθεροποιητής και παράγοντας διόγκωσης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σταθεροποίηση των γαλακτωμάτων και την επιβράδυνση του σχηματισμού κρυστάλλων πάγου.
Εναλλακτικά κόμμεα	Αλγινικά άλατα, καρραγενάνες, χιτοζάνη, ξανθάνη, furcellaran (υπό προϋποθέσεις). Συnergιστική καθώς και ανταγωνιστική δράση μπορεί να έχει με πρωτεΐνες και πολυσθενή ιόντα.
Παρατηρήσεις χρήσης	Οι πηκτίνες θα πρέπει να διασκορπιστούν σε κρύο νερό και να θερμανθούν στους 80 °C για 10 min για την ενυδάτωσή τους. Ένας αναμικτήρας υψηλής διάτμησης θα βοηθήσει στη διασπορά, αν και παρατεταμένη διάτμηση πολυμερών υψηλού μοριακού βάρους θα μειώσει το ιξώδες.

High Ester Pectin



Low Ester Pectin



Εικόνα 1^B.5 : Δομές χαμηλής εστερικής και υψηλής εστερικής πηκτίνης (Hoefler ,2004)

Πηκτίνη: Οι πηκτίνες *high-methoxy* είναι φυσικοί πολυσακχαρίτες που εξάγονται από φυτικό υλικό, συνήθως από φλούδες πορτοκαλιού (παραπροϊόν χυμού) ή από πυρήνα μήλου (παραπροϊόν της παραγωγής μηλίτη). Οι πηκτίνες *low-methoxy* συντίθενται χημικά (αποεστεροποιημένες) από πηκτίνες υψηλής μεθοξείας. Η πηκτίνη μπορεί επίσης να συντεθεί από ζαχαρότευτλα και ηλιόσπορους, αλλά η υψηλότερη ακετυλίωση αυτών των πηκτινών μεταβάλλει σημαντικά τις λειτουργικές ιδιότητες. Η σακχαρόζη προστίθεται στα περισσότερα εμπορικά παρασκευάσματα πηκτίνης για την τυποποίηση των λειτουργικών ιδιοτήτων. Οι πηκτίνες υψηλού μεθοξυλίου (πηκτινικά / πηκτινικό οξύ) μπορούν, παρουσία μεγάλων ποσοτήτων υλικού (συνήθως ζάχαρης), να σχηματίζουν αυθόρμητα πηκτές απουσία πολυσθενών ιόντων. Η αντοχή της γέλης αυξάνεται με αυξανόμενο μοριακό βάρος και μείωση του pH (έως ότου αρχίσει η υδρόλυση του πολυμερούς). Ο ρυθμός πήξης σχετίζεται με το βαθμό μεθοξυλίωσης. Οι πηκτίνες υψηλού μεθοξυλίου με 70-75% μεθοξυλίωση ονομάζονται "*Rapid-set*", το 65-70% είναι "*medium-set*" και το 55-65% "*slow-set*". Οι χαμηλές μεθοξυλικές πηκτίνες (<50% μεθοξυλική υποκατάσταση) απαιτούν πολυσθενή ιόντα (συνήθως ασβέστιο) για ζελατινοποίηση. Οι πηκτίνες υψηλού μεθοξυλίου γενικά δεν σχηματίζουν πηκτές πάνω από pH 3,5, ενώ οι πηκτίνες χαμηλής μεθοξυλικής μορφής μπορούν να σχηματίσουν πηκτές μέχρι pH 6,5. Οι πηκτίνες χαμηλού μεθοξυλίου ρυθμίζονται γρήγορα στη θερμοκρασία ζελατινοποίησης, ενώ οι πηκτίνες υψηλού μεθοξυλίου ρυθμίζονται αργά. Οι αμιδιωμένες πηκτίνες χαμηλού μεθοξυλίου (συνήθως 15-22% αμιδιωμένες) γενικά έχουν υψηλότερες θερμοκρασίες ζελατινοποίησης από τις μη αμιδιωμένες πηκτίνες και επηρεάζονται λιγότερο από τις φυσικές μεταβολές της περιεκτικότητας σε ιόντα ασβεστίου. Ως εκ τούτου, έχουν βρεθεί ότι έχουν καλή επαναληψιμότητα και επομένως είναι πιο ελεγχόμενες. Η αμιδίωση αυξάνει την ισχύ του πηκτώματος. Οι πηκτίνες που περιέχουν φερουλικό οξύ (ζαχαρότευτλα, σπανάκι) μπορούν να πηκτωματοποιηθούν ενζυμικά με υπεροξειδάση και υπεροξείδιο του υδρογόνου

Ζελατίνη	
Όνομα και Συνώνυμα της βιβλιογραφίας	Gelatin/ E441/
Κατηγορία	Πρωτεϊνικό μίγμα / πηκτικό μέσο
Ασφάλεια	Τύπος Gras, μη τοξικό
Χρήση στα τρόφιμα	Σε όλα τα τρόφιμα
Όρια χρήσης	0.1-1,00 % (παγωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα), 0,1-1,0% (σε γιαούρτι), <0,3% (ρόφημα γιαουρτιού), <0,5% (κρέμα γάλακτος ανάλογα με τα λιπαρά), <0,3% (σε επαλείψεις και σε λιωμένο τυρί), 6-10% (ζελεδάκια).
Χαρακτηριστικά εμφάνιση και	Λευκή-υποκίτρινη σκόνη, σιρόπι , φιλμ διαφανές.
Εύρη Ιδιοτήτων	Η ζελατίνη τύπου Α έχει ισοηλεκτρικό pH μεταξύ 7 και 9, ενώ ο τύπος Β έχει ισοηλεκτρικό pH μεταξύ 4,6 και 5,2. Η αντοχή πηκτής ζελατίνης μετράται με τη δοκιμή Bloom, η οποία είναι ειδική για τη βιομηχανία ζελατίνης. Η ζελατίνη είναι αρκετά σταθερή σε οξέα και διογκώνεται σε κρύο νερό. Η πλήρης διαλυτότητα επιτυγχάνεται στους περίπου 60 ° C. Μπορεί να συγκρατήσει 5 με 10 φορές το βάρος της σε νερό. Ακόμη η προσθήκη αραβικού λειτουργεί συνεργιστικά για μικροεγκλεισμό.
Λειτουργικές Ιδιότητες στα τρόφιμα	Δημιουργία gel, παράγοντας πάχυνσης, σταθεροποιητής και παράγοντα διόγκωσης. Σταθεροποιητής γεύσης
Εναλλακτικά κόμματα	Πηκτίνη, άμυλα, τροποποιημένα άμυλα, πρωτεΐνες, άλευρα, αραβικό, ξανθάνη (υπό προϋποθέσεις).
Παρατηρήσεις χρήσης	Ανάδευση σε ελαφρώς ζεστό διάλυμα και έπειτα μείωση της θερμοκρασίας.

-GLY-(HY)PRO-X-GLY-(HY)PRO-X-GLY-(HY)PRO-X-GLY-(HY)PRO-X-

Εικόνα 1^β.6 : Κατά προσέγγιση πεπτιδική αλληλουχία ζελατίνης(GLY = γλυκίνη, PRO = προλίνη, (HY)PRO = υδροξυπρολίνη και X = ένα από τα άλλα παρόντα αμινοξέα) (Hoefler, 2004)

Ζελατίνη: Μετά τις πρωτεΐνες γάλακτος η ζελατίνη είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος παράγοντας πάχυνσης στο γιαούρτι. Οι κοινές εμπορικές πηγές ζελατίνης είναι δέρματα βοοειδών και οστά, δέρματα χοιρινού κρέατος και δέρμα ψαριού. Εφόσον η ζελατίνη απαιτεί ορισμένο χρόνο και χαμηλές θερμοκρασίες, τα γιαούρτια μπορούν να ψυχθούν για μικρές χρονικές περιόδους πριν από την πλήρωση, χωρίς πλήρη απώλεια της δομής του πηκτώματος από τη ζελατίνη. Αντίθετα, το άμυλο θα χάσει σημαντικό ιξώδες όταν κοπεί. Ένα άλλο πλεονέκτημα της ζελατίνης είναι η χαμηλότερη αντίθλιψη κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας από ότι άλλα υδροκολλοειδή. Το πεπτίδιο

είναι πλούσιο σε όξινες και βασικές ομάδες, με ελαφρά περίσσεια βασικών ομάδων. Η ζελατίνη είναι μοναδική, επειδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει μία γέλη που λιώνει σε θερμοκρασία δωματίου ή ελαφρώς υψηλότερη, πράγμα που δίνει εξαιρετική υφή και διατροφικές ιδιότητες.

Πρωτεΐνη ορού γάλακτος	
Όνομα και Συνώνυμα της βιβλιογραφίας	Whey protein/ isolate milk protein
Κατηγορία	Πρωτεΐνη / πηκτικό μέσο
Ασφάλεια	Τύπος Gras
Χρήση στα τρόφιμα	Γαλακτοκομικά προϊόντα, σάλτσες, ροφήματα, συνοδευτικά, φιλμ, επικαλύψεις.
Όρια χρήσης	Δεν τίθενται νομικά όρια. 1-5% (αρτοσκευάσματα), 0-5% (σοκολατούχο ρόφημα), 0 - 20% (μπάρες δημητριακών), 0,5- 5,2% (γιαούρτι) , 1-3% (παγωτά), 2% (surimi).
Χαρακτηριστικά εμφάνιση και	Λευκή - υποκίτρινη σκόνη.
Εύρη Ιδιοτήτων	Εξαρτάται από το ποσοστό καθαρότητας. Γενικά διαλύεται στο νερό σε pH=6.
Λειτουργικές Ιδιότητες στα τρόφιμα	Παράγοντας πάχυνσης, σταθεροποιητής, υποκατάστατο αυγού, γαλακτωματοποιητής , σταθεροποιητής γεύσης, εγκλειστικό μέσο.
Εναλλακτικά κόμματα	Αραβικό , ζελατίνη, κόμμι τζελάν (υπό προϋποθέσεις).
Παρατηρήσεις χρήσης	100g ξηρού ολόκληρου αυγού ισοδυναμεί με 57 g πρωτεΐνης ορού γάλακτος 80%, 100 φρέσκα ολόκληρα αυγά ισοδυναμούν με 15g πρωτεΐνης 80% + 75g νερού.

Πρωτεΐνη ορού γάλακτος: Ο λόγος που χρησιμοποιούνται υδροκολλοειδή σε γαλακτοκομικά προϊόντα είναι διττός. Από τη μία μεριά, τα υδροκολλοειδή βελτιώνουν την υφή, δίνουν πιο στέρεο σώμα σε υγρές συνθέσεις και παράγουν γαλακτο-γέλες, σε γάλα με γεύσεις και πόσιμο γιαούρτι. Από την άλλη πλευρά, τα υδροκολλοειδή αυξάνουν τη διάρκεια ζωής του σοκολατούχου γάλακτος και των φρούτο-γαλακτικών ποτών, προστατεύοντάς τα παράλληλα από την αποσταθεροποίηση. Εκτός από τα υδροκολλοειδή, το γαλακτοκομικό σύστημα αποτελείται επίσης από πρωτεΐνες γάλακτος. Υδροκολλοειδή και πρωτεΐνες διαλύονται στην υδατική φάση και σχηματίζουν ένα ψευδο-διάλυμα πολυηλεκτρολυτών, «πρωτεΐνο-υδροκολλοειδές νερό». Τα πρωτεΐνο-υδροκολλοειδή συστήματα γάλακτος παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα τα οποία εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες. Η μοριακή αναλογία πρωτεΐνης προς υδροκολλοειδή, η πηγή υδροκολλοειδούς και πρωτεΐνης, η διασκορπισμένη συγκέντρωση σωματιδίων, η θερμοκρασία, το ιοντικό περιβάλλον, η δομή υδροκολλοειδούς είναι μερικοί από τους παράγοντες

Η θερμοδυναμική ασυμβατότητα είναι ένα από τα ανεπιθύμητα φαινόμενα του πρωτεΐνο-υδροκολλοειδούς συστήματος. Σε αυτή την περίπτωση, δημιουργούνται απωθήσεις και στην ίδια την υδατική φάση δημιουργούνται άλλες ανομοιογενείς φάσεις. Ωστόσο, σε σύγκριση με τη θερμοδυναμική ασυμβατότητα των συνθετικών πολυμερών, οι πρωτεΐνες και τα υδροκολλοειδή είναι μόνο ασυμβίβαστα υπό ορισμένες συνθήκες (υψηλή ιοντική ισχύς, pH). Η ισορροπία σε συστήματα που θέλουν αιώρηση των υλικών χρειάζεται προσοχή.

Κεφάλαιο 2 : Ξήρανση στη Βιομηχανία Τροφίμων και τη Γαλακτοβιομηχανία

2.1 Γενικά στοιχεία

Η ξήρανση ή αφυδάτωση στη βιομηχανία τροφίμων ορίζεται ως η διεργασία απομάκρυνσης μεγάλου ποσοστού νερού από το εκάστοτε τρόφιμο. Σκοπός είναι να μειωθεί πρακτικά η μικροβιακή δραστηριότητα που υποβαθμίζει και αλλοιώνει το τρόφιμο, ώστε να παρατεταθεί ο χρόνος ζωής του. Επιπρόσθετα, η ξήρανση βοηθά στη μείωση του όγκου, για ευκολία στη μεταφορά, στις συνθήκες αποθήκευσης καθώς και στη χρήση ως έτοιμο προς κατανάλωση προϊόν ή ως μέρος παραγωγής/εμπλουτισμού ενός άλλου τροφίμου. Κατά τις διεργασίες αναπτύσσονται φαινόμενα μεταφοράς μάζας και ενέργειας αποκλείοντας όμως από τον ορισμό της ξήρανσης μεθόδους απομάκρυνσης νερού με διαλύτες ή μείωσης του διαθέσιμου νερού με προσθήκη ζάχαρης ή αλάτων. (Foust, 2008)

Έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι ξήρανσης και ο εξοπλισμός τους συνεχώς εξελίσσεται και τροποποιείται προς βελτίωση της απόδοσης της εκάστοτε μεθόδου. Ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του τροφίμου επιλέγεται και διαφορετική μέθοδος ξήρανσης και σχεδιάζεται ανάλογα ο ξηραντήρας και οι επικρατούσες συνθήκες ξήρανσης. Ξήρανση με κατάψυξη (freeze drying), ξήρανση με ψεκασμό (spray drying), ξήρανση υπό κενό (vacuum drying), ξήρανση με μικροκύματα (microwave drying), ξήρανση με ρευστοστερεά κλίνη (fluidbed drying), ξήρανση με τύμπανα (drum drying), οσμωτική αφυδάτωση (osmotic dehydration) είναι μερικές από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται αυτή τη στιγμή στη βιομηχανία (Singh & Heldman, 2013)

Παράλληλα, λοιπόν, με την τεχνολογική εξέλιξη της κάθε μεθόδου ξήρανσης, γίνονται συνδιασμοί μεθόδων καθώς και ανάπτυξη νέων μεθόδων. Η ξήρανση με ψεκασμό μπορεί να ακολουθείται από ξήρανση με ρευστοστερεά κλίνη, για παραγωγή πιο ξηρών προϊόντων, ή από διαβροχή και μετά ξήρανση με ρευστοστερεά (agglomeration) για παραγωγή προϊόντων αυξημένου βάρους για πιο εύκολη χρήση. Ακόμη η μέθοδος ξήρανσης με ψεκασμό και κατάψυξη (spray-freeze drying) αποτελεί τον πιο πρόσφατο συνδυασμό και ήδη έχει σπουδαία αποτελέσματα και εφαρμογές στο ενεργητικό της. Επιπρόσθετα οι μέθοδοι ξήρανσης χρησιμοποιούνται πλέον για ενθυλάκωση δραστικών ουσιών προς παραγωγή λειτουργικών προϊόντων και τροφίμων καθώς και για μετέπειτα τροποποιήσεις για βελτιστοποίηση των ιδιοτήτων των παραγόμενων προϊόντων σε μορφή σκόνης. (Anandharamakrishnan, 2017)

Συγκεκριμένα στη γαλακτοβιομηχανία, πέρα από τις μεθόδους συμπύκνωσης και στράγγισης που ήταν γνωστές από παλαιότερα, η μέθοδος ξήρανσης προς παραγωγή σκόνης εισήχθη με τη μαζική παραγωγή γάλακτος σε σκόνη, όταν αναπτύχθηκε ο τεχνολογικός εξοπλισμός των διεργασιών ξήρανσης με τύμπανα και ξήρανσης με ψεκασμό το 1872 και το 1902, αντίστοιχα. Από τότε η τεχνολογία ξήρανσης για τα γαλακτοκομικά προϊόντα εξελίσσεται συνεχώς και έτσι έχουν σημειωθεί πολυάριθμες καινοτομίες, από την ανάπτυξη πολλαπλών σταδίων ξήρανσης μέχρι και τεχνικές ξήρανσης χαμηλής θερμοκρασίας. Οι νέες τεχνολογίες έχουν σαν στόχο την βελτιστοποίηση των μεθόδων, συνδυάζοντας μειωμένη ενεργειακή κατανάλωση με μεγιστοποίηση της απόδοσης και μικρότερη αλλοίωση του προϊόντος (Tamime A.Y., 2009). Η ξήρανση με τύμπανα είναι η παλαιότερη μέθοδος και με τη μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση για συνεχείς διεργασίες. Σε σύγκριση με την ξήρανση με ψεκασμό, η ξήρανση με τύμπανα χρειάζεται μικρότερο χώρο και είναι πιο οικονομική για παραγωγές μικρότερης κλίμακας. Αντιθέτως η ξήρανση με κατάψυξη έχει ως αποτέλεσμα ποιοτικά

καλύτερη σκόνη γάλακτος, όμως είναι εμπορικά ανέφικτη λόγω του υψηλού κόστους λειτουργίας της (Tang ,2003).

Η γκάμα των αφυδατωμένων γαλακτοκομικών προϊόντων περιλαμβάνει χωρίς να περιορίζεται μόνο σε αυτά: αποβουτυρωμένο γάλα σε σκόνη, μερικώς αποκορυφωμένο γάλα σε σκόνη, πλήρες γάλα σε σκόνη, σκόνη ορού γάλακτος, σκόνη τυριού, στιγμιαία μίγματα παγωτού και σκόνης γιαουρτιού. Τέλος τα φυσικοχημικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των αφυδατωμένων γαλακτοκομικών προϊόντων εξαρτώνται από την εκάστοτε εφαρμοζόμενη τεχνική ξήρανσης (Allen, Benoist, Dary, & Hurrell 2006).

Από οικονομικής πλευράς η παραγωγή ξηρών τροφίμων είναι μία ταχέως αναπτυσσόμενη και ευρεία αγορά πολλών δισεκατομμυρίων. Πόσο μάλλον όταν γίνεται αναφορά για τις σκόνες της γαλακτοβιομηχανίας που από μόνη της η αγορά του γάλακτος είναι τεράστια, όπως προαναφέρθηκε. Ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO), επισήμανε ότι για να καλυφθεί η ζήτηση τα επόμενα έτη θα πρέπει να αυξηθεί η παραγωγή έως 191 εκατομμύρια τόνους γάλακτος ετησίως έως το 2020, τονίζοντας ότι οι χώρες θα πρέπει να επισπεύσουν την τόνωση του πρωτογενούς τομέα. Συγκεκριμένα, η Ευρώπη των 27 αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες περιοχές παραγωγής και εξαγωγής γάλακτος. Η Γερμανία, η Γαλλία και Ιταλία καλύπτουν περισσότερο από το 55% της συνολικής παραγωγής. Στην Ευρώπη η αγορά ξηρού άπαχου ή πλήρους γάλακτος παρέμεινε στάσιμη από το 2013 και από το 2015 προβλέπεται ότι θα μειωθεί, λόγω της έλλειψης νωπού γάλακτος και της μεγάλης αύξησης του διεθνούς ανταγωνισμού. Η Κίνα αποτελεί τη μεγαλύτερη παγκοσμίως αγορά γάλακτος και γαλακτοκομικών προϊόντων, με αυξανόμενη ζήτηση που υπερκαλύπτει την παραγωγή της και ξεπερνά κάθε πρόβλεψη για τις εισαγωγές της αποτελώντας τον κύριο ρυθμιστή. Από το 2012 η Κίνα αύξησε την εισαγωγή ξηρού γάλακτος από τις ΗΠΑ και μείωσε με κυβερνητική απόφαση της εισαγωγές της από τον κύριο πάροχο της σε άπαχο-ξηρό γάλα, την Γερμανία κατά 20% καθώς εκείνη την περίοδο μειώθηκε η τιμή του πλήρους ξηρού γάλακτος (USDA - United States Department of Agriculture 2018).

2.2 Μέθοδοι ξήρανσης

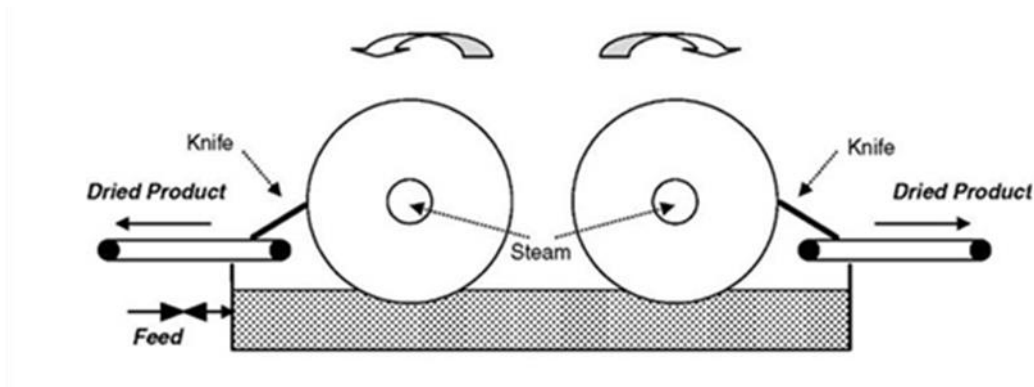
Στη συνέχεια θα αναφερθούν η ξήρανση με τύμπανα, η ξήρανση με ψεκασμό και κατάψυξη, η ξήρανση με κατάψυξη και η ξήρανση με ψεκασμό που αποτελούν τις μεθόδους με τις περισσότερες εφαρμογές στα γαλακτοκομικά προϊόντα.

2.2.1 Ξήρανση με τύμπανα

Η ξήρανση με τύμπανα είναι μία συνεχής διαδικασία κατά την οποία τα τύμπανα θερμαίνονται με ατμό και ταυτόχρονα περιστρέφονται με σταθερή ταχύτητα για να αφυδατώσουν το προϊόν. Η θερμότητα μεταφέρεται με αγωγή και ρυθμίζει την ξήρανση πάνω στο τύμπανο καθώς το προϊόν έρχεται σε επαφή με αυτό για 5-30 s ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής του τυμπάνου. Το υλικό τροφοδοσίας σε μορφή υγρού ή πάστας εφαρμόζεται στο περιστρεφόμενο τύμπανο και το αποξηραμένο προϊόν απομακρύνεται με τη βοήθεια αιχμηρών πτερυγίων , που εφάπτονται των τυμπάνων, με τη μορφή σκόνης ή μεμβράνης (Tang ,2003). Οι ξηραντήρες τυμπάνων ταξινομούνται με βάση τον αριθμό και τη διάταξη τυμπάνων (μονό, διπλό, δίδυμο) και την πίεση (ατμοσφαιρική ή κενό). Με βάση τα χαρακτηριστικά του προϊόντος και την απαίτηση ξήρανσης, επιλέγεται ο τύπος του ξηραντήρα. Το μήκος των τυμπάνων κυμαίνεται από 1 έως 3 m και το πάχος του τοιχώματος του τυμπάνου κυμαίνεται από 0,02 έως 0,04m .Η ξήρανση με τύμπανα δεν έχει εφαρμοστεί στο γιαούρτι, παρόλα αυτά η χρήση της μεθόδου στη γαλακτοβιομηχανία είναι σημαντική με πολλά

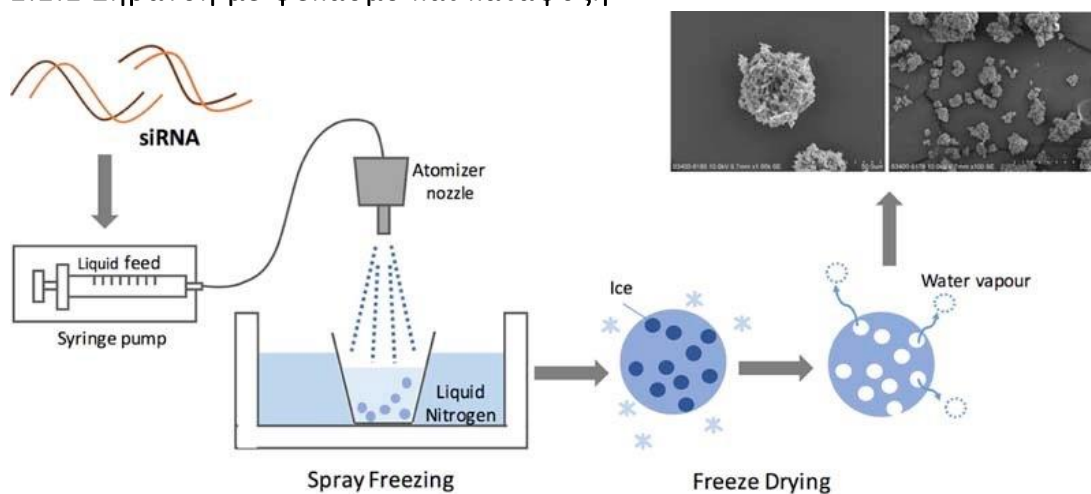
πλεονεκτήματα έναντι άλλων. Χρησιμοποιήθηκε ως η πλέον κατάλληλη μέθοδος για την παραγωγή παιδικών τροφών για πολλά χρόνια. Ωστόσο, η υψηλή θερμοκρασία μπορεί να οδηγήσει σε μετουσίωση των πρωτεϊνών και σε δημιουργία αλλοιωμένης γεύσης και χρωμάτων (Tamime A.Y.,2009). Η ξήρανση με τύμπανα σε δοχείο κενού σχεδιάστηκε με στόχο την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, με τα γαλακτοκομικά προϊόντα να υποβάλλονται σε ξήρανση σε χαμηλότερη θερμοκρασία και πίεση. Ωστόσο, είναι πιο ακριβή διεργασία σε σύγκριση με την ξήρανση ατμοσφαιρικού τυμπάνου λόγω του κόστους που συνεπάγεται η δημιουργία κενού. Εξαιτίας των διαδικασιών βρασμού και εξάτμισης, τα προϊόντα που ξηραίνονται με τύμπανα έχουν καλό πορώδες, καλές ιδιότητες διαβροχής και ταχεία ανασύσταση. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξηραντήρες τυμπάνου για την ξήρανση πολύ ιξωδών τροφίμων, μία διαδικασία που είναι δύσκολη με άλλους ξηραντήρες. Τέλος ο καθαρισμός και η ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας είναι πολύ εύκολες (Anandharamakrishnan ,2017)

Από την άλλη πλευρά ορισμένα μειονεκτήματα της ξήρανσης με τύμπανα είναι τα εξής: δεν είναι κατάλληλη μέθοδος για προϊόντα που δεν σχηματίζουν φιλμ, τα προϊόντα που περιέχουν υψηλή συγκέντρωση ζάχαρης είναι δύσκολο να αφαιρεθούν από το τύμπανο μετά την ξήρανση, έχει χαμηλότερη παραγωγικότητα σε σχέση με την ξήρανση με ψεκασμό και τέλος η αντικατάσταση ενός τυμπάνου είναι πολύ δαπανηρή (Tang ,2003).



Εικόνα 2.1: Ξηραντήρας με διπλό τύμπανο

2.2.2 Ξήρανση με ψεκασμό και κατάψυξη



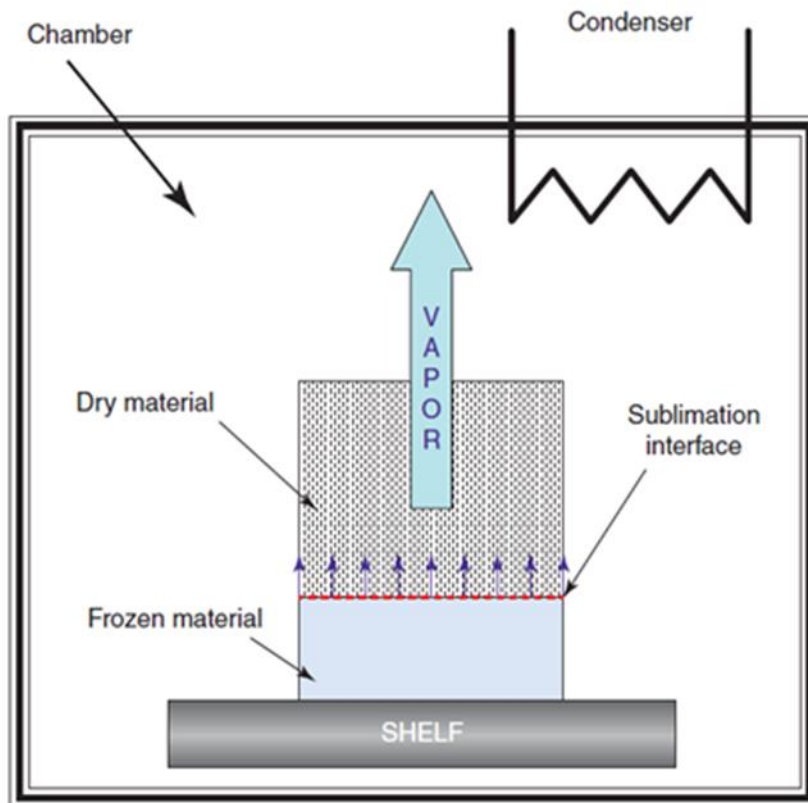
Εικόνα 2.2 Σχηματική απεικόνιση της ξήρανσης με ψεκασμό και κατάψυξη (Liang et al., 2018)

Αποτελεί μία διεργασία συνδυασμού της ξήρανσης με ψεκάσμο και της ξήρανσης με κατάψυξη, που θα αναλυθούν παρακάτω. Τα προϊόντα που ξηραίνονται με ψεκάσμο και κατάψυξη έχουν ένα σαφές ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έναντι των προϊόντων σε μορφή σκόνης που έχουν προέλθει από ξήρανση με ψεκάσμο όσον αφορά την πορώδη μικροδομή τους, την άμεση διαλυτότητα και την ανώτερη ποιότητα. Η μικροδομή των σωματιδίων με την κατάλληλη προσαρμογή των συνθηκών επεξεργασίας της ξήρανσης με ψεκάσμο και κατάψυξη αποτελεί έναν ενδιαφέροντα τομέα έρευνας. Ωστόσο, η μετατροπή των εφαρμογών αυτής της μεθόδου σε εμπορικά βιώσιμα προϊόντα βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο. Η χρήση των εξελιγμένων εργαλείων υπολογιστικής μοντελοποίησης μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη ενός βελτιστοποιημένου σχεδιασμού για την ξήρανση με ψεκάσμο και κατάψυξη. Η μελλοντική έρευνα σε αυτές τις προοπτικές θα μπορούσε να μετατρέψει τη μέθοδο σε μία φιλική προς τη βιομηχανία τεχνική για χρήση στον τομέα του τροφίμου, προς το παρόν χρησιμοποιείται μόνο για προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας κυρίως στη φαρμακοβιομηχανία (Anandharamakrishnan ,2017)

2.2.3 Ξήρανση με κατάψυξη (Freeze drying)

Η ξήρανση με κατάψυξη είναι μία διεργασία που αναπτύχθηκε για να μειώσει τα μειονεκτήματα των θερμικών διεργασιών ξήρανσης αποδίδοντας σκόνες με υψηλά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Οι κύριες χρήσεις είναι η παραγωγή λυοφιλιωμένου καφέ, τσαγιού, κρέατος, επιλεγμένων φρούτων και λαχανικών, βοτάνων και τροφών για κατοικίδια ζώα. Στη γαλακτοβιομηχανία, η λυοφιλίωση χρησιμοποιείται κυρίως για τη διατήρηση των αρχικών καλλιεργειών και την ενθουλάκωση των προβιοτικών οργανισμών για χρήση ως λειτουργικά συστατικά (Tamime A.Y.,2009). Άλλα γαλακτοκομικά προϊόντα τα οποία θα μπορούσαν να λυοφιλιωθούν είναι το γάλα, το τυρί, η κρέμα γάλακτος, το γιαούρτι και το παγωτό. (Anandharamakrishnan ,2017)

Αν και ενεργοβόρα και κατ' επέκταση οικονομικά δαπανηρή διεργασία λόγω κατάψυξης, δημιουργίας κενού και μεγάλου χρόνου παραμονής, η ικανότητα παραγωγής προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας και νέου σχεδιασμού, την έχουν φέρει στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος της βιομηχανίας. Πάγια έξοδα και κόστη λειτουργίας είναι υψηλά. Η ετήσια παραγωγική ικανότητα ενός ξηραντήρα με ψύξη, σύμφωνα με εκτιμήσεις πάνω στο κόστος της διεργασίας για ξήρανση τροφίμων, βασίζεται σε 20 h / ημέρα και 250 εργάσιμες ημέρες ετησίως, ενώ επιτρέπονται 4 h / ημέρα για εργασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης. Έτσι, η ετήσια δυναμικότητα (Annual capacity)= 5000 × ονομαστική χωρητικότητα (rated capacity)(kg πάγου / h). Τέλος με τις ίδιες εκτιμήσεις οι διαδικασίες κατάψυξης καταναλώνουν 0,65 kWh/kg πάγου, η αντλία κενού 0,36 kWh/kg πάγου, άρα συνολικά 1,01 kWh/kg πάγου. (Mujumdar A.S.,2015)



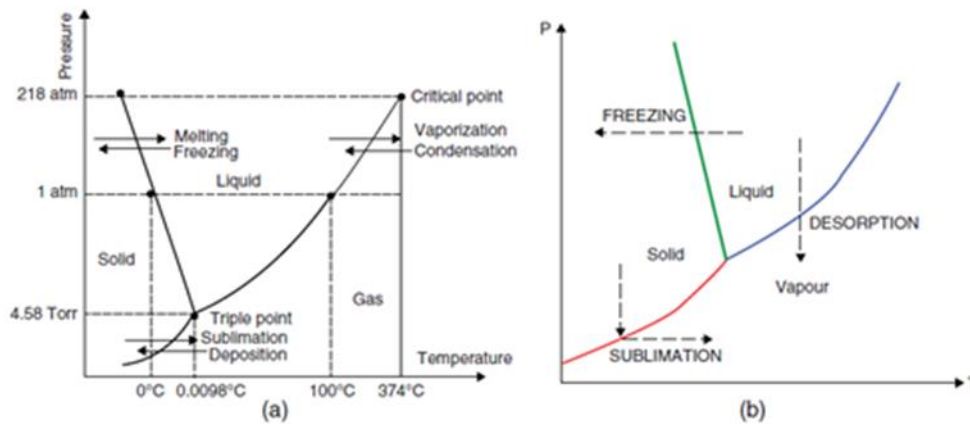
Εικόνα 2.3: Διάταξη ξηραντήρα με κατάψυξη

2.2.3.1 Στάδια Ξήρανσης με κατάψυξη

Η ξήρανση με κατάψυξη ή η λυοφιλίωση είναι η διαδικασία απομάκρυνσης του διαλύτη ή της διασποράς από το προϊόν με εξάχνωση και εκρόφηση. Η διαδικασία ξήρανσης με κατάψυξη περιλαμβάνει τρία στάδια: (i) κατάψυξη, (ii) πρωτογενή ξήρανση και (iii) δευτερογενή ξήρανση (Haseley & Oetjen 2018). Ο διαλύτης στο προϊόν (νερό στην περίπτωση των εφαρμογών στο τρόφιμο) κρυσταλλώνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες (κατάψυξη) και εξαχνώνεται, δηλαδή, μεταβαίνει άμεσα από τη στερεά προς την αέρια κατάσταση (πρωτογενής ξήρανση). Μετά τη διαδικασία εξάχνωσης, το απορροφημένο ή δεσμευμένο νερό στο προϊόν αφαιρείται με εκρόφηση (δευτερογενής ξήρανση). Συμβατικά, η διεργασία εκτελείται υπό μειωμένη πίεση ή υπό κενό, ώστε να είναι πιο εύκολη η απομάκρυνση αερίων ή μη συμπυκνώσιμων αερίων από το θάλαμο ξήρανσης, γεγονός που μπορεί να μειώσει την ταχύτητα μεταφοράς υδρατμών από το προϊόν στο συμπυκνωτή (Anandharamakrishnan, Rielly, & Stapley 2007).

Ο κύριος διαλύτης στη λυοφιλίωση των γαλακτοκομικών προϊόντων είναι το νερό. Το ελεύθερο νερό που παγώνει καλύπτει ποσοστό περισσότερο από το 90% του συνολικού νερού, ενώ το υπόλοιπο είναι δεσμευμένο ή προσροφημένο και δεν παγώνει. Γενικά το νερό υπάρχει σε τρεις καταστάσεις: στερεό, υγρό και αέριο (ατμός). Οι καμπύλες γραμμές αντιπροσωπεύουν τις εξής διαδικασίες που καθορίζουν τη διέλευση του νερού από τη μία κατάσταση στην άλλη: εξάχνωση (στερεό προς ατμό), εναπόθεση (ατμός προς στερεό), τήξη (στερεό προς υγρό), κατάψυξη (υγρό προς στερεό), εξάτμιση (Εικόνα 2.4). Οι τρεις φάσεις του νερού συνυπάρχουν στο τριπλό σημείο (τριπλό σημείο του νερού). Η αρχή της ξήρανσης με κατάψυξη βασίζεται στα φαινόμενα εξάχνωσης και εκρόφησης. Στη

διαδικασία της αλλαγής φάσης, εάν η πίεση μέσα στο θάλαμο διατηρείται κάτω από το τριπλό σημείο του νερού, ο πάγος στο προϊόν μπορεί να εξαχνώνεται άμεσα.



Εικόνα 2.4 : Διαγράμματα φάσεων του νερού και φαινομένων διέλευσης από την μια φάση στην άλλη

2.2.3.1α Προκατεργασία

Πέρα από τα τρία κύρια στάδια της ξήρανσης με κατάψυξη σε ορισμένες εφαρμογές εμπλέκεται ένα επιπλέον στάδιο προκατεργασίας. Για τα στερεά τρόφιμα, η προκατεργασία συνεπάγεται την αύξηση της επιφάνειας των τροφίμων που πρόκειται να ξηραθούν με τεμαχισμό, κοπή ή λείανση. Στην περίπτωση υγρών τροφίμων, η διαδικασία προεπεξεργασίας περιλαμβάνει συμπύκνωση ή προσθήκη σταθεροποιητικών παραγόντων. Το στάδιο αύξησης της συγκέντρωσης βοηθά στη μείωση της διάρκειας της ξήρανσης με κατάψυξη και στη βελτίωση της πυκνότητας των ξηρών τροφίμων.

2.2.3.1β Κατάψυξη

Η κατάψυξη είναι το πρώτο βήμα για την ξήρανση με κατάψυξη όπου μεταπίπτει το 65-90% της αρχικής περιεχόμενης υγρασίας του τροφίμου στην κατεψυγμένη κατάσταση (ελεύθερο νερό). Το υπόλοιπο παραμένει στο όριο ή σε προσροφημένη/δεσμευμένη κατάσταση (δεσμευμένο νερό). Ο πάγος για να εξαχνωθεί χρειάζεται κατάψυξη στους -40°C και έπειτα η πίεση μέσα στο θάλαμο ξήρανσης θα πρέπει να είναι μικρότερη από 12.9Pa. (Haseley & Oetjen 2018).

Γενικά τα υγρά γαλακτοκομικά προϊόντα παγώνουν με τη διαδικασία της κρυστάλλωσης. Η κρυστάλλωση είναι μία διαδικασία δύο σταδίων που περιλαμβάνει πυρήνωση και ανάπτυξη κρυστάλλων. Ως εκ τούτου, ο βαθμός υπέρψυξης προσδιορίζει το μέγεθος και τον αριθμό των κρυστάλλων πάγου που σχηματίζονται. Με άλλα λόγια, με υψηλό βαθμό υπέρψυξης, ο ρυθμός πυρήνωσης είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό αύξησης των κρυστάλλων, ευνοώντας έτσι το σχηματισμό ενός μεγάλου αριθμού μικρών κρυστάλλων. Από την άλλη πλευρά, σε περίπτωση χαμηλού βαθμού υπέρψυξης, η ανάπτυξη κρυστάλλων ευνοείται και έτσι έχει ως συνέπεια να σχηματιστούν λιγότεροι αλλά μεγαλύτεροι κρύσταλλοι. Ο ρυθμός ψύξης είναι ταχύτερος στην επιφάνεια και πιο αργός στο κέντρο, δημιουργώντας έτσι μικρότερους κρυστάλλους στην επιφάνεια και μεγαλύτερους κρυστάλλους στο κέντρο (Starpley 2008). Επιπλέον, η παρουσία διαλυμένων ουσιών έχει βαθιά επίδραση στη διαδικασία σχηματισμού πυρήνων. Με την έλλειψη διαλυτής ουσίας, η διαδικασία σχηματισμού πυρήνων εξαρτάται μόνο από τα μόρια του νερού για να τακτοποιηθούν σε μία κανονική δομή που μοιάζει με πάγο, ακολουθούμενη από την ανάπτυξη

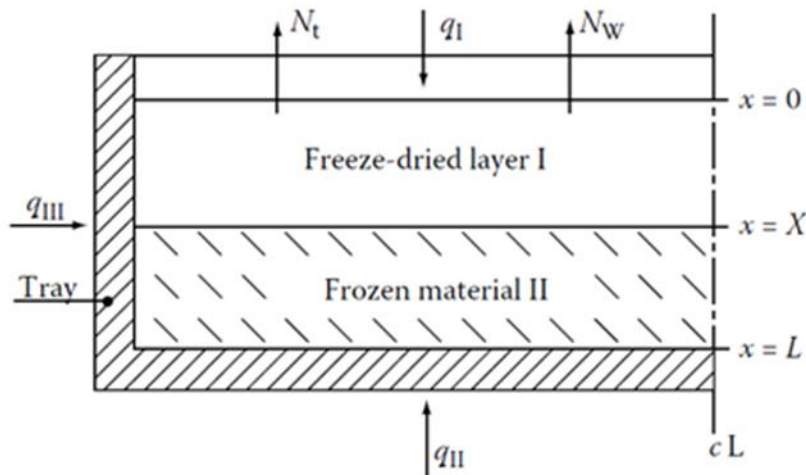
κρυστάλλων. Αντίθετα με την παρουσία διαλυτής ουσίας, η διάχυση μειώνεται, λόγω αυξημένου ιξώδους και η συσσώρευση μειώνεται (Wolfe & Bryant, 1999).

Η κατάψυξη είναι ένα από τα κρίσιμα στάδια της ξήρανσης με κατάψυξη, καθώς η μικροδομή, η ανασύσταση και οι ιδιότητες αποθήκευσης του τελικού ξηρού προϊόντος προσδιορίζονται με αυτή τη διαδικασία. Το μέγεθος και η δομή των κρυστάλλων πάγου που σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της κατάψυξης αντικατοπτρίζει το μέγεθος και τη δομή των πόρων που σχηματίζονται στο λυοφιλιωμένο προϊόν. (McSweeney ,2016) Επιπλέον, ο ρυθμός ξήρανσης στα στάδια πρωτογενούς και δευτερογενούς ξήρανσης επηρεάζεται από τις ιδιότητες της κατεψυγμένης μήτρας του προϊόντος. Όταν επιτυγχάνεται ένα συνδεδεμένο δίκτυο κρυστάλλων, δημιουργείται μία σχετικά εύκολη διαδρομή για να διαφύγουν τα μόρια του νερού μέσω του σχηματιζόμενου δικτύου-πόρων. Επομένως, ο σχηματισμός μεγαλύτερων κρυσταλλικών μητρών είναι ευνοϊκότερος για ταχύτερη ξήρανση με κατάψυξη. Παρόλα αυτά οι πολύ μεγάλοι κρύσταλλοι μπορεί να καταστρέψουν βιοενεργές δομές. (Wang, Chen, & Chen 2012)

Τα υδατικά διαλύματα έχουν δύο διαφορετικές συμπεριφορές κατάψυξης. Το σημείο πήξης του γάλακτος εξαρτάται από τη συγκέντρωση υδατοδιαλυτών συστατικών όπως τα σάκχαρα ή η πρωτεΐνη. Παρομοίως, για την κατάψυξη άλλων γαλακτοκομικών προϊόντων όπως η λακτόζη, το τυρί, το γιαούρτι και τα προβιοτικά, η ουσία πρέπει να ψύχεται σε θερμοκρασία στην οποία το νερό και τα στερεά κρυσταλλώνονται πλήρως ή στα οποία τα στερεά και ο κρυσταλλωμένος πάγος περικλείονται στις ζώνες όπου παραμένουν σε μηχανική στερεή κατάσταση (Oetjen & Haseley 2004). Ανάλογα με τη φύση των στερεών στο διάλυμα, η υγρή φάση στερεοποιείται απότομα (εύτηκτος σχηματισμός) ή δεν στερεοποιείται και καθίσταται ένα πολύ ιξώδες υγρό (σχηματισμός υαλώδους μορφής). Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν τη διαδικασία κατάψυξης είναι η θερμοκρασία κατάψυξης, η αρχική συγκέντρωση, ο βαθμός και το εύρος ψύξης (Liapis, 1995).

2.2.3.1γ Ξήρανση

Πριν την ανάλυση των σταδίων και την αναφορά των ισοζυγίων που τα διέπουν παρατίθεται η τομή ενός δίσκου που ξηραίνεται με κατάψυξη.



Σχήμα 2.1 : Διάγραμμα υλικού σε δίσκο κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με κατάψυξη. Η μεταβλητή X υποδηλώνει τη θέση της διαεπιφάνειας όπου γίνεται εξάχνωση, μεταξύ του λυοφιλιωμένου στρώματος (στρώμα I) και του κατεψυγμένου υλικού (στρώμα II).

Το πάχος των πλευρών του δίσκου, καθώς και το υλικό από το οποίο κατασκευάζεται ο δίσκος, θεωρείται ότι είναι τέτοια, έτσι ώστε να μην συνεισφέρουν στη μεταφορά θερμότητας. Η θερμότητα q_I θα μπορούσε να τροφοδοτηθεί στην επιφάνεια της ξηραθείσας στιβάδας με αγωγιμότητα, μεταφορά ή ακτινοβολία από την αέρια φάση. Αυτή η θερμότητα έπειτα μεταφέρεται με αγωγιμότητα στο κατεψυγμένο στρώμα. Η θερμότητα q_{II} παρέχεται από μία πλάκα θέρμανσης και οδηγείται μέσω του πυθμένα του δίσκου και μέσω του κατεψυγμένου υλικού για να φτάσει στην επιφάνεια διεπαφής ή στο επίπεδο εξάχνωσης. Η τιμή της θερμότητας q_{III} στις κάθετες πλευρές του δίσκου είναι πολύ μικρότερο από εκείνο της q_I ή q_{II} . Το q_{III} αντιπροσωπεύει την ποσότητα θερμότητας που μεταφέρεται μεταξύ του περιβάλλοντος στο θάλαμο ξήρανσης και των κάθετων πλευρών του δίσκου. Δεδομένου ότι η συμβολή του q_{III} είναι μάλλον αμελητέα σε σύγκριση με τις εισφορές των q_I και q_{II} , η συμβολή του q_{III} στο ποσοστό ξήρανσης δεν εξετάζεται. Οι όροι N_w και N_t στο Σχήμα 2.1 αντιπροσωπεύουν τη ροή μάζας υδρατμών και τη συνολική ροή μάζας, αντίστοιχα, στο ξηραθέν στρώμα. Η ολική ροή μάζας ισούται με το άθροισμα των ροών μάζας υδρατμών και αδρανούς αερίου, $N_t = N_w + N_{in}$, όπου το N_{in} δηλώνει τη ροή μάζας του αδρανούς αερίου (Mujumdar A.S., 2015)

2.2.3.1γ (i) Πρωτογενής Ξήρανση

Στην πρωτογενή ξήρανση ο έλεγχος της θερμοκρασίας του προϊόντος είναι κρίσιμος για τη λήψη αφυδατωμένου προϊόντος υψηλής ποιότητας. Γενικά, μετά το στάδιο κατάψυξης, ο θάλαμος ξήρανσης εκκενώνεται από αέρια και η πίεση μειώνεται σε ένα σημείο όπου λαμβάνει χώρα εξάχνωση πάγου. Είναι γνωστό ότι η διαδικασία εξάχνωσης λαμβάνει χώρα, μόνο όταν η πίεση του θαλάμου ή η μερική πίεση ατμού στο θάλαμο είναι χαμηλότερη από την πίεση ατμών πάγου στο μέτωπο ξήρανσης του προϊόντος. Ωστόσο, εάν η πίεση του θαλάμου είναι πολύ κάτω από την τάση ατμών του πάγου, η διαδικασία θα επιβραδυνθεί λόγω κακής μεταφοράς. (Liaris, 1995)

Οι εσωτερικές αντιστάσεις μεταφοράς θερμότητας και μάζας είναι χαρακτηριστικές του ξηρού υλικού, αλλά οι εξωτερικές αντιστάσεις είναι χαρακτηριστικές του εξοπλισμού. Η σχεδίαση και η επιλογή κατάλληλης αντλία κενού, συμπυκνωτή υδρατμών, θερμαντήρων καθώς και οι αποστάσεις μεταξύ των δίσκων έχουν σαν στόχο οι εξωτερικές αντιστάσεις μεταφοράς θερμότητας και μάζας να μην είναι σημαντικές (Anandharamakrishnan, 2017)

Για τη μαθηματική έκφραση των ισοζυγίων ενέργειας γίνονται οι εξής υποθέσεις: η εξάχνωση λαμβάνει χώρα ως αποτέλεσμα της θερμότητας διά αγωγής στην επιφάνεια διεπαφής της εξάχνωσης από το ξηρό (I) και το κατεψυγμένο (II) στρώμα. Ο υδρατμός που προκύπτει μεταφέρεται με μεταφορά και διάχυση διαμέσου του πορώδους του ξηρού στρώματος, εισέρχεται στο θάλαμο κενού και τέλος συλλέγεται στην πλάκα του συμπυκνωτή. Ακόμα : (α) λαμβάνονται υπόψη μόνο οι μονοδιάστατες ροές θερμότητας και μάζας β) η εξάχνωση λαμβάνει χώρα σε ένα οριζόντα διεπαφής παράλληλο προς και σε απόσταση X από την επιφάνεια του δείγματος, (γ) το πάχος του οριζόντα διεπαφής θεωρείται απειροελάχιστο, (δ) ένα διμερές μίγμα υδρατμών και αδρανούς αερίου ρέει διαμέσου της ξηραθείσας στοιβάδας, (ε) στη διεπαφή, η συγκέντρωση υδρατμών βρίσκεται σε ισορροπία με τον πάγο, (στ) στην πορώδη περιοχή, η στερεή μήτρα και το αέριο βρίσκονται σε θερμική ισορροπία και ζ) η κατεψυγμένη περιοχή θεωρείται ομοιογενής, με ομοιόμορφη θερμική αγωγιμότητα, πυκνότητα, ειδική θερμότητα και περιέχει αμελητέα αναλογία διαλυμένων αερίων. Έτσι τα ισοζύγια ενέργειας πρώτα για το ξηρό στρώμα και μετά για το κατεψυγμένο είναι:

$$\frac{\partial T_I}{\partial t} = \alpha_{le} \frac{\partial^2 T_I}{\partial x^2} - \frac{C_{pg}}{\rho_{le} C_{ple}} \left(\frac{\partial(N_t T_I)}{\partial x} \right) + \frac{\Delta H_v}{\rho_{le} C_{ple}} \left(\frac{\partial C_{sw}}{\partial t} \right), \quad 0 \leq x \leq X$$

Σχέση 2.1

$$\frac{\partial T_{II}}{\partial t} = \alpha_{II} \frac{\partial^2 T_{II}}{\partial x^2}, \quad X \leq x \leq L$$

Σχέση 2.2

Όπου $\alpha_{le} = k_{le} / \rho_{le} C_{ple}$, $\alpha_{II} = k_{II} / \rho_{II} C_{pII}$, $N_t = N_w + N_{in}$

C_{pg} = θερμική χωρητικότητα αερίου στο αποξηραμένο στρώμα, kJ/kg K,

C_{ple} = αποτελεσματική θερμική χωρητικότητα ξηρού στρώματος, kJ/kg K,

C_{pII} = θερμοκρασία κατεψυγμένου στρώματος, kJ / kg K

C_{sw} = συγκέντρωση δεσμευμένου νερού, kg / m³ ξηρού στρώματος

k_{le} = αποτελεσματική θερμική αγωγιμότητα στο ξηραμένο στρώμα, kW/m K

k_{II} = θερμική αγωγιμότητα στο κατεψυγμένο στρώμα, kW/m K

N_{in} = ροή μάζας αδρανούς αερίου στο ξηραμένο στρώμα, kg/m² s

N_t = ολική ροή μάζας στο ξηραμένο στρώμα ($N_t = N_{in} + N_w$), kg/m² s

N_w = μάζα ροής υδρατμών στο αποξηραμένο στρώμα, kg/m² s

ρ_{ie} = αποτελεσματική πυκνότητα της ξηρανθείσας στοιβάδας, kg/m^3

ρ_{ii} = πυκνότητα του κατεψυγμένου στρώματος, kg/m^3

ΔH_v = θερμότητα εξάτμισης συνδεδεμένου νερού, kJ/kg

T_i = θερμοκρασία στο ξηραμένο στρώμα, K

T_{ii} = θερμοκρασία στην κατεψυγμένο στρώμα, K

Με καθορισμένες αρχικές και οριακές συνθήκες. Ακόμη για μεταφορά θερμότητας ακτινοβολίας στην ανώτερη ξηρή επιφάνεια, σε $\chi = X$ ισχύει άλλος τύπος. Οι εξισώσεις συνέχειας (ισορροπία υλικού) για το ξηρό (I) στρώμα σε συνδυασμό με το ισοζύγιο ενέργειας δίνουν τις επιμέρους ροές μαζών και έτσι η συνολική ροή μάζας N_t ($N_t = N_w + N_{in}$) δίνεται από τον τύπο $N_t = v_p(C_{pw} + C_{pin})$, όπου v_p αντιπροσωπεύει την ταχύτητα μεταφοράς του αερίου (υδρατμών και αδρανών) στο πορώδες ξηρό (I) στρώματος. Η ταχύτητα μεταφοράς v_p του αερίου στην ξηρή στοιβάδα λαμβάνεται από την εξίσωση Darcy ως εξής:

$$v_p = - \left(\frac{\kappa}{\mu} \right) \frac{\partial P}{\partial x}$$

Όπου κ = είναι η διαπερατότητα του πορώδους ξηρού (I) στρώματος, μ = ιξώδες αερίου, P = συνολική πίεση ($P = p_{in} + p_w$) στο αποξηραμένο στρώμα, N/m^2

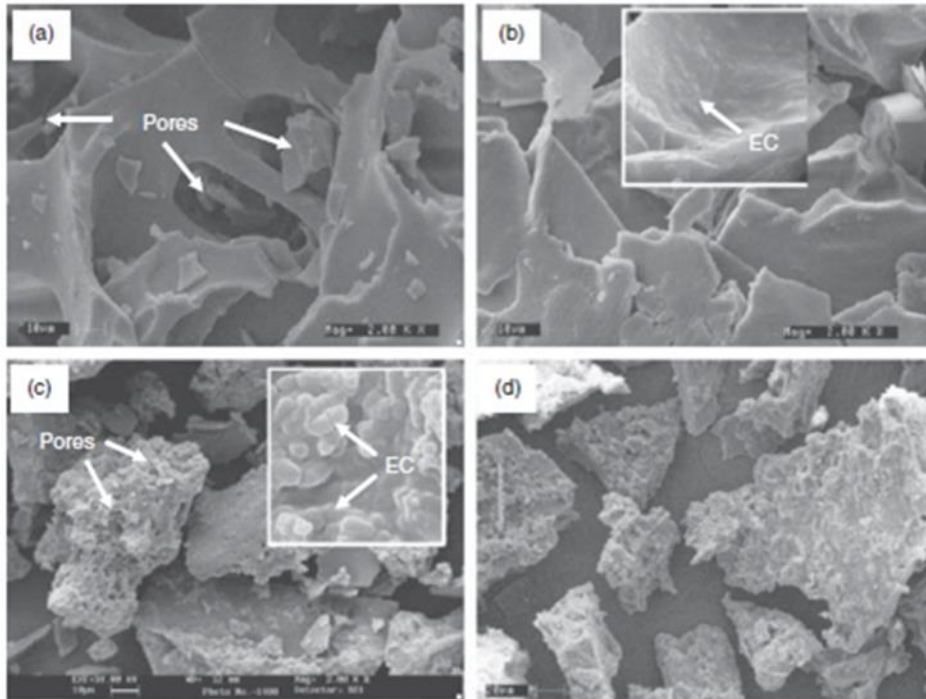
Σύμφωνα με το μαθηματικό μοντέλο και το φυσικό του αντίκρισμα θα πρέπει να προσεχθούν δύο σημεία κατά τη διάρκεια του κύριου σταδίου ξήρανσης. Πρώτον, η θερμοκρασία επιφάνειας $T_i(t, o)$ δεν πρέπει να γίνει πολύ υψηλή λόγω του κινδύνου θερμικής βλάβης. Αν η θερμοκρασία του σημείου τήξης T_m συναντάται πρώτα, τότε η διαδικασία θεωρείται περιορισμένης μεταφοράς μάζας και για να αυξηθεί ο ρυθμός ξήρανσης, η αποτελεσματική διάχυση του υδρατμού στο αφυδατωμένο στρώμα $D_{win, e}^1$ και η ολική ροή μάζας N_t πρέπει να αυξηθούν (μία αύξηση στο N_t συνεπάγεται αύξηση της ταχύτητας μεταφοράς του ατμού στους πόρους της αφυδατωμένης στοιβάδας). Οι τιμές του $D_{win, e}$ και N_t θα μπορούσαν να αυξηθούν μειώνοντας την πίεση στο θάλαμο ξήρανσης (Mujumdar A.S., 2015)

2.2.3.1γ (ii) Δευτερογενής ξήρανση

Σε αυτό το στάδιο λυοφιλίωσης το μη παγωμένο νερό απομακρύνεται από το προϊόν με εκρόφηση από το ξηραθέν στρώμα. Η δευτερεύουσα ξήρανση πραγματοποιείται με αύξηση της θερμοκρασίας και μείωση της πίεσης ατμών μέσα στο θάλαμο ξήρανσης (Pikal, 1990). Ακόμη και αν απομακρύνεται λιγότερο νερό κατά τη διάρκεια της δευτερεύουσας ξήρανσης, ο απαιτούμενος χρόνος είναι μεγαλύτερος κατά 30-50% από αυτόν που απαιτείται για την πρωτογενή ξήρανση. Η διαδικασία ξήρανσης με κατάψυξη λέγεται ότι είναι πλήρης, όταν απομακρύνεται το μεγαλύτερο μέρος του νερού, αποδίδοντας ένα δομικά σταθερό ξηρό προϊόν με κατά προτίμηση λιγότερο από 1-3% υπολειπόμενο νερό (Liaris, 1996).

¹ $D_{win, e}$ = αποτελεσματική διάχυση μέσω πόρων ενός δυαδικού μίγματος υδρατμών και αδρανούς αερίου στον ξηραμένο στρώμα m^2 / s

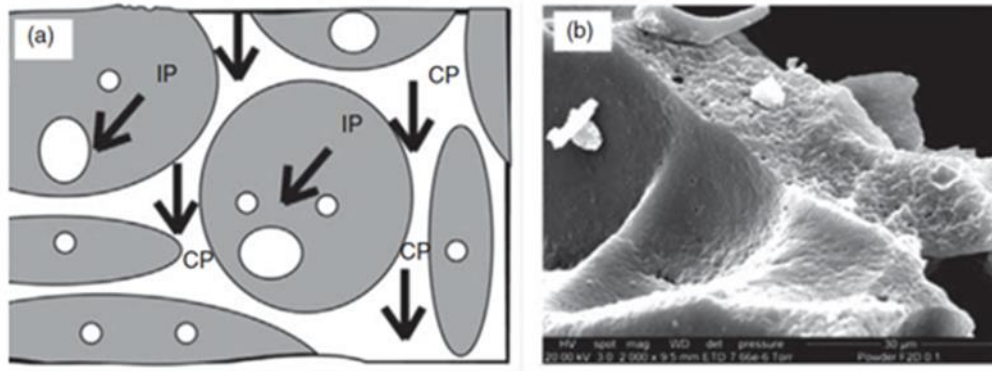
Όσον αφορά τη μαθηματική έκφραση, δεν υπάρχει κατεψυγμένο (II) στρώμα και έτσι δεν υπάρχει διεπαφή και κίνηση του οριζοντα εξάχνωσης. Το στάδιο δευτερογενούς ξήρανσης περιλαμβάνει την απομάκρυνση του δεσμευμένου νερού. Το πάχος του ξηρού (I) στρώματος είναι L και το ισοζύγιο ενέργειας σε αυτό το στρώμα ,έχει την ίδια μορφή με την σχέση 2.1 για $0 < x < L$ (Mujumdar A.S.,2015)



Εικόνα 2.5: Μορφολογία των λυοφιλιωμένων (μικρο)ενθυλακωμένων προβιοτικών (*Lactobacillus plantarum*) με διαφορετικά μίγματα που βάση είχαν την πρωτεΐνη ορού γάλακτος (EC= ενθυλακωμένα κύτταρα.) (Rajam & Anandharamakrishnan 2015).

2.2.3.2 Πλεονεκτήματα

Το κύριο πλεονέκτημα της ξήρανσης με κατάψυξη είναι η λειτουργία χαμηλής θερμοκρασίας. Αυτή η ιδιότητα βοηθά στην ξήρανση των ευαίσθητων στη θερμότητα υλικών και εξαλείφει την πιθανότητα αντιδράσεων που εμφανίζονται σε ξήρανση σε υψηλή θερμοκρασία. Για παράδειγμα, το ασκορβικό οξύ, μία ευαίσθητη στη θερμότητα βιταμίνη, μπορεί να διατηρηθεί σε λυοφιλιωμένο γάλα έναντι του γάλακτος που έχει υποστεί ξήρανση με τύμπανο ή ψεκασμό. Η μετουσίωση πρωτεϊνών ορού γάλακτος και η αντίδραση Maillard μεταξύ λακτόζης και πλούσιων σε λυσίνη πρωτεϊνών στο γάλα μπορούν να αποφευχθούν. Επιπλέον, το άρωμα και οι πτητικές ενώσεις διατηρούνται σε υψηλότερο επίπεδο σε ξηραθέντα με κατάψυξη γαλακτοκομικά προϊόντα σε σύγκριση με προϊόντα αφυδατωμένα με ψεκασμό ή με τύμπανο (Anandharamakrishnan ,2017). Δεύτερον, τα λυοφιλιωμένα προϊόντα έχουν άκαμπτη δομή με μειωμένη συρρίκνωση του προϊόντος και χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, γεγονός που τα καθιστά σταθερά στο ράφι. Τέλος, η βιολογική δραστηριότητα των λυοφιλιωμένων προβιοτικών ή αρχικών καλλιέργειών και βιωσιμότητας των λυοφιλιωμένων εγκλεισμένων προβιοτικών παρέχουν πλεονεκτήματα στην ανάπτυξη λειτουργικών γαλακτοκομικών συστατικών. Το συνολικό πορώδες έχει αναφερθεί ότι είναι 77,5%, που περιλαμβάνει 71,2% και 6,3% συνδεδεμένου και απομονωμένου πορώδους. (Fellows, 2009)



Εικόνα 2.6: α) Σχηματική αναπαράσταση του συνδεδεμένου (CP) και του απομονωμένου (IP) πορώδους σε αφυδατωμένο δείγμα με ξήρανση υπο κατάψυξη

2.2.3.3 Επίδραση της Ξήρανσης με κατάψυξη στην Λακτόζη

Η λακτόζη είναι το κύριο σάκχαρο του γάλακτος και διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην παραγωγή γιαουρτιού. Ακόμη επειδή έχει αποδειχθεί ότι η μορφή της, έστω και σε μικρή ποσότητα, μέσα σε σκόνες γαλακτοκομικών προϊόντων είναι σημαντικός παράγοντας της σταθερότητας και των μετέπειτα χαρακτηριστικών κρίθηκε αναγκαίο να γίνει ειδική αναφορά.

Η λακτόζη είναι ένα γαλακτικό σάκχαρο που αποτελείται από τους μονοσακχαρίτες γαλακτόζη και γλυκόζη. Μπορεί να ληφθεί σε κρυσταλλικές και άμορφες μορφές. Η άμορφη μορφή της λακτόζης δεν έχει σωστή κρυσταλλική δομή και η μορφή της αναμένεται να αλλάξει με το χρόνο καθώς βρίσκεται σε μεταστατική φάση. Οι λυοφιλιωμένες σκόνες γάλακτος περιέχουν λακτόζη στην άμορφη κατάστασή της, καθώς η διαδικασία ξήρανσης με ψύξη δεν επιτρέπει την κρυστάλλωση της λακτόζης (Anandharamakrishnan ,2017). Η παρουσία λακτόζης σε σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος έχει τεράστια επίδραση στη συμπεριφορά της, στη δημιουργία συσσωματωμάτων και στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά της. Προσδίδει την αίσθηση του μαγειρεμένου και με την πάροδο του χρόνου οι κόκκοι της συγκολλούνται. Αυτά τα χαρακτηριστικά έχουν αποδοθεί στην σταδιακή μετατροπή της άμορφης λακτόζης σε κρυσταλλική.(Fitzpatrick et al., 2010). Έχει επισημανθεί καθυστέρηση στην κρυστάλλωση της λακτόζης με προσθήκη πρωτεΐνης ορού γάλακτος (Fan & Roos 2015).

Η ξήρανση με κατάψυξη καθώς και η ξήρανση με ψεκασμό μπορούν να παράξουν σκόνες με άμορφη λακτόζη. Παρόλα αυτά η συμπεριφορά απορρόφησης νερού της λακτόζης για τις δύο σκόνες από διαφορετική μέθοδο ξήρανσης διαφέρει .(Vollenbroek, Hebbink, Ziffels, & Steckel 2010). Η μετατροπή της άμορφης λακτόζης σε κρυσταλλική κατά την αποθήκευση είναι ανεξάρτητη της μεθόδου ξήρανσης και επηρεάζεται μόνο από τις συνθήκες κατά την αποθήκευση.(Haque & Roos 2005)

2.2.3.3 Ξήρανση με κατάψυξη εφαρμογή στο γιαούρτι

2.2.3.3α Παράγοντες που επηρεάζουν την ξήρανση με κατάψυξη στο γιαούρτι

Η ξήρανση του γιαουρτιού με κατάψυξη εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που έχουν να κάνουν με τη σύσταση του γιαουρτιού, με το μέγεθος του δείγματος προς ξήρανση, τη βακτηριακή καλλιέργεια, την πίεση του θαλάμου και τις συνθήκες θέρμανσης. Γενικά έχουν μελετηθεί θερμοκρασίες από -20°C μέχρι -55 °C, πιέσεις από 0,01 μέχρι 60mmHg, πάχη δείγματος από mm μέχρι μονοψήφια cm ανάλογα με τις εκάστοτε προδιαγραφές του μηχανήματος.

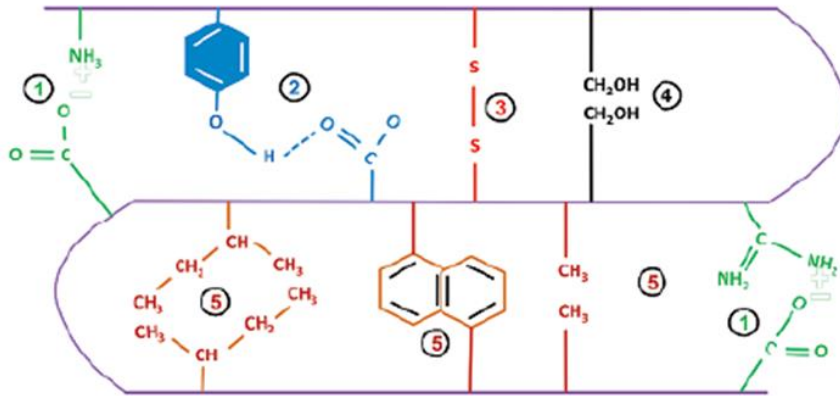
Η παρουσία πρόσθετων στερεών στο γιαούρτι έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει την απόδοση και το χρόνο ξήρανσης. Συγκεκριμένα η αύξηση των συνολικών στερεών σε γιαούρτι από 14,7 σε 20,4% με την προσθήκη σκόνης αποβουτυρωμένου γάλακτος αύξησε την απόδοση του λυοφιλιωμένου γιαουρτιού από 0,22 σε 0,31 kg. Μία μείωση κατά 25,8% του χρόνου ξήρανσης ανά μονάδα εξόδου επιτυγχάνεται, όταν η συγκέντρωση στερεών γάλακτος σε γιαούρτι αυξήθηκε από 14,7 σε 18,8%. Ακόμη μία περαιτέρω αύξηση σε στερεά γάλακτος στο 20,4% οδήγησε σε 5,7% μεγαλύτερη μείωση του χρόνου ξήρανσης (P Kumar & Mishra 2004).

Οι διαστάσεις του δείγματος και ειδικότερα το πάχος του επιδρά στην ξήρανση με κατάψυξη. Συγκεκριμένα ο ρυθμός παραγωγής αυξάνεται με τη μείωση του πάχους γιαουρτιού όπου βέλτιστο σημείο παρουσίασε σε πάχος 6,2 mm και πίεση θαλάμου 0,01 mmHg (Rybka and Kailasapathy 1997). Εδώ να σημειωθεί ότι η αλλαγή της πίεσης από 0,01 σε 0,5 mmHg έχει σημαντική επίδραση στο χρόνο ξήρανση.

Το σχήμα της βακτηριακής καλλιέργειας έχει επίδραση στην ξήρανση με κατάψυξη. Ο Kim και Bhowmik (1990) περιέγραψαν ότι χρειάστηκαν 50 h στους -55°C και 50mmHg για γιαούρτι με AB (L. Acidophilus and Bifidobacterium spp.), ενώ για καλλιέργεια γιαουρτιού ABT (L. acidophilus, Bifidobacterium spp. και S. thermophilus) στους - 40°C ,48h (RybkaandKailasapathy, 1997). Δεν υπάρχει γενικός κανόνας για το πώς επηρεάζει ακριβώς η βακτηριακή καλλιέργεια καθώς υπάρχουν διαφορετικά σχήματα τα οποία σχηματίζουν διαφορετικής ποιότητας πήγματα.

2.2.3.3β Υποβάθμιση κατά την ξήρανση

Η υποβάθμιση της σκόνης γιαουρτιού που έχει ξηραθεί με κατάψυξη δεν βασίζεται στην αντίδραση Maillard και στην οξείδωση των λιπαρών που συμβαίνει σε άλλες θερμικές ξηράνσεις, αλλά στην αλλοίωση κατά το στάδιο της κατάψυξης. Μία μετρήσιμη υποβάθμιση είναι η μείωση του πληθυσμού της βακτηριακής καλλιέργειας. Η επιβίωση των βακτηρίων γαλακτικού οξέος στο λυοφιλιωμένο γιαούρτι ήταν μόνο 50 έως 60%. Η μείωση των βακτηρίων γιαουρτιού μπορεί να οφείλεται σε μεταβολικό τραυματισμό κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ξήρανσης με κατάψυξη. Η ξήρανση με κατάψυξη επηρεάζει δυσμενώς τους δεσμούς υδρογόνου που υπάρχουν στις δεσμευμένες στην επιφάνεια του κυτταρικού τοιχώματος πρωτεΐνες του L. bulgaricus. Ο S. thermophilus, που είναι ένας Grampositive coccus, μπορεί να επιβιώσει από όλες τις συνθήκες κατάψυξης και απόψυξης. Η θερμική σταθερότητα του S. thermophilus και η πλειονότητα των θερμόφιλων γαλακτοβακίλλων οφείλεται στην παρουσία πρόσθετων δεσμών, οι οποίοι παρέχουν μεγαλύτερη σταθερότητα στη δευτεροταγή και τριτοταγή δομή των πρωτεϊνών. Αυτοί οι δεσμοί περιλαμβάνουν δεσμούς δισουλφιδίου, δεσμούς υδρογόνου, αλληλεπιδράσεις ιονισμένης ομάδας και υδρόφοβους δεσμούς (Anandharamakrishnan ,2017)



Εικόνα 2.7 Σχηματικό διάγραμμα που δείχνει σταθεροποιητικές δυνάμεις σε πρωτεΐνες: 1. ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις, 2. δεσμοί υδρογόνου, 3. Δισουλφιδικοί δεσμοί, 4. αλληλεπιδράσεις δίπολου-διπόλου, και 5. υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις.

Άλλη μετρήσιμη υποβάθμιση είναι η μείωση ορισμένων θρεπτικών συστατικών, πτητικών ουσιών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών. Το λυοφιλιωμένο γιαούρτι έδειξε μείωση ορισμένων στοιχείων και βιταμινών, φαινόμενο που επιδεινώνεται με της χρήση ρευστοστερεάς κλίνης ως μεταγενέστερο στάδιο ξήρανσης. Οι μειώσεις του ασκορβικού οξέος και της θειαμίνης έφτασαν τις τάξεις του 19% και 28% στη χειρότερη των περιπτώσεων. Παρόλα αυτά οι απώλειες πτητικών ενώσεων που μετρήθηκαν με χρωματογραφία αερίου-υγρού δεν έδειξε καμία αλλαγή στο άρωμα του ξηρού προϊόντος, πράγμα που επιβεβαιώθηκε επίσης με οργανοληπτικές δοκιμές. Γενικά η ξήρανση με κατάψυξη έχει πολύ καλή διατήρηση των αρωμάτων και των γεύσεων σε σύγκριση με άλλες μεθόδους, αλλά αξιοσημείωτη είναι και η συγκράτησή τους (Rybka and Kailasapathy 1997).

2.2.3.3γ Χρήση ξήρανση με κατάψυξη σε προϊόντα γιαουρτιού

Η διεργασία της ξήρανσης με κατάψυξη χρησιμοποιείται πιο πολύ για τον εγκλεισμό βακτηριακών καλλιεργείων καθώς έχει αποδειχθεί ότι αυτές επιβιώνουν καλύτερα σε σχέση με άλλες μεθόδους, λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας, και έχουν μεγαλύτερη λειτουργικότητα. Μία τέτοια εφαρμογή δεν είναι πλέον τόσο απαγορευτική σε κόστος. Συγκεκριμένα το κόστος της παραγωγής λυοφιλιωμένης καλλιέργειας κεφίρ μελετήθηκε από τους Kourkoutas et al. 2006. Το κόστος είναι 3,5 φορές πάνω από την παραγωγή υγρής μαγιάς όμως οι λυοφιλιωμένες καλλιέργειες παρέχουν τη δυνατότητα ανάπτυξης διαφόρων εμπορικών προϊόντων με υψηλή εμπορική αξία. Οι καλλιέργειες διατηρούσαν 86% επιβίωση μετά από ξήρανση με κατάψυξη και ήταν πιο λειτουργικές (Paravasiliou et al. 2008). Ακόμη χρησιμοποιήθηκε κεφίρ για την παράταση της διάρκειας ζωής των γαλακτοκομικών προϊόντων με λιγότερη περιεκτικότητα σε αλάτι. Το τυρί που παράγεται από αυτές τις καλλιέργειες είχε βελτιωμένη ποιότητα και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά σε σύγκριση με τα εμπορικά τυριά. Τέλος, λυοφιλιωμένη καλλιέργεια κεφίρ παρήχθη χρησιμοποιώντας ζυμωμένο γάλα ως κρουπροστατευτικό παράγοντα το οποίο δείχνει ότι και οι πρωτεΐνες γάλακτος ενδείκνυται για εγκλεισμό (Tamime A.Y., 2009)

Τέλος η πιο πρόσφατη και εναλλακτική χρήση της μεθόδου ήταν η δημιουργία ξηρών σνακ από αφρό γιαουρτιού με την προσθήκη υδροκολλοειδών. Συγκεκριμένα η λυοφιλίωση διατήρησε μία πολύ πορώδη δομή, και έτσι, η τελική υφή είναι μαλακότερη σε σύγκριση με άλλες θερμικές μεθόδους ξήρανσης. Ακόμη βοήθησε στη διατήρηση του αρχικού χρώματος και της γεύσης του πρώτων υλών, ενώ άλλες μέθοδοι αύξησαν τις αντιδράσεις Maillard, οδηγώντας σε μία καφέ επιφάνεια (Carvalho, Perez-Palacios, & Ruiz-Carrascal 2017).

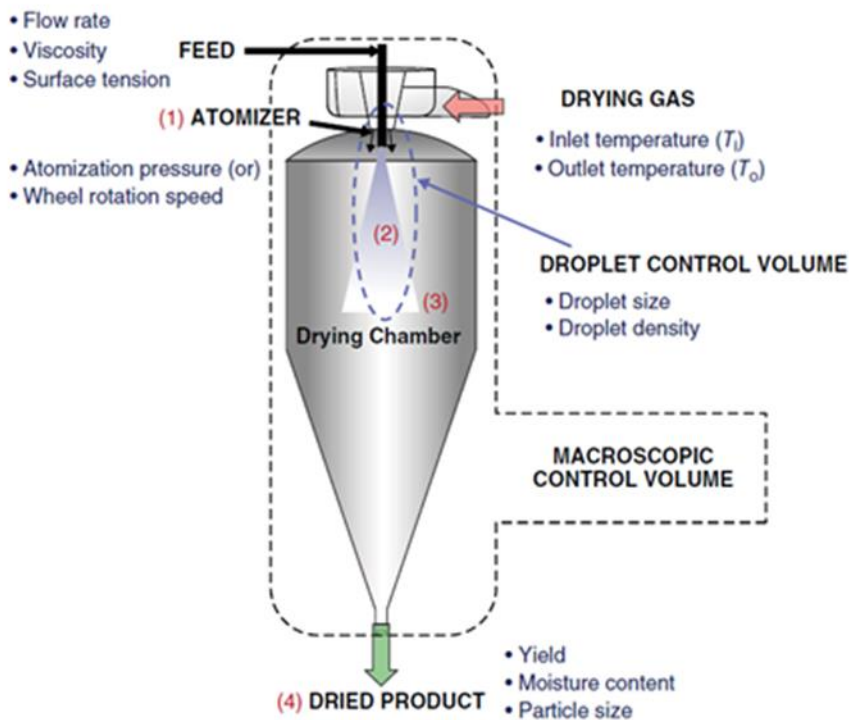
2.2.4 Ξήρανση με ψεκασμό (Spray drying)

Η ξήρανση με ψεκασμό εισήχθη ως διεργασία στη βιομηχανία τροφίμων κατά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο και η πρώτη εφαρμογή ήταν για παραγωγή σκόνης γάλακτος, ώστε να καλύψει τις ανάγκες του στρατού. Εν συνεχεία έγιναν εφαρμογές και σε άλλα γαλακτοκομικά προϊόντα και εμπορευματοποίηση αυτών, παράλληλα με τη συνεχή εξέλιξη και ανασχεδιασμού του εξοπλισμού. Αποτελεί σήμερα μία οικονομική διεργασία από την οποία παράγονται σκόνες τροφίμων χαμηλής ενεργότητας νερού, με όσο γίνεται μικρότερη θερμική καταπόνηση, ιδιότητα που έχει δώσει στη διεργασία τη δυνατότητα παραγωγής λειτουργικών προϊόντων καθώς και εγκλεισμού δραστικών ουσιών, πολύ χρήσιμων στη φαρμακευτική βιομηχανία. (Anandharamakrishnan ,2017)

Οι εφαρμογές της ξήρανσης με ψεκασμό σε σχέση με τα γαλακτοκομικά προϊόντα μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις τύπους σύμφωνα με την προοριζόμενη λειτουργικότητα του τελικού προϊόντος: (i) να ληφθεί ένα ξηρό σωματιδιακό προϊόν για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, (ii) μικροενθυλάκωση ζωντανών προβιοτικών κυττάρων και (iii) βελτίωση των οργανοληπτικών ιδιοτήτων ορισμένων γαλακτοκομικών συστατικών. Παραδείγματος χάριν, ενθυλακώθηκε με ξήρανση με ψεκασμό υδρολυμένη καζεΐνη για να μειωθεί το πρόβλημα της πικρής γεύσης (Molina Ortiz et al. 2009).

2.2.4.1 Βασική αρχή και στάδια διεργασίας

Η ξήρανση με ψεκασμό μπορεί να οριστεί ως η διαδικασία ταυτόχρονου ψεκασμού και ξήρανσης τροφοδοσίας με συγκεκριμένες ρεολογικές ιδιότητες παρουσία θερμού ξηραντικού μέσου για τη διευκόλυνση της ταχείας εξάτμισης της υγρασίας και την παραγωγή ξηρών σωματιδιακών προϊόντων. Η μορφή της παροχής μπορεί να είναι γαλάκτωμα (π.χ. γάλα), διάλυμα (π.χ. διάλυμα πρωτεΐνης ορού γάλακτος), εναιώρημα ή πολτός (π.χ. πολτός τυριού, αραιωμένο γιαούρτι). Η βασική αρχή της ξήρανσης με ψεκασμό είναι η μεταφορά θερμότητας μεταξύ της ατμοποιημένης παροχής και του θερμού αέρα σε ατμοσφαιρική πίεση. Τα φυσικά φαινόμενα που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ξήρανσης με ψεκασμό μπορούν να ληφθούν υπόψη εξετάζοντας δύο βασικούς όγκους ελέγχου. Ο όγκος ελέγχου της εξάπλωσης των σταγονιδίων αποτελείται από την περιοχή γύρω από τον ψεκαστήρα , που υπάρχει μέσα στο μακροσκοπικό όγκο ελέγχου, ο οποίος περιλαμβάνει ολόκληρο τον θάλαμο ψεκασμού (Εικόνα 2.8) (Dobry et al. 2009). Η πλειονότητα του κονιοποιημένου προϊόντος εξέρχεται από τον πυθμένα του θαλάμου ψεκασμού, αλλά το στάδιο διαχωρισμού του προϊόντος είναι πλήρες, όταν η σκόνη παρασυρόμενη από το ρεύμα ξήρανσης, ανακτάται χρησιμοποιώντας ένα διαχωριστήρα κυκλώνα, ένα φίλτρο ή έναν ηλεκτροστατικό κατακρημνιστή, ανάλογα με το μέγεθος σωματιδίων του προϊόντος.



Εικόνα 2.8 : Σχηματική απεικόνιση διάταξης ξηραντήρα με ψεκασμό: 1. Ατμοποίηση του διαλύματος τροφοδοσίας, 2. Αλληλεπίδραση μεταξύ των σταγονιδίων και του θερμού αερίου ξήρανσης, 3. Εξάτμιση υγρασίας, 4. Διαχωρισμός προϊόντος στην έξοδο του μακροσκοπικού όγκου ελέγχου.

Ολόκληρη η διεργασία ξήρανσης σταγονιδίων ολοκληρώνεται εντός χρόνου παραμονής περίπου 1 s. Τα διαδοχικά φαινόμενα που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ξήρανσης με ψεκασμό και οι σχετικές παράμετροι παρουσιάζονται στην εικόνα 2.8 .

2.2.4.2 Ξήρανση

Η αλληλεπίδραση μεταξύ των σταγονιδίων τροφοδοσίας και του αέρα ξήρανσης λαμβάνει χώρα αμέσως μετά το στάδιο ψεκασμού. Αυτό το στάδιο διευκολύνει την ταχεία και ομοιόμορφη εξάτμιση της υγρασίας και σηματοδοτεί την έναρξη σχηματισμού σωματιδίων κατά την ξήρανση με ψεκασμό. Είναι επομένως δύσκολο να τεθεί διαχωρισμός μεταξύ αυτής της βαθμίδας και της επόμενης φάσης, η οποία είναι η εξάτμιση υγρασίας. Οι σημαντικές παράμετροι της διεργασίας σε αυτό το στάδιο είναι η θερμοκρασία εισόδου (T_i) και η θερμοκρασία εξόδου (T_o) του αερίου ξήρανσης. (T_i είναι η θερμοκρασία του θερμού αέρα ξήρανσης, T_o είναι η θερμοκρασία του ρεύματος αέρα που φορτώνεται με στερεά σωματίδια στην έξοδο του θαλάμου ψεκασμού). Ωστόσο, η T_o δεν είναι ανεξάρτητη παράμετρος και επηρεάζεται από την T_i και την παροχή ροής της τροφοδοσίας. Μία αύξηση της T_i και μείωση στο ρυθμό ροής τροφοδοσίας θα οδηγούσε σε υψηλές τιμές T_o .

Μόλις έρθουν σε επαφή τα σταγονίδια και ο θερμός αέρας, πραγματοποιείται εξάτμιση υγρασίας σε δύο στάδια: (i) την περίοδο σταθερού ρυθμού και (ii) την περίοδο ρυθμού πτώσης της εξάτμισης . Κατά τη διάρκεια της **περιόδου σταθερού ρυθμού**, η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης από το μέσο ξήρανσης χρησιμοποιείται για την εξάτμιση του ελεύθερου ύδατος από την επιφάνεια των σταγονιδίων. Η κινητήρια δύναμη για αυτή την ταυτόχρονη μεταφορά θερμότητας και μάζας παρέχεται από τη βαθμίδα συγκέντρωσης της υγρασίας και τη διαφορά της πίεσης/τάσης ατμών (vapor pressure) και της θερμοκρασίας μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού του

σταγονιδίου (Patel & Chen 2008). Λόγω της χαμηλότερης εσωτερικής αντίστασης στη μεταφορά μάζας μέσα στα σταγονίδια σε αυτό το στάδιο, υπάρχει συνεχής μετανάστευση υγρασίας στην επιφάνεια των σταγονιδίων. Αυτό διευκολύνει τη διατήρηση των κορεσμένων συνθηκών, προάγει έναν σταθερό ρυθμό εξάτμισης της υγρασίας από την επιφάνεια και αποτρέπει την αύξηση της θερμοκρασίας του σταγονιδίου. Αυτή η ακολουθία φαινομένων ονομάζεται «ψύξη με εξάτμιση». Ένα σημαντικό φαινόμενο που συμβαίνει κατά τη διάρκεια της περιόδου ξήρανσης με σταθερό ρυθμό είναι η ανακατανομή των συστατικών της διαλυμένης ουσίας στο εσωτερικό του σταγονιδίου που ξηραίνονται. (Kim, Chen, & Pearce, 2009)

Η αρχή της περιόδου **μειούμενου ρυθμού** χαρακτηρίζεται από μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία κάτω από ένα επίπεδο που περιορίζει τη διατήρηση των συνθηκών κορεσμού στην επιφάνεια των σταγονιδίων. Έτσι, σταγόνες σχηματίζουν μία κρούστα στερεών, αρχίζοντας έτσι τη μετατροπή τους σε σωματίδια. Ο στερεός φλοιός συνεχίζει να συσσωρεύεται και να αντιστέκεται στη διάχυση υδρατμών από το εσωτερικό των σταγονιδίων. Αυτό μειώνει την ταχύτητα ξήρανσης και αυξάνει τη θερμοκρασία των σωματιδίων αρχίζοντας έτσι τη μετάβαση της ξήρανσης με ψεκάσμο από μία διαδικασία χαμηλής θερμοκρασίας σε υψηλή θερμοκρασίας (Birchal, Huang, Mujumdar, & Passos 2006).

Τέλος το στάδιο ξήρανσης ολοκληρώνεται όπου δημιουργείται το τελικό μορφολογικό αποτέλεσμα της σκόνης. Όταν το σταγονίδιο με δομή φυσαλίδας υποβληθεί σε περαιτέρω υψηλή θερμοκρασία, μπορεί να οδηγήσει σε φουσκωμένο, συρρικνωμένο, κοίλο ή ακανόνιστα διογκωμένο σωματίδιο. Η πιθανότητα κατάρρευσης των σωματιδίων έχει επίσης παρατηρηθεί (Handscomb, Kraft, & Bayly 2009).

Συγκεκριμένα, η μεταβολή που προκαλείται από συρρίκνωση στο μέγεθος των σταγονιδίων έχει επίδραση στους συντελεστές μάζας και μεταφοράς θερμότητας που καθορίζουν την απόδοση της εξάτμισης υγρασίας κατά την ξήρανση με ψεκάσμο (Chen 2004). Η εμφάνιση της συρρίκνωσης σταγονιδίων κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με ψεκάσμο έχει αποδοθεί στη δημιουργία ιξωδοελαστικού στρώματος κολλοειδούς διαλύματος που συσσωρεύεται στην επιφάνεια του σταγονιδίου κατά την εξάτμιση. Η κινητήρια δύναμη συρρίκνωσης ή παραμόρφωσης είναι οι τριχοειδείς δυνάμεις που υπάρχουν στο ελαστικό στρώμα διαλυμένων ουσιών στην επιφάνεια των σταγονιδίων. Η συρρίκνωση των σταγόνων εξαρτάται με τη σειρά της από τη θερμοκρασία του αέρα ξήρανσης και την περιεκτικότητα σε στερεά. (Tsapis et al. 2005).

2.2.4.2 Διαχωρισμός σωματιδίων

Τα πρωτεύοντα και δευτερεύοντα στάδια διαχωρισμού των σωματιδίων από το ρεύμα αερίου περιλαμβάνουν την απόσυρση ξηρού προϊόντος από τον κωνικό πυθμένα του θαλάμου ψεκάσμου και την απομάκρυνσή του χρησιμοποιώντας συλλέκτες. Ενώ ένας διαχωριστής κυκλώνα είναι το συνηθισμένο σύστημα ξηρής συλλογής, οι σύγχρονοι ξηραντές ψεκάσμου για γαλακτοκομικά προϊόντα είναι εξοπλισμένοι με φίλτρα σακούλας. Η κατασκευή ενός διαχωριστή κυκλώνα περιλαμβάνει έναν κύλινδρο με κωνικό πυθμένα. Ο διαχωριστής-κυκλώνα χρησιμοποιεί φυγοκεντρική δύναμη για να διαχωρίσει τα στερεά σωματίδια από ένα αέριο φορέα. Το ρεύμα αερίου εισέρχεται εφαπτομενικά, σχηματίζοντας εξωτερικό στρόβιλο καθώς κινείται προς τα κάτω. Η φυγόκεντρη δύναμη που προσδίδεται από την αυξανόμενη ταχύτητα αέρα προκαλεί το διαχωρισμό των σωματιδίων, ενώ δημιουργείται ένας εσωτερικός στρόβιλος προς την αντίθετη κατεύθυνση ακολουθούμενος από την έξοδο καθαρού αερίου από την κορυφή (Westergaard 2011).

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι πολύ συχνός είναι ο συνδυασμός της ξήρανσης με ψεκάσμο με ρευστοστερεά κλίση, με προπαρασκευαστικό στάδιο διαβροχής ή ενσωματωμένου ψεκάσμου

(agglomeration). Η συνεργιστική χρήση τους ορίζεται ως διαδικασία ξήρανσης με ψεκάσμο δύο σταδίων (Fellows 2009). Εκτός από τη συσσωμάτωση που επιτυγχάνεται, η χρήση κλίνης υπερνικά τον περιορισμό ενός χαμηλότερου συντελεστή διάχυσης για απομάκρυνση υγρασίας κατά τα τελικά στάδια της ξήρανσης, παρέχει επαρκή χρόνο παραμονής για τα σωματίδια, ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη τελική περιεκτικότητα σε υγρασία και οδηγεί σε υψηλότερη ικανότητα εξάτμισης ανά μονάδα βάρους αέρα ξήρανσης, ενώ έχει χαμηλό κόστος λειτουργίας και μικρότερη εκπομπή σκόνης (Westergaard 2011).

2.2.4.3 Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός της ξήρανσης με ψεκάσμο περιλαμβάνει γενικά τα εξής κομμάτια: ψεκαστήρα, αντλία τροφοδοσίας, ξηρό αέρα θέρμανσης, αέριο διασκόρπισης, αναρροφητή, θάλαμος ξήρανσης και εξοπλισμό για την απόρριψη, τη μεταφορά, τη συσκευασία και την αφαίρεση του προϊόντος (Devakate, Patil, Waje, & Thorat 2009). Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά τα γενικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού και ιδιαίτερα τι χρησιμοποιείται στη βιομηχανία γάλακτος.

- Αντλία

Ο ρόλος της αντλίας τροφοδοσίας στον ξηραντήρα ψεκάσμου είναι να προωθεί την τροφοδοσία στον ψεκαστήρα. Η επιλογή της αντλίας, το είδος του ψεκαστήρα και το είδος του ακροφυσίου του έχουν να κάνουν με το είδος του υλικού προς ξήρανση, το ιξώδες του, την ομοιογένειά του και με το αν υπάρχουν προπαρασκευαστικά στάδια του μίγματος προς ξήρανση. Για παράδειγμα οι εμβολοφόρες αντλίες είναι κατάλληλες για εφαρμογές υψηλής πίεσης μαζί με τους ψεκαστήρες ακροφυσίων υψηλής πίεσης όμως οι συνηθέστερες αντλίες στη βιομηχανία τροφίμων είναι οι περισταλτικές καθώς είναι κατάλληλες για το χειρισμό ιξώδους τροφοδοσίας με μικρές ταχύτητες ροής και χαμηλή πίεση.

- Αναρροφητής

Ο αναρροφητής λειτουργεί για την παροχή ξηρού αέρα στο θάλαμο ψεκάσμου μέσω ενός κινητήρα που λειτουργεί υπό συνθήκες πίεσης. Το αέριο διασκόρπισης βρίσκεται στην οροφή του θαλάμου ψεκάσμου δίπλα στον ψεκαστήρα για να εξασφαλιστεί ίση ροή του αερίου ξήρανσης προς όλες τις κατευθύνσεις εντός του θαλάμου ψεκάσμου.

- Ατμοποιητές/Ψεκαστήρες

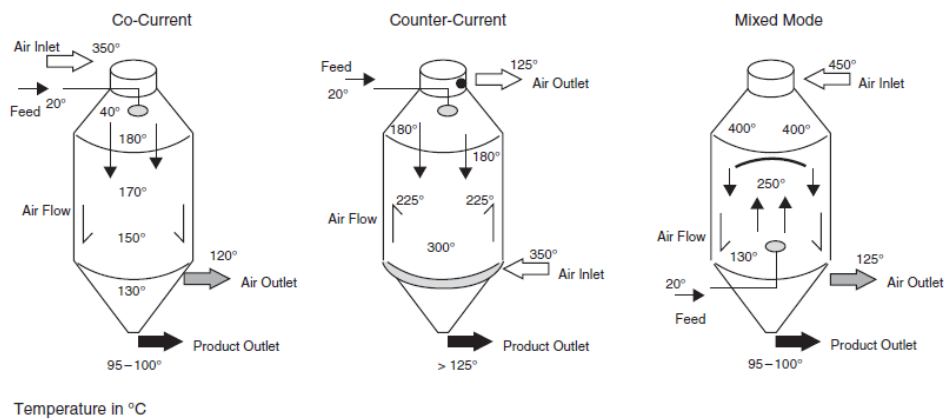
Η ατομοποίηση μπορεί να οριστεί ως η διαδικασία της εισαγωγής του υγρού τροφοδοσίας σε κατάσταση μικρής διαίρεσης χάρη στην ενέργεια ατομοποίησης που παρέχεται στον ψεκαστήρα. Ο διαχωρισμός του υγρού που προέρχεται από τον ψεκαστήρα εξαρτάται από το ιξώδες, την πυκνότητα, την επιφανειακή τάση και το μέγεθος. Με λιγότερες δυνάμεις ιξώδους και επιφανειακής τάσης στο υγρό, η αντίσταση σε αποσύνθεση είναι χαμηλότερη. Επιπλέον, ο στροβιλισμός του υγρού και η αερομεταφορά των σταγονιδίων προωθούν το διαχωρισμό (Anandharamakrishnan ,2017).

Το στάδιο ψεκάσμου καθορίζει το τελικό μέγεθος σωματιδίων. Το μέγεθος των σταγονιδίων είναι επίσης σημαντικό από την άποψη του χρόνου στεγνώματος που είναι ανάλογος προς το τετράγωνο της διάστασης των σωματιδίων. Συγκεκριμένα για το γάλα, η ατομοποίηση 1 L συμπυκνωμένου γάλακτος έχει ως αποτέλεσμα $1,5 \times 10^{10}$ σωματίδια με διάμετρο 50 μm και συνολική επιφάνεια 120 m^2 (Westergaard 2011). Συνηθέστερα χρησιμοποιούνται για την ξήρανση με ψεκάσμο του γάλακτος και των γαλακτοκομικών προϊόντων ψεκαστήρες περιστροφικού / τροχού και ακροφυσίων. Αυτοί οι τύποι ψεκάσμου χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή σκόνης αποβουτυρωμένου γάλακτος με υψηλή πυκνότητα. Η χρήση παραγωγών μονοδιασπαρμένων σταγονιδίων (monodisperse droplet

generators) είναι μία πρόσφατη προσέγγιση στην ατομοποίηση του γάλακτος κατά την ξήρανση με ψεκασμό (Anandharamakrishnan ,2017).

- Θάλαμος

Οι διαστάσεις του θαλάμου είναι συνάρτηση του τύπου ψεκαστήρα, ομορροής/αντιρροής τροφοδοσίας με θερμό αέρα ή μικτού τρόπου λειτουργίας. Επιπρόσθετα η διαμόρφωση του θαλάμου ψεκασμού παίζει σημαντικό ρόλο στην επίτευξη του φαινομένου ψύξης με εξάτμιση. Το προϊόν και το μέσο ξήρανσης, όταν εισέρχονται στον θάλαμο ψεκασμού προς την ίδια κατεύθυνση, επιτυγχάνεται η θερμοκρασία του προϊόντος να διατηρείται πάντα κάτω από τη θερμοκρασία εξόδου του αέρα ξήρανσης λόγω του γρήγορου ρυθμού εξάτμισης (εικόνα 2.9). Για αυτό το λόγο προτιμώνται σε γαλακτοκομικά προϊόντα τέτοιοι τύποι ξηραντήρων με ψεκασμό, κάτι το οποίο δεν έχει αποκλείσει τη χρήση και τις δοκιμές σε άλλους τύπους (Anandharamakrishnan ,2017).

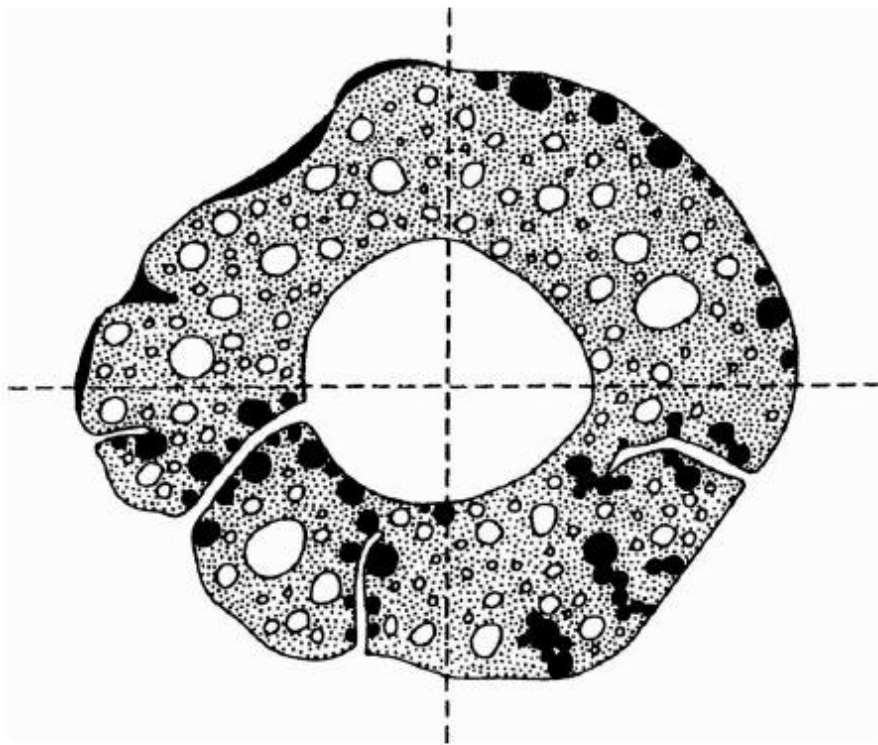


Εικόνα 2.9: Προφίλ θερμοκρασίας σε διαφορετικές διαμορφώσεις ξηραντήρα ψεκασμού

2.2.4.4 Ιδιαιτερότητες της μεθόδου

2.2.4.4.α Επικαθίσεις λιπαρών στην εξωτερική επιφάνεια των σωματιδίων

Γενικά, όσον αφορά την ξήρανση των γαλακτοκομικών προϊόντων με ψεκασμό, πολύ σημαντικό ρόλο παίζει η εκάστοτε σύνθεση του προϊόντος σε πρωτεΐνη, υδατάνθρακες και λιπίδια. Η μέγιστη αντίσταση στη μεταφορά μάζας νερού εμφανίζεται στο πλήρες γάλα, ενώ τα διαλύματα λακτόζης παρουσιάζουν τη μικρότερη αντίσταση. Αυτό οφείλεται στην αντίστροφη διάχυση της υψηλής περιεκτικότητας λίπους που εμφανίζει το πλήρες γάλα, επειδή το λιπαρό συστατικό έχει το μεγαλύτερο μοριακό βάρος και το χαμηλότερο συντελεστή διάχυσης. Έτσι, τα πιο αργά κινούμενα μόρια λίπους συσσωρεύονται στην επιφάνεια και τα ταχέως κινούμενα μόρια λακτόζης συσσωρεύονται στη βάση των κονιοποιημένων σωματιδίων (Kim, Chen, & Pearce 2003).



Εικόνα 2.10: Διαγραμματικό μοντέλο σωματιδίου σκόνης γάλακτος, που δείχνει ποιο μέρος του λίπους (σκούρο) μπορεί να εξαχθεί. Σε κάθε τεταρτημόριο αναφέρεται ένας άλλος τύπος εκχυλίσμου λίπους. Το λίπος αυτό χαρακτηρίζεται ως ελεύθερο λίπος (βλ κεφάλαιο 3 υποσημείωση 1) (Walstra, 2006)

Από την άλλη πλευρά, στην περίπτωση συμπυκνωμάτων πρωτεΐνης γάλακτος και αποβουτυρωμένου γάλακτος που έχουν λιγότερα λιπαρά και είναι πλούσια σε πρωτεΐνες και λακτόζη, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες ελέγχει το ρυθμό μεταφοράς μάζας. Έτσι, το συμπύκνωμα πρωτεΐνης γάλακτος παρατηρήθηκε να εμφανίζει υψηλότερες αντιστάσεις μεταφοράς μαζών από το αποβουτυρωμένο γάλα. Ακόμη, παρατηρήθηκε σχηματισμός κρούστας ή επιδερμίδας σε δείγματα αποβουτυρωμένου γάλακτος η οποία οφειλόταν στο υπολειμματικό λίπος που υπάρχει στο αποβουτυρωμένο γάλα. Παρόλα αυτά δεν ήταν επαρκούς πάχους για να παρέχει σημαντική αντίσταση στη μεταφορά μάζας. (Tamime ,2009)

2.2.4.4.β Δημιουργία πρωτεϊνικών κελυφών

Κατά την ξήρανση πρωτεΐνης ορού γάλακτος υψηλής καθαρότητας (WPI), το σταγονίδιο δείχνει ομοιόμορφη αύξηση του όγκου και συγκράτηση του σφαιρικού σχήματος κατά το αρχικό στάδιο της ξήρανσης. Κατά τη διάρκεια της περιόδου πτώσης του ρυθμού ξήρανσης παρατηρήθηκε ένα μοναδικό φαινόμενο. Η μεμβράνη πρωτεΐνης που σχηματίστηκε εμφάνισε ξεχωριστές ρεολογικές ιδιότητες λόγω της αλλαγής στερεού-πύγματος στη διεπιφάνεια μεταξύ της επιφάνειας και του πυρήνα του σταγονιδίου. (Anandharamakrishnan ,2017). Αυτό εμπόδισε τη συρρίκνωση των σταγονιδίων και αντ' αυτού είχε ως αποτέλεσμα τη σταδιακή ανάπτυξη ενός επιδερμικού πορώδους στρώματος στη διεπιφάνεια αέρα-σταγονιδίου, που επέτρεψε τη συνεχή εξάτμιση της υγρασίας, ακολουθούμενη από μετασχηματισμό του επιδερμικού στρώματος σε ένα πυκνό πρωτεϊνικό κέλυφος (Sadek et al. 2016).

2.2.4.5 Προβλήματα της μεθόδου

2.2.4.5.α Κολλητικότητα/συγκόλληση σκόνης

Στα σημαντικά προβλήματα της μεθόδου είναι η κολλητικότητα της σκόνης και η μετουσίωση των πρωτεϊνών. Η κολλητικότητα/συγκόλληση είναι ένα μείζον πρόβλημα επεξεργασίας που συναντάται κατά την ξήρανση με ψεκασμό τροφών πλούσιων σε ζάχαρα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα δεν αποτελούν εξαίρεση σε αυτό. Η συγκόλληση της σκόνης γαλακτοκομικών προϊόντων δημιουργεί πολλές δυσκολίες κατά την ανασύσταση, όπως θα αναφερθεί στο επόμενο κεφάλαιο, στο χειρισμό, στην αποθήκευση και στην ποιότητα της σκόνης (Adhikari, Howes, Shrestha, & Bhandari 2007). Η πιο κοινή προσέγγιση για την αποφυγή της κολλητικότητας είναι η λειτουργία της διαδικασίας ξήρανσης με ψεκασμό κάτω από την Tg της άμορφης μήτρας. Εντούτοις, το πρόβλημα μπορεί επίσης να μετριαστεί με την αύξηση της Tg με προσθήκη προσθέτων υψηλού μοριακού βάρους (π.χ. σιρόπι γλυκόζης, μαλτοδεξτρίνη) καθώς αυξάνεται η Tg με την αύξηση του μοριακού βάρους (Truong, Bhandari, & Howes 2005).

Η ιδιότητα της πρωτεΐνης ορού γάλακτος, σε υψηλή συγκέντρωση (WPI), να δημιουργεί κελύφη, την κάνουν ιδανική επιλογή να χρησιμοποιηθεί ως βοηθητικό μέσο ξήρανσης κατά την ξήρανση με ψεκασμό (Adhikari et al. 2007). Ακόμη παρουσιάζει επιφανειοδραστικές ιδιότητες και ιδιότητα σχηματισμού φιλμ που έχουν ως αποτέλεσμα να σχηματίζεται μη κολλώδης επιφάνεια σε υψηλή θερμοκρασία που αντιστέκεται στη συγκόλληση των σταγονιδίων μειώνοντας έτσι τη τάση των σωματιδίων να προσκολλώνται στο τοίχωμα του θαλάμου ψεκασμού.

2.2.4.5.β Μετουσίωση των πρωτεϊνών

Οι θερμοευαίσθητες πρωτεΐνες στο γάλα είναι επιρρεπείς σε θερμική απενεργοποίηση ή μετουσίωση λόγω της λειτουργίας σε υψηλή θερμοκρασία της ξήρανσης με ψεκασμό. Ένα μόριο πρωτεΐνης στη φυσική του μορφή περιλαμβάνει μία συμπαγή σφαιρική δομή με ένα περιεχόμενο υδρόφοβο πυρήνα και σταθεροποιείται από δεσμούς υδρογόνου και ιονικούς δεσμούς που υπάρχουν στο υδατικό μέσο. Ενώ οι υδρόφοβες ομάδες θάβονται μέσα στην πολυπεπτιδική αλυσίδα, οι υδρόφιλες ομάδες εκτίθενται στο υδατικό περιβάλλον όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω. Όταν οι πρωτεΐνες εκτίθενται σε θερμοκρασίες πάνω από τη θερμοκρασία μετουσίωσής τους, οι υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις σπάνε για να αλλάξουν τη φυσική-αναδιπλωμένη κατάσταση σε μία ανενεργή- μη αναδιπλωμένη κατάσταση. Αυτό οδηγεί σε διασταυρούμενη σύνδεση (cross-linking) των υδρόφοβων τμημάτων μεταξύ μορίων πρωτεΐνης, τα οποία οδηγούν σε συσσωμάτωση, πήξη και τελικά απώλεια διαλυτότητας (Tamime, 2009). Η απώλεια της διαλυτότητας έχει αποδοθεί στο σχηματισμό συσσωματωμάτων πρωτεϊνών που προκαλούνται από τη θερμότητα και επηρεάζει επίσης τις λειτουργικές ιδιότητες των πρωτεϊνών του γάλακτος, συμπεριλαμβανομένης της ικανότητας αφρισμού και γαλακτωματοποίησης (Bernard, Regnault, Gendreau, Charbonneau, & Relkin 2011)

Τα πιθανά μέσα για την μείωση της μετουσίωσης πρωτεΐνης κατά την ξήρανση με ψεκασμό των γαλακτοκομικών προϊόντων περιλαμβάνουν την παραγωγή μικρών σταγονιδίων, τη χρήση χαμηλής θερμοκρασίας αέρα εξόδου ή την προσθήκη υλικών φορέων ή τοιχωμάτων για την προστασία αυτών των θερμικά ευαίσθητων συστατικών (Κος et al. 2010).

2.2.4.5 Ξήρανση με ψεκασμό στο γιαούρτι

Η σκόνη γιαουρτιού, που παράγεται με την ξήρανση του φρέσκου γιαουρτιού, χρησιμοποιείται ευρέως ως συστατικό σε ζαχαροπλαστεία, αρτοσκευάσματα, ποτά, στιγμιαία μίγματα ποτών, σουπες κλπ. Το κύριο πρόβλημα στην ξήρανση με ψεκασμό γιαουρτιού είναι η διατήρηση των αρχικών

βακτηρίων κατά τη διάρκεια και μετά την ξήρανση. Επειδή τα προβιοτικά βακτήρια είναι ευαίσθητα στη θερμότητα, οι συνθήκες ξήρανσης με ψεκασμό πρέπει να είναι ήπιες, ώστε να αποφευχθεί η βλάβη αυτών των μικροβίων, αλλά επαρκείς για να δώσουν σκόνη με περιεκτικότητα σε υγρασία μικρότερη από 4%, η οποία απαιτείται για σταθερότητα κατά την αποθήκευση. Η επιβίωση των βακτηρίων γιαουρτιού κατά την ξήρανση με ψεκασμό επηρεάζεται από τη θερμοκρασία του αέρα, τον τύπο ψεκασμού και την κατεύθυνση της ροής του αέρα στον ξηραντήρα ψεκασμού. Οι Selvamuthukumaran & Shulka (2006) μελέτησαν την παραγωγή ξηρανθέντος με ψεκασμό Bifidus γάλακτος σε σκόνη και ανέφεραν ότι τόσο η θερμοκρασία του αέρα εισόδου όσο και η πίεση του αέρα είχαν σημαντική επίδραση στην επιβίωση των bifidobacteria. Η βέλτιστη επιβίωση των βακτηρίων είναι σε θερμοκρασία εξόδου 65-75 °C. Άλλοι ερευνητές ανέφεραν ότι προστατευτικοί παράγοντες όπως υδροκολλοειδή, άμυλα, ολιγοσακχαρίτες και σταθεροποιητικά κόμμεα (αλγινικό νάτριο, κόμμι ακακίας) επηρεάζουν την επιβίωση αυτών των αρχικών βακτηρίων (Crittenden et al. 2001). Επίσης, η προσθήκη κρυοπροστατευτικών όπως τρεαλόζη και πρωτεΐνες γάλακτος έχει γίνει σε μία προσπάθεια βελτίωσης της βιωσιμότητας των προβιοτικών κατά τη διάρκεια της ξήρανσης. Ο ρυθμός επιβίωσης του *Streptococcus thermophilus* είναι υψηλότερος από του *Lactobacillus bulgaricus* κατά την ξήρανση με ψεκασμό. (Conrad, Miller, Cielenski, & De Pablo 2000)

Οι χρωματικές και οργανοληπτικές ιδιότητες της σκόνης γιαουρτιού επηρεάζονται από τη θερμοκρασία του αέρα εξόδου και τις συνθήκες ξήρανσης (Bielecka & Majkowska 2000). Η οξειδωτική σταθερότητα της σκόνης γιαουρτιού εξαρτάται από τη θερμική προ-επεξεργασία στο γάλα, τη θερμοκρασία αποθήκευσης και την ενεργότητα του νερού. (Koc, Sakin-Yilmazer, Kaymak-Ertekin, & Balkir 2014)

Τέλος όσον αφορά την διάρκεια ζωής της σκόνης γιαουρτιού, από ξήρανση με ψεκασμό, σε συσκευασία σε συνθήκες αποθήκευσης 25 °C και 50% RH έχει προσδιοριστεί στις 140ⁿ d με βάση την περιεκτικότητα σε υγρασία ισορροπίας της σκόνης. Την 90ⁿ d, παρατηρήθηκε ελαφρά αύξηση της περιεκτικότητας σε υγρασία και σταθερή τιμή a_w της σκόνης γιαουρτιού. Η τιμή a_w ήταν εντός των αποδεκτών ορίων, οι οποίες αντιστοιχούσαν στην περιεκτικότητα σε υγρασία μονοστοιβάδας για την επιβίωση βακτηρίων γαλακτικού οξέος. Το χρώμα της σκόνης γιαουρτιού ήταν σχεδόν σταθερό έως 75ⁿ d αποθήκευσης, αλλά στη συνέχεια άρχισε να αυξάνεται με το χρόνο αποθήκευσης (Chávez & Ledebøer 2007)(Koc et al. 2010).

Κεφάλαιο 3 : Ανασύσταση

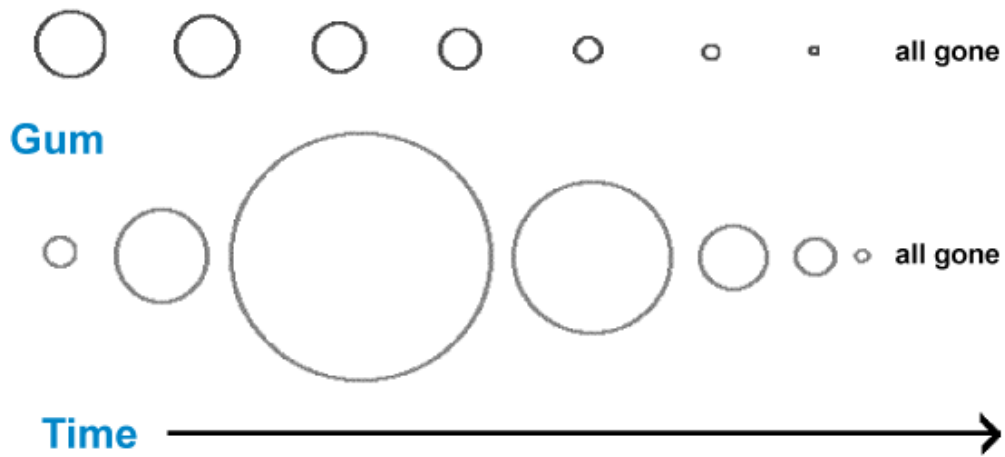
3.1 Στάδια και ορισμοί

Η δυνατότητα (επαν)ενυδάτωσης ή ανασύστασης στο νερό είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό ποιότητας των αφυδατωμένων προϊόντων. Η ανασύσταση λαμβάνει χώρα στα εξής στάδια: τη διαβροχή (wettability), την προσπέραση (sinkability), τη διόγκωση, τη διασπορά (spreadability) και τη διαλυτότητα (solubility)(Yuan & Lee 2013). Η διαβροχή είναι η ικανότητα απορρόφησης νερού και μπορεί να οριστεί ως διείσδυση υγρού σε ένα πορώδες συσσωματωμένο σύστημα λόγω τριχοειδούς δράσης ή της ικανότητας των συσσωματωμάτων να διαπεράσουν από το υγρό (Olivas & Barbosa-Cánovas 2005). Η δυνατότητα προσπέρασης (sinkability), είναι η ικανότητα των σωματιδίων σκόνης να ξεπεράσουν την επιφανειακή τάση του νερού και να βυθίζονται στο νερό, αφού διέλθουν από την επιφάνειά του (Schober & Fitzpatrick 2005). Η διόγκωση επιτυγχάνεται, όταν τα σωματίδια της σκόνης προσλαμβάνουν νερό και μεγαλώνει το μέγεθός τους πριν αυξηθούν οι εσωτερικές δυνάμεις διάβρωσης. Η διασπορά είναι η ικανότητα της σκόνης να διασκορπίζεται στο νερό με ήπια ανάμιξη για να διαχωριστεί σε ξεχωριστά σωματίδια που μπορούν να περάσουν από ένα κόσκινο 210 μm. Με άλλα λόγια, είναι η ευκολία με την οποία οι θρόμβοι και τα συσσωματώματα σκόνης υποχωρούν στο νερό, και εκφράζεται ως το ποσοστό των διαλυμένων στερεών (Sharma, Mustafiz, Singla-Pareek, Shankar Srivastava, & Sorogy 2012). Η διαλυτότητα μπορεί να οριστεί ως η διάλυση διαλυτών συσσωματωμάτων σε ένα υγρό όπου συχνά είναι νερό σε περίπτωση συστημάτων τροφίμων και μετρείται μετά από μία σειρά σταδίων φυγοκέντρησης (Olivas & Barbosa-Cánovas 2005). Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά στάδια αλληλοσυνδέονται και συμβαίνουν διαδοχικά ή ταυτόχρονα κατά τη διάρκεια της ανασύστασης (Mitchell et al. 2015) Η σκόνη θα πρέπει να διαχωρίζεται σε συσσωματώματα, τα οποία και πάλι θα πρέπει να αποσυντίθενται σε απλά πρωτεύοντα σωματίδια, έτσι ώστε η ανασύσταση να είναι βέλτιστη. Ωστόσο, όλα τα συστατικά των σκονών δεν είναι διαλυτά στο νερό όπως συμβαίνει και στη σκόνη γάλακτος. Η λακτόζη, οι ακόρεστες πρωτεΐνες ορού γάλακτος και ορισμένα από τα άλατα είναι φυσικά διαλυτά (Caric 2002).

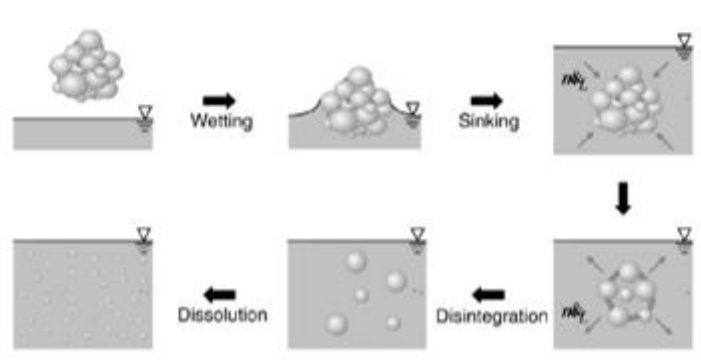
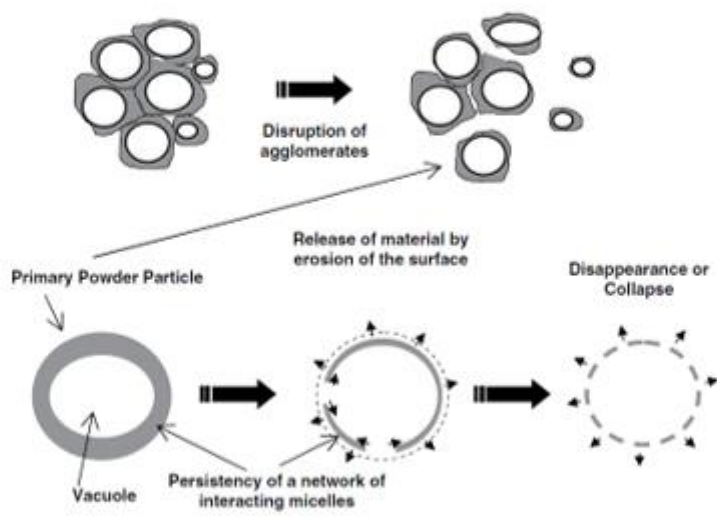
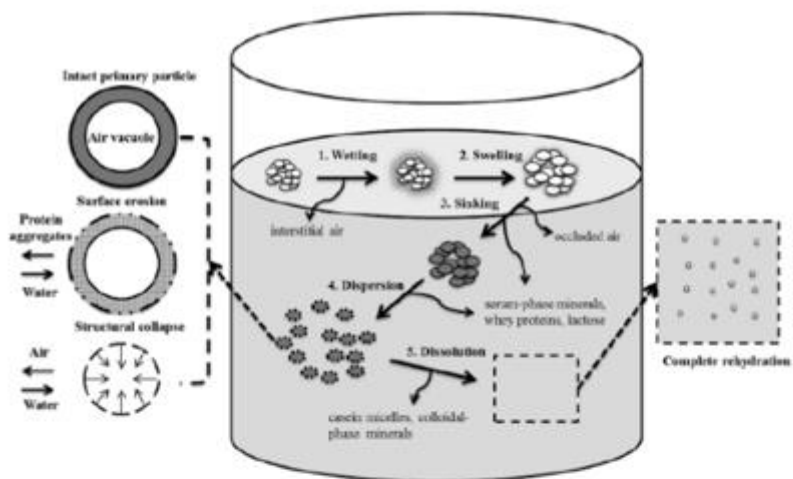
Η ανασύσταση των σκονών είναι συχνά υπερβολικά περίπλοκη για να περιγραφεί με τη χρήση ποσοτικών αποτελεσμάτων από τη δοκιμή ικανότητας διαβροχής και διαλυτότητας. Οι σκόνες μπορεί να παραμείνουν στην επιφάνεια για μεγάλες χρονικές περιόδους, μπορεί να καθιζάνουν στον πυθμένα, μπορεί να δημιουργούν και συστάδες. Για αυτό το λόγο πολλοί ερευνητές ακολουθούν μία ποιοτική μέθοδο σύγκρισης με καθορισμένο χρόνο ανάδευσης, κινήσεων και δοχείου (Fitzpatrick et al. 2016). Σαφώς υπάρχουν διάφορες διαδικασίες δοκιμών που μπορεί να εφαρμοστούν για να εκτιμηθεί η διαβροχή μίας σκόνης, συμπεριλαμβανομένης της πρότυπης μεθόδου της Διεθνούς Ομοσπονδίας Γαλακτοκομικών Προϊόντων, της μεθόδου Washburn, της μέτρησης της γωνίας επαφής και της μεθόδου θολερότητας. Υπάρχουν επίσης διάφορες μέθοδοι για την αξιολόγηση της ικανότητας διάλυσης, συμπεριλαμβανομένης της μέτρησης της διαλυτής περιεκτικότητας σε στερεά με την πάροδο του χρόνου, της μέτρησης της θολερότητας και του μεγέθους των σωματιδίων (στατικό φως σκέδασης) σε ένα συγκεκριμένο σύστημα ανάδευσης (Mitchell et al. 2015).

Μια πολύ σημαντική παρατήρηση είναι ότι η καθυστέρηση του ενός σταδίου δεν συνεπάγεται πάντα την καθυστέρηση όλης της ανασύστασης καθώς μπορεί να εξισορροπηθεί από μικρότερο χρόνο σε άλλο στάδιο, χωρίς αυτό να αποτελεί το γενικό κανόνα. Παρόλα αυτά η συμπεριφορά διάλυσης των σκονών θα μπορούσε να ταξινομηθεί σε 3 ευρείες κατηγορίες: i) αυτές που διαλύονται εύκολα, ii) αυτές που έχουν σημαντική ποσότητα αδιάλυτων αλλά το διαλυτό τους μέρος διαλύεται εύκολα και iii) αυτές που διαλύονται αργά. Η βραδεία διάλυση πιθανότατα οφείλεται σε ισχυρούς δεσμούς

μεταξύ των μορίων που αποτελούσαν τη σκόνη και το πόσο υδρόφιλη είναι η επιφάνεια (Fitzpatrick et al. 2016). Τα κύρια προβλήματα και το στάδιο που χαρακτηρίζουν αναφέρονται και περιγράφονται ως εξής : Η δημιουργία γλοιώδους επιδερμίδας που σχηματίζεται στη διεπιφάνεια σκόνης / ύδατος και παρεμποδίζει τη διείσδυση νερού στα εσωτερικά μέρη της σκόνης χαρακτηρίζει κακές ιδιότητες διαβροχής. Η συσσώρευση και η επιπλευσιμότητα (clumping and floating) μικρόκοκκης σκόνης χαρακτηρίζει κακή ικανότητα προσπέρασης. Η δημιουργία πολλών αδιάλυτων διαχωρισμένων συσσωματωμάτων χαρακτηρίζει κακή διασπορά. Η εμφάνιση διαφανών ή μερικώς διαφανών συσσωματωμάτων χαρακτηρίζει κακή διόγκωση (Crowley et al. 2015)



Εικόνα 3.1 : Ενυδατικά στάδια ενός κόμμεος (κάτω) σε σύγκριση με τα ενυδατικά στάδια της ζάχαρης (πάνω), συναρτήσει του χρόνου.



Εικόνα 3.2 : Στάδια Ανασύστασης

3.2 Επιδράσεις στην ικανότητα Ανασύστασης των σκονών

Η ανασύσταση των σκονών, που αποτελούν τελικό προϊόν ξήρανσης, εξαρτώνται από τον τρόπο ξήρανσής τους, την εκάστοτε σύστασή τους, το ιξώδες του προς ξήρανση διαλύματος, την ένταση της προκατεργασίας, τον αριθμό των σταδίων στην αφυδάτωση, το μέγεθος των σωματιδίων, τη μορφολογία της επιφάνειας και την περιεκτικότητα σε υγρασία της σκόνης (Birchal & Passos 2005). Πολλές σκόνες τροφίμων ενυδατώνονται σε μηχανικά αναδευόμενες δεξαμενές και ο τύπος αναδευτήρα που χρησιμοποιείται, η ένταση ανάδευσης μαζί με τη θερμοκρασία του νερού και η αγωγιμότητά του μπορεί να επηρεάσουν τη συμπεριφορά ενυδάτωσης. Κατά αυτό τον τρόπο η σκόνη γάλακτος δεν θα μπορούσε να αποτελέσει εξαίρεση. Ο τρόπος που επηρεάζει κάθε παράγοντας τα διάφορα στάδια αναλύεται παρακάτω, με εστίαση στα ξηρά προϊόντα της γαλακτοβιομηχανίας (Crowley et al. 2015).

3.2.1 Επίδραση τρόπου ξήρανσης και προκατεργασίας

3.2.1.α Η μετουσίωση των πρωτεϊνών εξαρτάται από τον τρόπο ξήρανσης και προκατεργασίας και επηρεάζει τα στάδια της ανασύστασης.

Όσον αφορά την επίδραση του τρόπου ξήρανσης για την ξήρανση με ψεκασμό έχει αποδειχθεί ότι η απώλεια διαλυτότητας στη σκόνη γάλακτος έχει άμεση σχέση με τη θερμοκρασία εξόδου (T_o) και τη συγκέντρωση τροφοδοσίας (C_f), με το αποτέλεσμα να είναι πιο έντονο σε υψηλές T_o και C_f . Η επίδραση του T_o οφείλεται στην αύξηση του βαθμού μετουσίωσης πρωτεϊνών ή των δομικών αλλαγών, γεγονός που αυξάνει το σχηματισμό αδιάλυτου υλικού με αύξηση της θερμοκρασίας και του χρόνου συγκράτησης (Fang & Bhandari 2012). Από την άλλη, η επίδραση της συγκέντρωσης τροφοδοσίας στη διαλυτότητα μπορεί να εξηγηθεί από δύο λόγους, τη μετουσίωση ή τη συσσωμάτωση και τις διαφορετικές θερμοκρασιακές αλλαγές από τις οποίες περνά κάθε σταγονίδιο, όταν υπάρχουν διαφορετικές αρχικές συγκεντρώσεις. Ωστόσο, η α-γαλακταλβουμίνη απεικονίζει μικρότερη πτώση της διαλυτότητας από τη β-λακτοσφαιρίνη λόγω της θερμικής σταθερότητάς της, η οποία οφείλεται στη δέσμευσή της με ιόντα Ca^{2+} που υπάρχουν στον ορό γάλακτος. Κατά αυτό τον τρόπο αυξάνει τη σταθερότητά της, η συγκεκριμένη πρωτεΐνη σε υψηλότερες θερμοκρασίες επεξεργασίας (Permyakov & Berliner 2000). Ένας άλλος σημαντικός λόγος για τη μη διαλυτοποίηση των σκονών γάλακτος, που έχουν προέλθει από ξήρανση με ψεκασμό, είναι ο σχηματισμός συμπλόκων πρωτεΐνης-καζεΐνης-ορού γάλακτος-λακτόζης κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Η μετουσιωμένη β-λακτοσφαιρίνη επηρεάζει σημαντικά την αλληλεπίδραση καζεΐνης-λακτόζης (Augustin et al. 2008).

Πέρα από τις ιδιαιτερότητες της φύσης των πρωτεϊνών που αναφέρθηκαν προηγουμένως, η μετουσίωση των πρωτεϊνών γάλακτος εξαρτάται και από τα προπαρασκευαστικά στάδια της ξήρανσης (προθέρμανση και εξάτμιση), εάν υπάρχουν. Η εντατική θερμότητα αποδιατάσσει τις πρωτεΐνες μη αναστρέψιμα, μειώνοντας έτσι το δυναμικό ενυδάτωσής τους (Anandharamakrishnan et al. 2007). Από την άλλη πλευρά η ξήρανση με κατάψυξη λόγω των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών, επιφέρει μικρότερη μετουσίωση στις πρωτεΐνες και αυτή παρατηρείται πιο έντονη κατά το στάδιο της κατάψυξης (Anandharamakrishnan, 2017)

3.2.1.β Το ιξώδες, η κολλητικότητα, ο βαθμός κρυστάλλωσης και η ενεργότητα νερού του ξηρού προϊόντος εξαρτώνται από τον τρόπο ξήρανσης και επηρεάζουν τα στάδια ανασύστασης

Ακόμη το ιξώδες, η κολλητικότητα, ο βαθμός κρυστάλλωσης και η ενεργότητα νερού της σκόνης επηρεάζουν την ανασύσταση και είναι απόρροια των συνθηκών ξήρανσης (Birchal & Passos 2005).

Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες με αντίκτυπο στην ανασύσταση είναι το πορώδες και η συσχέτισή του με την πυκνότητα. Γενικά οι σκόνες με υψηλότερες πυκνότητες τείνουν να βυθίζονται πιο γρήγορα, και το μεγαλύτερο πορώδες σωματιδίων μπορεί να επιτρέψει στο νερό να διεισδύσει πιο εύκολα σε ένα σωματίδιο και να το διαλύσει πιο γρήγορα. Είναι επιθυμητή η δημιουργία μεγάλων πόρων κατά την ξήρανση με εύκολα προσβάσιμα κανάλια για το νερό, που ενώνονται μεταξύ τους και όσο γίνεται μικρότερο ποσοστό έγκλειστων απομονωμένων πόρων. Γενικά η διαβροχή μειώνεται όταν υπάρχει αυξημένος ενδιάμεσος αέρας μεταξύ των σωματιδίων σκόνης. Παρομοίως, ο αποκλεισμένος αέρας στο έγκλειστο πορώδες στα σωματίδια μπορεί έμμεσα να εμποδίσει την ικανότητα ανασύστασης στο νερό, δημιουργώντας επιπλεύσεις (Anandharamakrishnan, 2017). Όσον αφορά τη διασπορά έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχει μία ισχυρή συσχέτιση μεταξύ πορώδους / πυκνότητας και της διασποράς σε σκόνη άπαχου γάλακτος. Μία υψηλότερη τιμή της πυκνότητας και ένα χαμηλό πορώδες θα ευνοήσει τη βύθιση στο νερό και κατά συνέπεια τις ιδιότητες ανασύστασης (Birchal & Passos 2005). Ο Hahne & Passos (2002) συνέστησαν ένα εύρος πυκνοτήτων 360-580 kg / m³ για την αυτοδιασπορά της σκόνης πλήρους γάλακτος WMP (Tamime A.Y., 2009). Συμπερασματικά, όσο καλύτερα έχει γίνει η ξήρανση, άρα δεν εμφανίζεται κολλητικότητα της σκόνης, ο βαθμός κρυστάλλωσης είναι μικρός και η ενεργότητα νερού πολύ χαμηλή, τόσο καλύτερη ενδέχεται να είναι η ανασύσταση.

3.2.1.γ Γενικές ανασυστατικές ιδιότητες ανάλογα με την μέθοδο ξήρανσης

Μία γενική σύγκριση των σκονών που έχουν προέλθει από ξήρανση με ψεκασμό και κατάψυξη, ξήρανση με κατάψυξη και ξήρανση με ψεκασμό, η σειρά μειωμένης ανασύστασης είναι η σειρά με την οποία αναφέρθηκαν. Οι σκόνες που έχουν προέλθει από ξήρανση με ψεκασμό παρουσιάζουν μικρή διαλυτότητα λόγω του μικρού μεγέθους τους και του συμμετρικού τους σχήματος. Αυτοί οι λόγοι ευνοούν τη συσσωμάτωση, αναστέλλοντας έτσι τη διείσδυση του νερού (Caric 2002). Απεναντίας το μικρό ποσοστό έγκλειστου πορώδους κατά την ξήρανση με κατάψυξη ευνοεί τη διαβροχή και τη διαλυτότητα. Τέλος, η διαλυτότητα της ξηραθείσας σκόνης γάλακτος με ξήρανση με ψεκασμό και κατάψυξη SFD βρέθηκε να είναι τρεις φορές μεγαλύτερη από τη συμβατική σκόνη γάλακτος που έχει ξηραθεί με ψεκασμό (Rogers, Wu, Saunders, & Chen 2008).

3.2.2 Επίδραση του αρχικού ιξώδους

Αυτός ο παράγοντας ουσιαστικά είναι ένα σημείο τομής της «επίδρασης του τρόπου ξήρανσης στην ανασύσταση», που αναφέρθηκε παραπάνω και της «επίδρασης της σύνθεσης του τροφίμου» στην ανασύσταση και θα αναλυθεί εκτενέστερα παρακάτω. Το αρχικό ιξώδες, που είναι χαρακτηριστικό της φύσης του τροφίμου, είναι μια σημαντική παράμετρος με βάση την οποία επιλέγονται οι εκάστοτε συνθήκες ξήρανσης. Έτσι, ξηραθείσες με ψεκασμό σκόνες που έχουν προέλθει από τροφές με υψηλό ιξώδες μπορεί να έχουν μικρή διαλυτότητα και υψηλή αναλογία καμένων σωματιδίων. Αναφέρεται ότι οι βέλτιστες παράμετροι λειτουργίας για την απόκτηση σκόνης πλήρους γάλακτος WMP, βέλτιστης ποιότητας από την άποψη της περιεκτικότητας σε υγρασία και του δείκτη διαλυτότητας ήταν θερμοκρασία εισόδου 190 °C και θερμοκρασία τροφοδοσίας 70 °C (Kumar & Mishra 2004). Επίσης υψηλότερη ταχύτητα ψεκασμού και χαμηλότερη θερμοκρασία θερμού αέρα κατά την ξήρανση με ψεκασμό δίνει ευνοϊκότερα αποτελέσματα σε ιξώδη μίγματα (Viviane S. Birchal, Passos, Wildhagen & Mujumdar 2005). Τέλος όσον αφορά την ξήρανση με κατάψυξη η αύξηση στερεών, εντός πλαισίων, μπορεί να δίνει καλύτερα αποτελέσματα ξήρανσης αλλά δεν έχει ιδιαίτερη επίδραση στην ικανότητα ανασύστασης των σκονών. (Viviane S. Birchal, Passos, Wildhagen & Mujumdar 2005).

3.2.3 Επίδραση διπλής ξήρανσης

Ένας παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει ακόμη την ανασύσταση επιδρώντας με διττό τρόπο είναι η χρήση ρευστοστερεάς κλίνης με ψεκασμό (agglomeration ή ξήρανση με ψεκασμό δύο σταδίων). Ουσιαστικά επηρεάζει κατά ένα μέρος τον παράγοντα που αναλύθηκε παραπάνω «επίδραση του τρόπου ξήρανσης στην ανασύσταση» και του παράγοντα «επίδραση του μέγεθος των σωματιδίων στην ανασύσταση» που θα αναλυθεί παρακάτω. Η εγκατάσταση για συσσωμάτωση βελτιώνουν τη διαβρεξιμότητα και τη δυνατότητα διασποράς των σκονών γάλακτος (Tamime A.Y.,2009) . Η συσσωμάτωση ως διεργασία έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλου μεγέθους σωματιδίων και υψηλού πορώδους. Αυτός είναι και ο λόγος που αναμένεται να παρουσιάσουν αυξημένη διαβρεξιμότητα (Ji et al. 2016). Οι δομές αυτές είναι εύκολα και γρήγορα προσβάσιμες στο νερό και κατ' επέκταση βοηθούν την τριχοειδή διείσδυση του νερού να ξεκινήσει πιο γρήγορα και να είναι απρόσκοπτη (Crowley et al. 2015). Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν γίνεται επιτάχυνση της τριχοειδούς διείσδυσης και άρα η διασπορά δεν διευκολύνεται. Αυτό εξηγείται καθώς η συσσωμάτωση ως διεργασία προκαλεί αλλαγή στην εξωτερική δομή και όχι στη δομή των πρωταρχικών σωματιδίων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι εκείνο της συσσωματωμένης μυκιλιακής καζεΐνης της οποίας η διασπορά δεν άλλαξε. Τέλος, ένα παράδειγμα θετικής επίδρασης της διεργασίας της συσσωμάτωσης υποστηρίζει ότι ο ρυθμός διάλυσης θα μπορούσε να αυξηθεί με την αρχική προσθήκη σκόνης γάλακτος υψηλής περιεκτικότητας (MPI) μικρότερου μεγέθους σε σκόνη γάλακτος μεγαλύτερου μεγέθους, με την προϋπόθεση ότι δεν θα προσκολληθούν έντονα μαζί κατά τη διαβροχή. Η διαμορφωμένη επιφάνεια θα οδηγούσε σε αύξηση του ρυθμού διαλυτότητας (Fitzpatrick et al. 2016).

Από την άλλη πλευρά , έχει παρατηρηθεί ότι η συσσωμάτωση μπορεί ακόμη και να επιβραδύνει τη διασπορά σκονών , προσθέτοντας ένα πρόσθετο βήμα της διάλυσης των στερεών σημείων σύνδεσης μεταξύ των σωματιδίων (Ji et al. 2016). Συμπερασματικά το στάδιο της διαβροχής και η ένταση της δεύτερης ξήρανσης, ώστε να είναι λεπτές οι συνδέσεις και η υποβάθμιση να είναι χαμηλή, σε συνδυασμό με τη φύση του υλικού μπορεί να έχει κατά κύριο λόγο θετική επίδραση στην ανασύσταση.

3.2.4 Επίδραση της σύνθεσης του τροφίμου

3.2.4.α Η υδροφοβικότητα και η μοριακή δομή του αφυδατωμένου τροφίμου επηρεάζεται από τη σύνθεσή του και κατ' επέκταση επηρεάζει τις ιδιότητες ανασύστασης της σκόνης.

Ακόμη οι ιδιότητες ανασύστασης επηρεάζονται σημαντικά από τη σύνθεση του τροφίμου καθώς καθορίζεται από αυτήν το ποσοστό υδροφιλικότητας της σκόνης. Για παράδειγμα, μεταξύ διαλυμάτων τροφοδοσίας που περιλαμβάνουν διαφορετικά κλάσματα γάλακτος και υποβλήθηκαν σε ξήρανση με ψεκασμό, η διαλυτότητα αυξήθηκε με τη σειρά: σκόνη καζεΐνης <σκόνη πρωτεΐνης ορού γάλακτος <σκόνη πλήρους γάλακτος <σκόνη ημι-αποβουτυρωμένου γάλακτος <σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος. Αυτή η τάση βρέθηκε επίσης να συσχετίζεται με τους χρόνους διαβροχής τους, δηλαδή οι σκόνες με τους υψηλότερους χρόνους διαβροχής είχαν τη μικρότερη διαλυτότητα. Το υψηλό φορτίο πρωτεΐνης και το υπολειμματικό λίπος στην επιφάνεια βρέθηκε ότι μειώνει τις ιδιότητες διαβροχής και συνεπώς τη διαλυτότητα (Gaiani et al. 2011). Καθώς η περιεκτικότητα σε λίπος στο συμπύκνωμα τροφοδοσίας αυξάνεται, οι παραγόμενες σκόνες θα έχουν μία μεμβράνη στην επιφάνεια με περισσότερες αποθέσεις λίπους που εμποδίζουν τη διάχυση του

νερού. Η ποσότητα ελεύθερου λίπους² κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 3 g / 100 g σκόνης, ανάλογα με τη σκόνη. Εκτός από την περιεκτικότητα σε λίπος, την παρουσίαση ελεύθερου λίπους σε σκόνη επηρεάζουν θετικά οι υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα εξόδου σε έναν ξηραντήρα ψεκασμού (Tamime A.Y.,2009). Έτσι αυξάνεται η υδροφοβικότητά της, η δημιουργία επιπλέουσας επιφάνειας καθώς και συσσωματωμάτων (Mimouni, Deeth, Whittaker, Gidley, & Bhandari 2009). Η διαβροχή επηρεάζεται επίσης από την κατάσταση στην οποία υπάρχει η λακτόζη. Εάν η λακτόζη κρυσταλλώνεται στη σκόνη κατά την αποθήκευση, μειώνεται η διαβροχή καθώς εκτός από την μετατροπή της σε δυσδιάλυτη μορφή επιδρά στην περαιτέρω αποβολή του ελεύθερου λίπους. (Augustin & Clarke 2008).

Όσον αφορά την παρατήρηση μειωμένης ενυδατικής ικανότητας των πρωτεϊνών δεν αποδίδεται μόνο στην μετουσίωση,όπως αναλύθηκε προηγουμένως. Ο εμπλουτισμός του γάλακτος σε μικυλλιακή καζεΐνη μείωσε τη μεταφορά νερού στο τέλος της ξήρανσης και κατά την ανασύσταση. Η αδιαλυτότητα σχετίζεται με τη δομή των μικκυλίων και όχι με τη θερμική μετουσίωση (Gaiani et al. 2010). Η μυκηλιακή δομή αναστέλλει την απελευθέρωση των υλικών στο υγρό περιβάλλον και είναι υπεύθυνη για τον εκτεταμένο χρόνο ανασύστασης (Ji, Fitzpatrick, Cronin, Maguire, & Zhang 2016).

3.2.4.β Τρόποι βελτίωσης των ανασυστατικών ιδιοτήτων των σκονών που έχουν να κάνουν με την σύνθεση του τροφίμου.

Για τη μείωση της κρυσταλλοποίησης της λακτόζης συνιστάται η προσθήκη λεκιθίνης στην παρασκευή σκόνης πλήρους γάλακτος ή σε υψηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά σκόνης γάλακτος. Τέλος, η τροποποίηση της σύνθεσης των σκονών γάλακτος υψηλής πρωτεϊνικής περιεκτικότητας με την ενσωμάτωση περισσότερης λακτόζης βελτιώνει τη διαλυτοποίηση και πιστεύεται ότι το μεγαλύτερο κλάσμα της λακτόζης μειώνει τις ισχυρές πρωτεϊνικές αλληλεπιδράσεις (Pierre et al. 2007). Ακόμη, η προσθήκη NaCl λόγω μεγάλης υγροσκοπικότητας βελτιώνει τη μεταφορά νερού κατά τη διάρκεια της ξήρανσης και κατά τη διάρκεια της ανασύστασης. Η αύξηση των αλάτων ακόμη και στο διαλύτη έχει αποδειχθεί ότι έχει σημαντική επίδραση στην ανασύσταση γαλακτοκομικών σκονών υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες. (Goalard, Samimi, Galet, Dodds, & Ghadiri 2006). Ο μόνος τρόπος αποφυγής ελεύθερου λίπους που έχει καταγραφεί είναι η μείωση της θερμοκρασίας ξήρανσης ή η αύξηση της αραίωσης στο διάλυμα τροφοδοσίας. Η καταστροφή μικκυλίου που επάγεται με προσθήκη φωσφορικού ή κιτρικού διαλύματος σε σκόνη συμπυκνώματος γάλακτος αύξησε τη μεταφορά νερού κατά την ξήρανση και κατά τη διάρκεια της ενυδάτωσης (Gaiani et al. 2010).

3.2.4.γ Η υδροφοβικότητα της σκόνης είναι ο κυριότερος παράγοντας που επηρεάζει την ανασύσταση

Επιπρόσθετα σε συγκριτική μελέτη αποδείχθηκε ότι προϊόν διήθησης ορού γάλακτος και οι σκόνες αποβουτυρωμένου γάλακτος έχουν καλή ικανότητα διαβροχής, αλλά χρειάζονται περισσότερο χρόνο από άλλες μικρόκοκκες όπως η ζάχαρη άχνη. Αυτό εξηγήθηκε από το ότι και οι δύο σκόνες γάλακτος έχουν λιγότερα υδρόφιλα στερεά στη σύνθεσή τους και ακόμη και το κύριο σάκχαρό τους, η λακτόζη, είναι λιγότερο υδρόφιλο από τη σακχαρόζη. Από αυτό συμπεραίνεται ότι η

² Το «ελεύθερο λίπος» είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται στη βιβλιογραφία για να δηλώσει μία συγκεκριμένη παράμετρο η οποία έχει ισχυριστεί ότι συσχετίζεται με το βαθμό βλάβης ή σταθερότητας των σφαιριδίων λίπους. Χαρακτηρίζεται ακόμη ως «λίπος το οποίο περικλείεται από μια κατεστραμμένη μεμβράνη» ή «λίπος που έχει διαρρεύσει από σφαιρίδια». Άλλοι συγγραφείς έχουν το ελεύθερο λίπος ως παράμετρο εξαρτώμενη από τη μέθοδο (π.χ. το ποσοστό λίπους που διαχωρίζεται με φυγοκέντρηση ή το εκχύλισμο με διαλύτη λίπος (McSweeney,2006)

υδροφιλικότητα και η πυκνότητα παίζουν σημαντικότερο ρόλο από το μέγεθος. Στη συνέχεια της ίδιας έρευνας αποδείχθηκε ότι η υδροφιλικότητα παίζει ακόμη πιο σημαντικό ρόλο από την πυκνότητα. (Fitzpatrick et al. 2016)

3.2.5 Επίδραση του μεγέθους των σωματιδίων

Το μέγεθος των σωματιδίων παίζει σημαντικό ρόλο στα αρχικά στάδια της ανασύστασης, παρόλα αυτά έρχεται σε δευτερεύουσα θέση σε σχέση με τη σύσταση του προϊόντος. Για παράδειγμα σκόνες γάλακτος από ξήρανση με ψεκασμό με την ίδια υψηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά, εμφάνισαν μειωμένη δυνατότητα ανασύστασης όσο μεγαλύτερη ήταν η κοκκομετρία. Η γενική τάση ήταν, όταν οι σκόνες είχαν χαμηλά λιπαρά αύξαναν τη δυνατότητα διασποράς όσο αυξανόταν το μέγεθός τους μέχρι διαμέτρου 500μm. Πάνω από εκείνη τη διάμετρο ακολουθούσε σημαντική πτώση της διασποράς. Αυτή η τάση βρέθηκε ότι ισχύει και για τη διαλυτότητα της πρωτεΐνης ορού γάλακτος και της σκόνης πλήρους γάλακτος, ενώ ανεξάρτητη αυτής της τάσης ήταν η διαλυτότητα των σκονών με χαμηλά λιπαρά που παρουσίασαν ομοιόμορφα υψηλή διαλυτότητα ανεξαρτήτως μεγέθους σωματιδίων (Gaiani et al. 2011). Όσον αφορά την ξήρανση με κατάψυξη η κοκκομετρία των σωματιδίων εξαρτάται από τα μετέπειτα στάδια, άλεσης και κοσκινίσματος, και είναι στην ευχέρεια του χειριστή να την ρυθμίσει. Συνήθως επιλέγεται μέγεθος ανάλογο των σωματιδίων που έχουν προκύψει από την ξήρανση με ψεκασμό για συγκριτικούς λόγους και μεγέθη κοκκομετρίας πάνω από 200 μm για τη μικρότερη απώλεια ποσότητας σκόνης, λόγω αιώρησης (Anandharamakrishnan ,2017)

3.2.6 Επίδραση των συνθηκών ανασύστασης

Η διαλυτότητα γενικά των αφυδατωμένων τροφίμων αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και την ταχύτητα της ανάδευσης. Σαφώς για τις σκόνες τροφίμων τίθενται όρια στη θέρμανση για τη λειτουργικότητα του ανασυσταμένου προϊόντος. Ακόμη η μηχανική ανάδευση μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τη διαβροχή εμποδίζοντας τη δημιουργία συστάδων και επιτρέποντας την παράλληλη μηχανική διάσπαση των συσσωματωμάτων. Υψηλότερη ανάδευση κατά τη διαλύτωση πρωτεΐνης γάλακτος υψηλής περιεκτικότητας ,της τάξης των 6500 grm, σε ομογενοποιητή και σε θερμοκρασία 20 °C, βελτίωσε τη διαλυτοποίησή της από περίπου 45% σε περίπου 70% μετά από 60 min σε σύγκριση με την περωτή στροβίλου που λειτουργεί με 500grm (McCarthy, Kelly, Maher, & Fenelon 2014). Τέλος η παρουσία αλάτων στο νερό , βοηθά όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στην καλύτερη ανασύσταση των σκονών,

3.3 Αντιδράσεις υποβάθμισης των σκονών

Η ζωή των αφυδατωμένων τροφίμων σε μορφή σκόνης, εξαρτάται από τις συνθήκες αποθήκευσης και από τις κύριες αντιδράσεις που τις υποβαθμίζουν: την αντίδραση Maillard και την οξειδωση. Συγκεκριμένα αυτές οι αντιδράσεις είναι πολύ έντονες και κατά την ξήρανση με θερμικές μεθόδους.

3.3.1 Maillard

Η αντίδραση Maillard, συμβαίνει κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, μεταξύ μίας ένωσης καρβονυλίου και μίας αμίνης. Στην περίπτωση των τροφίμων, η καρβονυλική ομάδα ενός αναγωγικού σακχάρου (λακτόζη στην περίπτωση του γάλακτος) και οι αντιδραστικές πλευρικές αλυσίδες πρωτεϊνών (κυρίως η ε-αμινομάδα της λυσίνης και, σε μικρότερο βαθμό, η ινδόλη της τρυπτοφάνης, η ιμιδαζόλη η ομάδα γουανιδίνης της αργινίνης και η α-αμινομάδα των N-τελικών αμινοξέων (N-containing polymers)) συμπυκνώνονται για να σχηματίσουν μία γλυκοζαμίνη η οποία, μέσω μίας αναδιάταξης Amadori, σχηματίζει ένα N-υποκατεστημένο 1-αμινο-1-δεοξυ-2-. Τέτοιες ενώσεις μπορούν να αφυδατωθούν σε αναγωγάσες ή να ενοποιηθούν σε 1-αμινο-1,2-ενδιόλη ή 1-

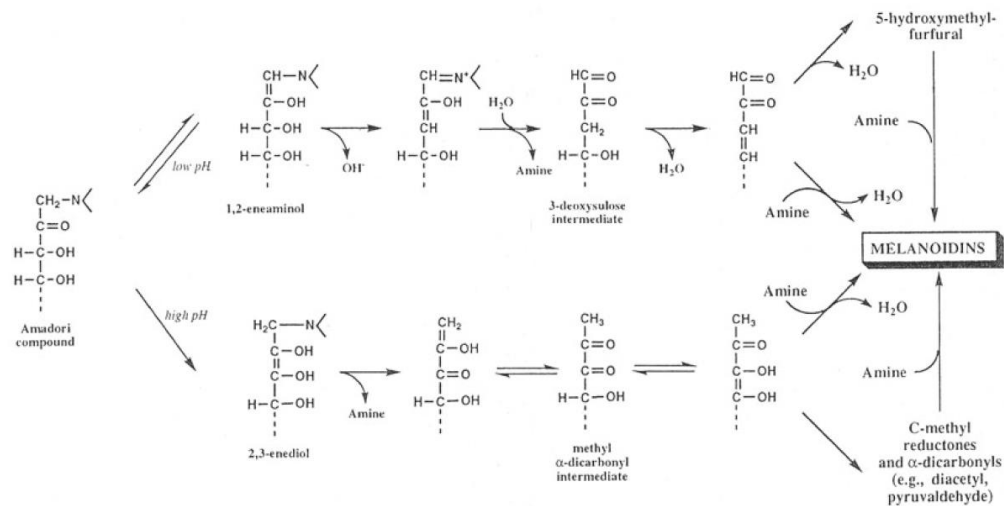
αμινο-2,3-ενοδιόλη (Mahony, 1997)-2018. Η πρώην ένωση μπορεί να αφυδατωθεί σε υδροξυμεθυλοφουρφουράλη (HMF ή φουρφουράλη), ενώ η τελευταία αναλύεται σε α-καρβονυλο ενώσεις οι οποίες διασπώνται σε προϊόντα που στη συνέχεια πολυμερίζονται για να σχηματίσουν μελανοϊδίνες (Anandharamakrishnan ,2017)

Κατ' αυτό τον τρόπο το μη ενζυμικό μαύρισμα μέσω της αντίδρασης Maillard μπορεί να αλλάξει το χρώμα της σκόνης του τροφίμου. Ακόμη το μη ενζυμικό μαύρισμα αναφέρεται επίσης σε προϊόντα χαμηλής λακτόζης κατά την αποθήκευση . Συνοπτικά η αντίδραση Maillard επηρεάζει διάφορες ιδιότητες του γάλακτος, εκ των οποίων οι πιο σημαντικές είναι οι εξής:

- Χρώμα: οι μελανοϊδίνες που σχηματίζονται στα προχωρημένα στάδια της αντίδρασης Maillard είναι καφέ έως μαύρο. Ενώ είναι επιθυμητός ο σχηματισμός ενός καφέ χρώματος σε πολλά τρόφιμα (π.χ. στο ψωμί, στη φρυγανιά, στις γαλλικές πατάτες), είναι ανεπιθύμητο στις σκόνες γάλακτος.
- Γεύση: πολλά από τα ενδιάμεσα προϊόντα αντίδρασης, π.χ. φουρφουράλη, HMF ή δεϋδρορεδουκτάνες, είναι πολύ αρωματισμένα.
- Διαλυτότητα: οι μελανοϊδίνες είναι πολυμερή που περιέχουν N με χαμηλή διαλυτότητα.
- Διατροφή: ο σχηματισμός του αρχικού προϊόντος, η N-υποκατεστημένη γλυκοζαμίνη, είναι αναστρέψιμη, αλλά οι περαιτέρω αντιδράσεις είναι μη αναστρέψιμες και η λυσίνη γίνεται διατροφικά μη διαθέσιμη. Δεδομένου ότι η λυσίνη είναι ένα απαραίτητο αμινοξύ ,η αντίδραση Maillard μειώνει τη θρεπτική αξία των τροφίμων (McSweeney ,2016).

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την αντίδραση εκτός από τη συγκέντρωση πρωτεϊνών , σακχάρων είναι η ενεργότητα, η υγρασία καθώς και ο τύπος ξήρανσης. Οι βέλτιστες τιμές υγρασίας και ενεργότητας για το ρόδισμα σκόνης άπαχου γάλακτος είναι περίπου 12-14% και 0,5-0,75, αντίστοιχα. Η επίδραση της a_w στην κινητική της αντίδρασης Maillard σε σκόνες γάλακτος μπορεί να περιγραφεί ως συνέπεια της συγκέντρωσης και της διάχυσης των αντιδραστηρίων (Anandharamakrishnan ,2017). Έχει αναφερθεί ότι η Maillard ήταν μέγιστη για τις σκόνες γάλακτος που θερμαίνονται σε θερμοκρασίες από 70°C έως 130 °C σε ένα ευρύ φάσμα a_w (0,44-0,85) και η σταυροσύνδεση των πρωτεϊνών που προέρχονται από την αντίδραση σε συστήματα πρωτεϊνών γάλακτος. Ακόμη η ροή αέρα στον ξηραντήρα ψεκασμού πρέπει να είναι αποτελεσματική, ώστε να αποφεύγεται η συσσωμάτωση σκόνης ή η κολλησιμότητα στον θάλαμο, η οποία μπορεί να παράγει καμένα σωματίδια (Tamime A.Y.,2009)

Έτσι γίνεται κατανοητό ότι θερμικοί τρόποι ξήρανσης προάγουν το φαινόμενο. Σε αντίθεση η ξήρανση με κατάψυξη δεν παρουσιάζει αλλοιώσεις από αντίδραση Maillard κατά τη διάρκεια της διεργασίας όμως κατά την αποθήκευση είναι το ίδιο ευαίσθητες. Στις σκόνες γάλακτος, οι αντιδράσεις Maillard μπορούν να ευνοηθούν από την κοντινή απόσταση των δραστικών μορίων (Anandharamakrishnan ,2017) .Προφανώς, η αντίδραση επιβραδύνεται με την αποθήκευση σκόνης σε χαμηλή θερμοκρασία και αποφεύγοντας την απορρόφηση της υγρασίας με αποθήκευση σε κατάλληλη συσκευασία. Μερικές φορές, παρόλο που το καφετί χαρακτηριστικό χρώμα μπορεί να μην είναι σημαντικό, η μείωση του αρώματος καθιστά τις σκόνες του γάλακτος μη αποδεκτές. Έχει αναφερθεί η αποικοδόμηση της λακτόζης ή διάσπαση των συμπλόκων λακτόζης-πρωτεΐνης που σχηματίστηκαν με την αντίδρασης Maillard, στη διάρκεια της αποθήκευση σκόνης γάλακτος, σε γαλακτόζη, λακτουλόζη και ταγκατόζη (Tamime A.Y.,2009). Πρόσφατα, η ουρείκή λακτόζη, παράγωγο ουρίας της λακτόζης, έχει αναφερθεί σε σκόνες γάλακτος και προτάθηκε ως δυνητικός δείκτης του θερμικού ιστορικού των γαλακτοκομικών προϊόντων (Suyama, Sasaki, Oritani, & Hosono 2011).



Εικόνα 3.3 Αντίδραση Maillard

3.3.2 Οξείδωση

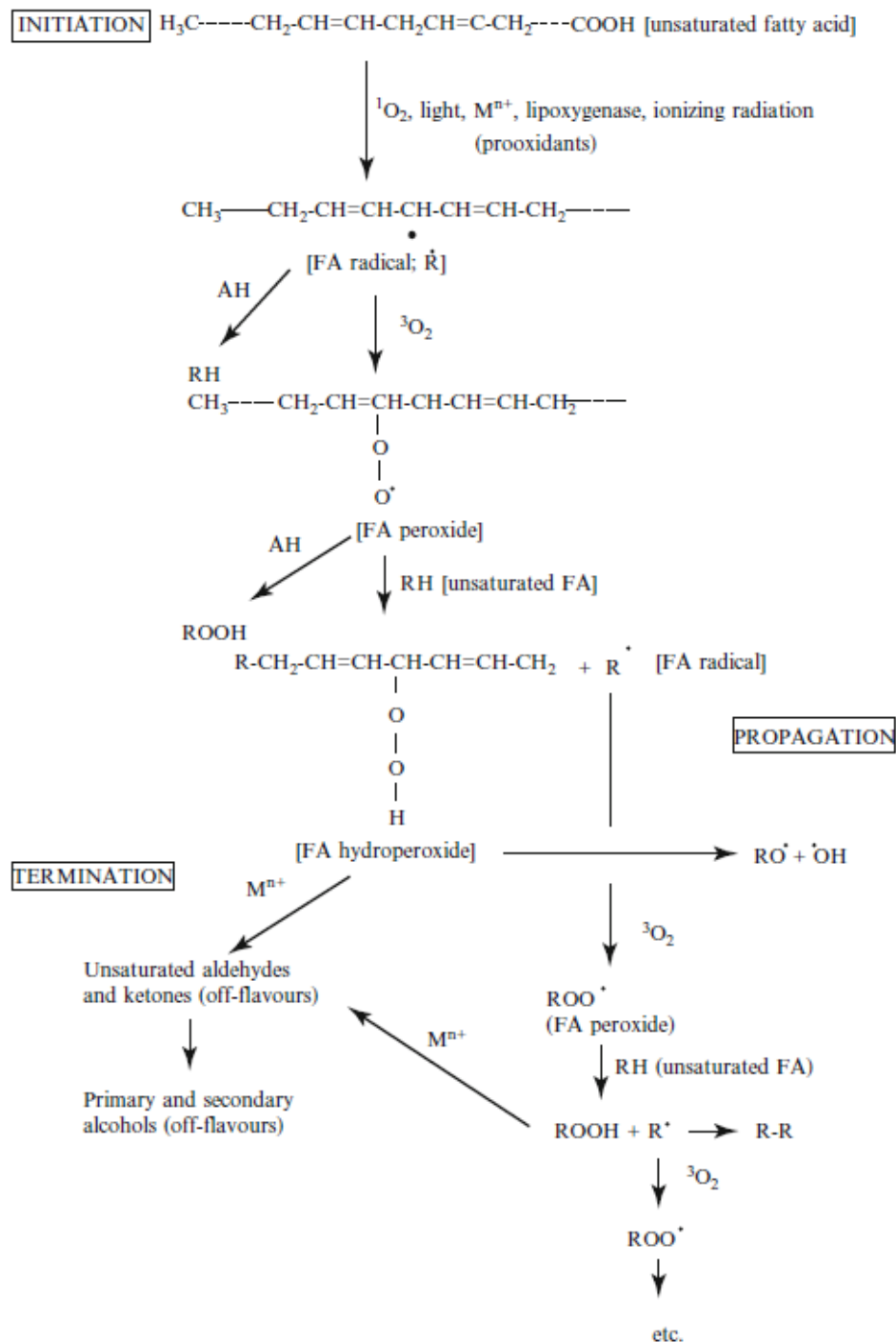
Οι σκόνες γάλακτος έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής μέχρι 12 μήνες ή περισσότερο χωρίς σημαντική αλλοίωση της οργανοληπτικής ποιότητας. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, το λίπος στην επιφάνεια των κόκκων σκόνης του γάλακτος είναι επιρρεπές στην οξείδωση, οδηγώντας στην ανάπτυξη της τάγγισης. Η αντίδραση είναι αυτοκαταλυόμενη. Το αρχικό στάδιο καταλύεται από το φως (ιδιαίτερα το υπεριώδες φως), τα μέταλλα, ειδικά από σίδηρο και χαλκό, ή από ένζυμα, π.χ. λιποξυγενάσες (που δεν σχετίζονται με τα γαλακτοκομικά προϊόντα), με το σχηματισμό ελεύθερων ριζών λιπαρών οξέων. Αυτά αντιδρούν με O_2 με το σχηματισμό υπεροξυ-ελευθέρων ριζών και ελευθερώνουν ένα H^\bullet από άλλο ακόρεστο λιπαρό οξύ, συνεχίζοντας έτσι τη διαδικασία οξείδωσης. Οι υπεροξυ-ελεύθερες ρίζες είναι ασταθείς και διασπώνται σε δύο ελεύθερες ρίζες οι οποίες συνεχίζουν την αντίδραση, γεγονός που καθιστά την αντίδραση αυτοκαταλυόμενη. Ορισμένες από αυτές τις ρίζες μετατρέπονται σε καρβονύλια, τα οποία αποτελούν την αιτία των οξειδωτικών προβλημάτων

Η ποσότητα του ελεύθερου λίπους είναι ένας δείκτης αστάθειας για τις σκόνες γάλακτος και η μείωση του φαινομένου μπορεί να ελεγχθεί κατά τη διεργασία ξήρανσης ή με κατάλληλη συσκευασία.

Όσον αφορά το πεδίο της ξήρανσης, γενικά, η θερμική επεξεργασία βελτιώνει την οξειδωτική σταθερότητα των σκονών γάλακτος και έτσι παρατείνεται η διάρκεια ζωής του πλήρους γάλακτος σε σκόνη (Tamime A.Y., 2009). Αυτό συμβαίνει επειδή η θερμική επεξεργασία απενεργοποιεί τη λιπάση που υπάρχει στο γάλα και επίσης αναπτύσσει τη φυσική αντιοξειδωτική δράση των συστατικών του γάλακτος. Επίσης προκαλεί έκθεση των σουλφιδρυλικών ομάδων και ενισχύει την αντίδραση Maillard. Οι σουλφιδρυλικές ομάδες είναι αντιοξειδωτικές και συνεπώς μειώνουν την οξείδωση του λίπους και την ταχύτητα αλλοίωσης της γεύσης. Ο Taylor & Richardson (1980) ανέφεραν ότι τα προϊόντα της αντίδρασης Maillard κατά τη διάρκεια της προθέρμανσης μπορεί να είναι εν μέρει υπεύθυνα για την αύξηση της οξειδωτικής σταθερότητας των σκονών γάλακτος. Και τα δύο αυτά χημικά συμβάντα συμβάλλουν στην αύξηση της οξειδωτικής σταθερότητας. Ωστόσο, ο καλύτερος τρόπος για τη βελτίωση της οξειδωτικής σταθερότητας είναι η μείωση του ελεύθερου λίπους στη σκόνη κατά την παρασκευή. Η οξειδωτική σταθερότητα μπορεί επίσης να βελτιωθεί με την προσθήκη

ορισμένων αντιοξειδωτικών σε σκόνης γάλακτος κατά τη διάρκεια της παρασκευής (Anandharamakrishnan ,2017)

Το πρόβλημα της οξείδωσης ελέγχεται ή εμποδίζεται και με τη χρήση κατάλληλης συσκευασίας. Χρησιμοποιώντας αδιαφανή συσκευασία, αποφεύγοντας τη μόλυνση με μέταλλα (π.χ. με τη χρήση ανοξειδωτού χάλυβα), αποφεύγοντας το O₂, π.χ. με συσκευασία υπό κενό και / ή με αδρανές αέριο, ή με χρήση αντιοξειδωτικών (τυπικά φυσικά αντιοξειδωτικά όπως τοκοφερόλες, π.χ. βιταμίνη Ε) ή με τη χρήση συνθετικών αντιοξειδωτικών, αν επιτρέπεται. (Tamime A.Y.,2009)



Εικόνα 3.4: Σχηματική απεικόνιση της οξείδωσης των λιπαρών

Κεφάλαιο 4 : Οργανοληπτικός Έλεγχος

Πέρα από τις αντικειμενικές μετρήσεις πολύ σημαντικός είναι ο οργανοληπτικός έλεγχος των προϊόντων τόσο στην έρευνα και ανάπτυξη όσο και στον ποιοτικό έλεγχό τους. Η αντίληψη των χαρακτηριστικών του προϊόντος με τις 5 αισθήσεις είναι σημαντικό εργαλείο για την εκτίμηση λαθών μιας παραγωγικής διεργασίας και μία πρώτη ένδειξη της καταναλωτικής αποδοχής. Είναι προφανές ότι μόνο η ρεολογία δεν μπορεί να προβλέψει πολύπλοκες αισθητικές/οργανοληπτικές παραμέτρους όπως η αίσθηση στο στόμα, η επικάλυψη στο στόμα και η κρεμότητα (Chojnicka-Paszun, Doussinault, & De Jongh 2014). Από την άλλη η ρεολογία μπορεί να αντικατοπτρίσει διαφορετικές πτυχές της στοματικής συμπεριφοράς και να συσχετιστούν με συγκεκριμένα αισθητήρια χαρακτηριστικά ή διαφορετικά χρονικά σημεία της διαδικασίας κατανάλωσης (Chen & Stokes 2012), παρέχοντας μία πληρέστερη φυσικοχημική βάση για την πρόβλεψη των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών υφής και αίσθησης στο στόμα, όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό. Αυτό μπορεί να ενισχυθεί περαιτέρω με την απεικόνιση της μικροδομής του προϊόντος με χρήση της μικροσκοπίας σάρωσης λέιζερ Confocal (CLSM) για να συμπληρωθούν τα δεδομένα μεγέθους των σωματιδίων (Laiho, Williams, Poelman, Appelqvist, & Logan 2017).

4.1 Οργανοληπτικός Έλεγχος στο Γιαούρτι

Στην παραγωγή του γιαουρτιού ο οργανοληπτικός έλεγχος διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Η υφή και η κρεμότητα στο στόμα σε συνδυασμό με τη χαμηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά του γιαουρτιού είναι από τους κύριους παράγοντες αποδοχής του προϊόντος από τους καταναλωτές. Παράλληλα αυτά τα χαρακτηριστικά έρχονται σε αντίθεση καθώς η δημιουργία καλής υφής και κρεμότητας συσχετίζεται με την περιεκτικότητα σε λιπαρά (Frøst & Janhøj 2007). Η διόρθωση της υφής και της κρεμότητας στο στόμα χωρίς τη χρήση σταθεροποιητών αποτελεί μία πρόκληση. Ακόμη η διόρθωση αυτών των χαρακτηριστικών, με χρήση σταθεροποιητών αν δεν γίνεται αντιληπτή στο στόμα αυξάνει την αποδοχή και έναντι μίας λίγο μειωμένης γεύσης (Loveday, Sarkar, & Singh 2013).

Κάθε έρευνα που περιέχει οργανοληπτικό έλεγχο έχει και το αντίστοιχο λεξιλόγιο που παρατίθεται καθώς κάθε μία αποσκοπεί στο να εντοπίσει και να χαρακτηρίσει άλλες ιδιότητες (Laiho et al. 2017). Για παράδειγμα η παραγωγή γιαουρτιού από σκόνη γάλακτος δίνει ιδιαίτερη έμφαση στη γεύση και τη μετάγευση χρησιμοποιώντας ευρύ λεξιλόγιο για τους γευστικούς τόνους, χωρίς αυτό βέβαια να αποκλείει τη σημαντικότητα και τον χαρακτηρισμό των άλλων οργανοληπτικών ιδιοτήτων (Karag & Drake 2006).

Από την άλλη τα γενικά χαρακτηριστικά και οι πρακτικές εύρεσής τους είναι ίδιες. Ο έλεγχος γίνεται σε 4 στάδια: α) οπτικός στην επιφάνεια, β) οπτικός στη διάρρηξη του πήγματος και στο κουτάλι, γ) αίσθηση στο στόμα κατά την κατανάλωση και δ) αίσθηση μετά την κατάποση. Στον οπτικό έλεγχο της επιφάνειας ελέγχεται το χρώμα, η μορφολογία της επιφάνειας (επίπεδη, με ραβδώσεις) και η γυαλάδα. Κατά τη διάρκεια του ελέγχου συνιστάται το κύπελο/δοχείο του δείγματος να μην σηκώνεται από το τραπέζι δοκιμών και η εκτίμηση της γυαλάδας να γίνει με στροφή του κυπέλου. Στο δεύτερο στάδιο του ελέγχου γίνεται χρήση μικρού κουταλιού. Η διάρρηξη γίνεται με το πλαϊνό μέρος του κουταλιού (αριστερόστροφη κλίση 90° αν ο δοκιμαστής είναι δεξιόχειρας) και παρατηρούνται οι μεταβολές στην επιφάνεια (εμφάνιση πέτσας, δυσκολία στη διάρρηξη, αν οι αλλαγές είναι τοπικές ή συνολικές). Στη συνέχεια βυθίζεται κατά την ίδια διεύθυνση με σταθερή δύναμη έως την επικάλυψη και του πάνω άκρου του κουταλιού. Έπειτα επανέρχεται το κουτάλι

παράλληλο με το έδαφος (δεξιόστροφα) και ασκείται κάθετη δύναμη προς στα πάνω και το αποσπώμενο κομμάτι παρατηρείται. Σε αυτό το στάδιο εκτιμώνται χαρακτηριστικά του πήγματος (αίσθηση ιξώδους στο κουτάλι, ομαλότητα διείδυσης, πορώδες πλέγμα, κολλώδης υφή κλπ.) Κατά την κατανάλωση, το γιαούρτι συμπιέζεται μεταξύ της γλώσσας και του ουρανίσκου και αναμιγνύεται με το σάλιο πριν από την κατάποση. Αυτό προκαλεί αλλαγές στη μήτρα γιαουρτιού και καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο γίνεται αντιληπτό το δίκτυο των πρωτεϊνών που αποτελούν το πλέγμα και το πώς απελευθερώνονται οι ενώσεις του αρώματος και της γεύσης (Stokes, Boehm, & Baier 2013). Για την αξιολόγηση του τζελαρίσματος, του πάχους, την ύπαρξη εγκλωβισμένου αέρα και την ικανότητα προσκόλλησης (gelatinous, thickness, airiness and adhesiveness) συνιστάται ένα κουταλάκι του γλυκού από το δείγμα στο στόμα και πίεση του περιεχομένου του μεταξύ του ουρανίσκου και της γλώσσας. Κινήσεις της γλώσσας παράλληλα προς τον ουρανίσκο, εντοπίζουν την ένταση της κρεμότητας του δείγματος. Η ομαλότητα και η χονδρότητα/το πάχος του πλέγματος (Smoothness and lumpiness) εκτιμάται με περιδίνηση του δείγματος στο στόμα πριν από την κατάποση. Μετά την πλήρη κατάποση του δείγματος, αξιολογείται η δυσκολία κατάποσης, η τρυφερότητα, η ξηρότητα και η επικάλυψη στο στόμα (swallow, chalkiness, mouth drying and mouth coating) (Laiho et al. 2017).

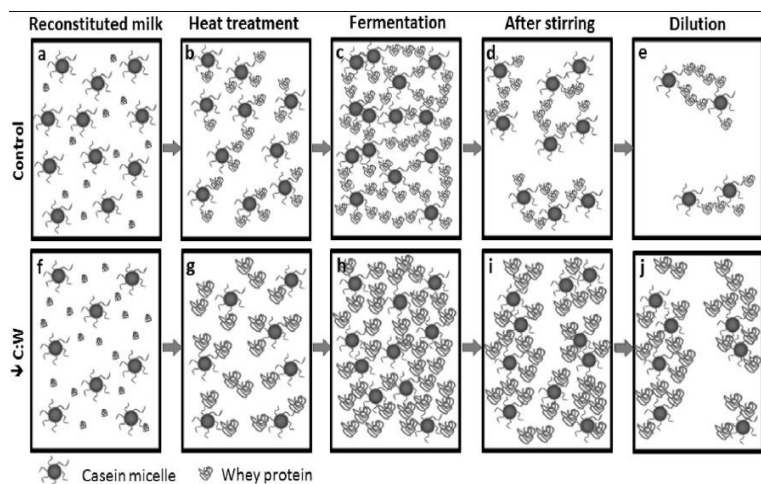
4.2 Επίδραση των υδροκολλοειδών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του γιαουρτιού

Η υφή και η βελτίωσή της, όπως προαναφέρθηκε, είναι πολύ σημαντική και ένας από τους κύριους τρόπους βελτίωσης είναι η χρήση υδροκολλοειδών. Για τους καταναλωτές, είναι σημαντικό τα υδροκολλοειδή να μην αλλοιώνουν τη φυσική γεύση του προϊόντος και να είναι αποτελεσματικά στην τυπική περιοχή pH, 4.0-4.6 (Phillips & Williams 2009). Γενικά η χρήση τους έχει ως αποτέλεσμα, τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του άπαχου γιαουρτιού να βελτιώνονται σημαντικά. Επιτυγχάνουν πολλές φορές ίδιες αισθητικές βαθμολογίες με το πλήρες γιαούρτι για διάφορες επιθυμητές οργανοληπτικές ιδιότητες, όπως το πάχος, η ομαλότητα και η κρεμότητα (thickness, smoothness, creaminess) (Nguyen, Kravchuk, Bhandari & Prakash 2017). Ωστόσο, μπορεί να υπάρχουν ελαττώματα υφής που σχετίζονται με τη χρήση υδροκολλοειδών. Για παράδειγμα, η υπερβολική σταθεροποίηση μπορεί να οδηγήσει σε ένα «jellolike» ελαστικό σώμα γιαουρτιού, ενώ μπορεί να παραχθεί ένα "υγρό" σώμα ή διαχωρισμός ορού λόγω αποσταθεροποίησης ή ακατάλληλης σταθεροποίησης (Lee & Lucey 2010).

Ένας από τους πιο συνηθισμένους σταθεροποιητές που χρησιμοποιούνται λόγω της χημικής συγγένειας με το γάλα και το γιαούρτι είναι η πρωτεΐνη ορού γάλακτος. Η εκτεταμένη χρήση πρωτεϊνών μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητες αλλαγές στην υφή, (chalkiness ,grittiness) (Lee & Lucey 2010) και σε μειωμένη προτίμηση για την αίσθηση στο στόμα (Frøst & Janhøj 2007). Μελέτη έδειξε ότι η χρήση άπαχου γάλακτος με την προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος αλλάζοντας την αναλογία καζεΐνης- πρωτεΐνης ορού, χωρίς να αλλάζει τη συνολική περιεκτικότητα πρωτεΐνης στο γιαούρτι είχε επίδραση στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, και συγκεκριμένα όσο αυξανόταν η πρωτεΐνη τόσο μεγαλύτερα κενά σχηματίζονταν στο πήγμα. Ακόμη όσο μειωνόταν η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη τόσο η κρεμότητα και η απαλότητα στο στόμα μειώθηκε (creaminess and smoothness in-mouth). Τέλος, η υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη χαρακτηρίστηκε ως ασταθής με παχιά εμφάνιση στο κουτάλι, και παχιά υφή στο στόμα. Η περιοχή 20 -30 % περισσότερη πρωτεΐνη ορού γάλακτος δεν εμφάνιζε μεγάλες διαφορές και είχε θετική επίδραση στα περισσότερα χαρακτηριστικά και στην αρέσκεια των καταναλωτών. Ενώ σε ποσοστό 40%-50% υπήρξαν έντονες διαφορές και ελαττώματα (Laiho et al. 2017).

Τόσο το κόμμι ξανθάνης (0.005-0.015%), όσο και η καραγενάνη (0.01-0.08%) μπορούν να αυξήσουν τη σταθερότητα και το ιξώδες του άπαχου γιαουρτιού, αλλά αυξάνουν σημαντικά τη συναίρεση και τα ανεπιθύμητα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά στο στόμα, (chalkiness, lumpiness). Το τροποποιημένο άμυλο (0.5-1.5%) επιδρά στην πάχυνση του άπαχου γιαουρτιού, χωρίς σημαντικές αλλαγές στην υφή του προϊόντος (Nguyen et al. 2017). Ακόμη η προσθήκη τροποποιημένου αμύλου συνέβαλε θετικά στην αίσθηση κορεσμού, η οποία αίσθηση σχετίζεται με την υφή (Morell, Hernando, Llorca & Fiszman 2015). Η ζελατίνη (0.5-1.5%) φαίνεται να είναι το καλύτερο υδροκολλοειδές, λόγω της ικανότητάς της να μειώνει τη συναίρεση, να βελτιώνει την υφή, και το ιξώδες του άπαχου γιαουρτιού. Σημειώνει πολύ καλά αποτελέσματα σε αυτά τα χαρακτηριστικά έναντι των άλλων, παρόλα αυτά δεν έχει παρατηρηθεί ότι βελτιώνει τη γεύση και το άρωμα, χωρίς βέβαια να τα μειώνει εκτός αποδεκτών ορίων (Sanchez, Zuniga-Lopez, Schmitt, Despond & Hardy 2000, Nguyen et al. 2017).

Στο παράρτημα παρατίθεται ένα τυπικό φύλο οργανοληπτικού ελέγχου γιαουρτιού καθώς και ένας κατάλογος αναφορών των τόνων γεύσεων.



Εικόνα 4.1: Σχηματική αναπαράσταση επίδρασης προσθήκης πρωτεϊνών ορού γάλακτος στο γιαούρτι

4.3 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά γαλακτοκομικών σκονών

Οι σκόνες γάλακτος πρέπει να έχουν ελαφρώς γλυκιά γεύση και καθαρό χαρακτηριστικό άρωμα, χωρίς ένδειξη ταγγισμού των λιπαρών. Η σκόνη πλήρους γάλακτος WMP έχει πλούσια και γλυκιά γεύση παρόμοια με το πλήρες γάλα, ενώ η σκόνη άπαχου γάλακτος SMP έχει τα χαρακτηριστικά του υγρού αποβουτυρωμένου γάλακτος με ισχυρότερους τόνους μαγειρεμένου (Lloyd, Drake & Gerard 2009). Στη σκόνη άπαχου γάλακτος SMP οι πιο έντονες μαγειρεμένες, θειούχες και καραμελοποιημένες γεύσεις σχετίζονται με υψηλή θερμική επεξεργασία. Οι πηκτικές γεύσεις στη σκόνη προέρχονται από την κατανομή του λίπους στη σκόνη του γάλακτος. Τα ελεύθερα λιπαρά οξέα όπως το βουτανικό, το πεντανικό και το εξαντικό οξύ που προκαλούνται από την υδρόλυση λίπους είναι οι κύριοι παράγοντες που συμβάλλουν στην εμφάνιση άλλων τόνων αρώματος. Παρέχουν άρωμα τυριού σε ξηρά γαλακτοκομικά προϊόντα, επομένως χαμηλά λιπαρά σε ξηρά γαλακτοκομικά

προϊόντα θα έχουν χαμηλότερες οξειδωτικές γεύσεις, όταν ανασυσταθούν μετά την αποθήκευση. Το μαγειρεμένο άρωμα οφείλεται στην αντίδραση Maillard και στην παραγωγή ελεύθερων σουλφυδρυλικών ομάδων (Anandharamakrishnan ,2017). Οι λακτόνες συμβάλλουν στις γλυκές και λιπαρές γεύσεις. Άλλες αρωματικά δραστικές ενώσεις που βρίσκονται σε σκόνες γάλακτος είναι η φουρανεόλη, η μαλτόλη, η σοκολόνη και η βανιλίνη. Αυτές οι αρωματικές ενώσεις βρίσκονται σε υψηλότερα επίπεδα στις σκόνες υψηλής θερμικής επεξεργασίας, καθώς οι περισσότερες από αυτές τις γεύσεις παράγονται με θέρμανση. Έτσι, η θερμική προκατεργασία του γάλακτος παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη ειδικών γεύσεων σε σκόνες γάλακτος. Μία ευρεία ποικιλία άλλων ενώσεων, όπως οι αλδεΐδες, οι εστέρες των αλκοολών και οι ενώσεις που περιέχουν άζωτο, σχετίζονται με αρώματα που τείνουν στα μη αποδεκτά όρια (off-flavor). Τα οργανοληπτικά ελαττώματα στις σκόνες του γάλακτος επηρεάζονται από την ποιότητα του νωπού γάλακτος, το χειρισμό, τη μέθοδο ξήρανσης και την ακατάλληλη αποθήκευση (Isleten & Karagul-Yuceer 2006).

Κεφάλαιο 5 : Πειραματικό Μέρος

5.1 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παραγωγή αφυδατωμένου γιαουρτιού σε μορφή σκόνης και η μετέπειτα ανασύστασή της με στόχο τη βελτίωση των χαρακτηριστικών της, ώστε το ανασυσταμένο προϊόν να προσεγγίζει τα χαρακτηριστικά του γιαουρτιού από το οποίο προήλθε.

Επιλέχθηκε τυποποιημένο αναμεμιγμένο γιαούρτι με διαφορετική περιεκτικότητα λιπαρών 0%, 2% και 5%. Η διαδικασία παραγωγής του αναμεμιγμένου είναι πιο κοντά σε μία συνεχή διεργασία, στην οποία θα μπορούσε πρακτικά στη βιομηχανία να προστεθεί άλλο ένα στάδιο, το στάδιο της ξήρανσης, προκειμένου να παραχθεί σκόνη γιαουρτιού. Οι διαφορετικές περιεκτικότητες σε λιπαρά βοηθούν τη μελέτη, αλλά έχουν και αντίκρισμα στην αγορά. Το γιαούρτι 0% αποτελεί ένα πιο απλό σύστημα πρωτεϊνών και υδατανθράκων, ενώ όσο αυξάνονται τα λιπαρά αυξάνεται η πολυπλοκότητα του συστήματος. Έτσι οι διαβαθμίσεις των λιπαρών βοηθούν την καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς κάθε συστατικού του γιαουρτιού. Από την σκοπιά της αγοράς, οι καταναλωτές δείχνουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε προϊόντα χαμηλά σε λιπαρά, όμως τα προϊόντα χωρίς λιπαρά τα θεωρούν πιο άγευστα και περισσότερο επεξεργασμένα. Στο εμπόριο των ξηρών/αφυδατωμένων προϊόντων προτιμάται η παραγωγή σκονών χωρίς λιπαρά, καθώς ο παράγοντας υποβάθμισης από την οξείδωση των λιπαρών εξαλείφεται. Συγκεκριμένα οι εμπορικές σκόνες γιαουρτιού δεν περιέχουν λιπαρά. Έτσι η παραγωγή σκονών γιαουρτιού με λιπαρά προσφέρει πλεονέκτημα διαφοροποίησης στην αγορά.

Οι μέθοδοι που επιλέχθηκαν για την ξήρανση ήταν η ξήρανση με κατάψυξη (freeze drying) και η ξήρανση με ψεκασμό (spray drying). Αυτές οι μέθοδοι είναι πολύ διαδεδομένες στη βιομηχανία και κάθε μια παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για μελέτη. Η ξήρανση με κατάψυξη υποβαθμίζει λιγότερο το προϊόν, ως μη θερμική μέθοδος, ενώ η ξήρανση με ψεκασμό είναι οικονομικότερη. Η σύγκριση και ο συνδυασμός των θετικών κάθε μεθόδου είναι το αποζητούμενο.

Παρόλα αυτά και οι δύο μέθοδοι υποβαθμίζουν τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Το εμπορεύσιμο γιαούρτι σε σκόνη χρησιμοποιείται κυρίως για επικαλύψεις, γემίσεις, γεύση ή ως ρόφημα. Έτσι η βελτίωση του σχηματισμού πήγματος έχει ερευνητικό ενδιαφέρον καθώς και αγοραστικό ως ένα instant (στιγμιαίο) προϊόν. Προς αυτή την κατεύθυνση βοήθησε η χρήση υδροκολλοειδών. Η χρήση τους είναι ευρεία και οι ιδιότητές τους ως πηκτικά, σταθεροποιητικά, βελτιωτικά υφής, χρώματος και γεύσης είναι γνωστές. Επιλέχθηκε η μελέτη αραβικού κόμμεος, CMC (carboxymethyl cellulose), πηκτίνης, ζελατίνης, πρωτεΐνης ορού γάλακτος, καθώς είναι πολύ κοινά κόμμεα για τη γαλακτοβιομηχανία. Η κλίμακα περιεκτικότητας διαμορφώθηκε στο 1%, 2% και 3% επί ξηρής μάζας των αντίστοιχων στερεών του εκάστοτε γιαουρτιού. Η διαμόρφωση σε αυτό το εύρος επιλέχθηκε, καθώς οι σταθεροποιητές χρησιμοποιούνται σε χαμηλές περιεκτικότητες και για να είναι πιο εύκολη η μελέτη της επίδρασης στο σύστημα. Τέλος, ένα ακόμη επίπεδο μελέτης που επιλέχθηκε ήταν η προσθήκη κόμμεων στην κύρια μάζα του γιαουρτιού πριν αυτό ξηραθεί είτε η προσθήκη κόμμεων στην ήδη ξηραθείσα σκόνη γιαουρτιού, δηλαδή προσθήκη κόμμεων μετά την ξήρανση. Η μελέτη αυτού του παράγοντα βοηθά, ώστε να βρεθεί αν είναι προτιμότερο η

προσθήκη κόμμεων να συμπεριληφθεί στην παραγωγική διαδικασία της σκόνης γιαουρτιού, ή μήπως αρκεί μία ανάμειξη σκονών πριν τη συσκευασία.

Έτσι στην παρούσα μελέτη, παρήχθησαν σκόνες γιαουρτιού που προσδιορίστηκαν ως προς το πορώδες, την ικανότητα διαβροχής, διαλυτότητας και ως προς το χρώμα τους. Ακόμη ανασυστάθηκαν οι σκόνες γιαουρτιού και αξιολογήθηκαν τα τελικά προϊόντα ως προς το pH, το ιξώδες, την υφή, την οξύτητα, τη συναίρεση και τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά.

5.2 Υλικά

5.2.1 Πρώτες Ύλες

Γιαούρτι αναμεμιγμένο τυποποιημένο από την ΦΑΓΕ Α.Ε. (total) 5% , 2%, 0% λιπαρών

Αραβικό κόμμι: (Gum Arabic from acacia tree, Sigma Life Science)

Ζελατίνη: (Gelatin from porcine skin, type a, Sigma)

Πηκτίνη: (Pectin, citrus-121 grade, Fisher Scientific)

CMC: Κάλλας Παπαδόπουλος Α.Ε.Ε.

Πρωτεΐνη ορού γάλακτος: Κάλλας Παπαδόπουλος Α.Ε.Ε.

Απιονισμένο νερό

Εμφιαλωμένο νερό

5.2.2 Αντιδραστήρια

NaOH 0,1 N

5.2.3 Εργαστηριακός Εξοπλισμός

Μηχανήματα

Ξηραντήρας Κατάψυξης: (CHRISTA 1 – 4 LDplus, CHRIST, Germany)

Ξηραντήρας Ψεκασμού: (miniSprayDryerB-191, Buchi)

Ομογενοποιητής: high speed homogenizer (CAT Unidrive 1000, CAT Scientific, Paso Robles, CA, USA)

Αναλυτήσυφής: Texture Analyzer TA-XT2i, Stable Microsystems με χρήση στελέχους CylinderProbeTA3/1000 (σχήματος κυλίνδρου, διαμέτρου 25mm και ύψους 35mm)

Ιξωδόμετρο: (Brookfield/DV-II+ Pro, USA)

Χρωματόμετρο: MINOLTA CR – 200 (Minolta Company, Chuo-Ku, Japan)

Στερεοπυκνόμετρο αερίου: (Quantacrome multipycnometer MVP-1, Boynton Beach, FL, USA)

Ενεργόμετρο: (water activity meter, pawkit, Decagon)

Ηλεκτρονικό pH-μετρο: (portablemeter-profileline pH 3310)

Φυγόκεντρος με ρύθμιση θερμοκρασίας: (Megafuge 16R , Thermoscientific)

Φυγόκεντρος: (Universal ii, Hettich)

Αναλυτικός ζυγός: (XT 220A, Precisa Instruments, Switzerland)

Ζυγός δύο δεκαδικών ψηφίων: (620C, Precisa Instruments, Switzerland)

Μίξερ (οικιακό)

Ψυγείο 5°C

Vortex

Σκεύη

Ξηραντήρας με silica

Προχοίδα 50 mL

Κόσκινο 500 μm

Σιφώνιο 5 mL με πουάρ

Πλαστικοί βαθμονομημένοι δοκιμαστικοί σωλήνες

Πλαστικές κάψουλες φυγοκέντρου

Τριβλία, Ποτήρια ζέσεως 25 mL, Κωνικές φιάλες, πιπέτες Paster

Βαζάκια 25 mL, πλαστικά κύπελα των 100mL, σπαθίδα , κουτάλι , κουταλάκια πλαστικά.

5.3 Πειραματική διαδικασία

5.3.1 Παραγωγή σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση

5.3.1.α Παρασκευή σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά την ξήρανση:

Γιαούρτι αναμεμιγμένο, τυποποιημένο (total) από τη βιομηχανία ΦΑΓΕ Α.Ε. με 0%, 2%, 5% λιπαρά απλώνεται καθένα χωριστά σε προ-ζυγισμένα, σε ζυγό δύο δεκαδικών, μικροβιολογικά τριβλία. Ακολούθως, ζυγίζεται το περιεχόμενό τους σε ζυγό δύο δεκαδικών ψηφίων και αποθηκεύονται αυτά για 1 ημέρα στους -40°C. Την επόμενη ημέρα τα τριβλία τοποθετούνται σε ξηραντήρα κατάψυξης και αφήνονται για 2 ημέρες προς ξήρανση στους -45°C και πίεση -0,05 bar, χαρακτηριστικές από τη βιβλιογραφία για την ξήρανση γαλακτοκομικών μιγμάτων. Στη συνέχεια τα αφυδατωμένα γιαούρτια παραλαμβάνονται, ζυγίζονται και αποθηκεύονται σε ξηραντήρα στους 25°C (με silica gel). Έπειτα το αφυδατωμένο γιαούρτι κονιοποιείται με τη βοήθεια μίξερ και κοσκινίζεται με κόσκινο 500μm. Συλλέγεται και αποθηκεύεται η εκάστοτε σκόνη σε κύπελα κλεισμένα με μεμβράνη τα οποία τοποθετούνται σε ξηραντήρα στους 25°C (με silica gel) μέχρι να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις. Για τη δημιουργία σκόνης με προσθήκη υδροκολλοειδών μετά την ξήρανση, με τη βοήθεια αναλυτικού ζυγού, ζυγίζεται σε πλαστικό κύπελο σκόνη γιαουρτιού 99%+ 1% υδροκολλοειδές και αντίστοιχα 98%+2%, 97%+3% υδροκολλοειδές. Έτσι δημιουργούνται δείγματα σκόνης γιαουρτιού 0% , για όλα τα κόμμεα σε όλες τις περιεκτικότητες. Το ίδιο συμβαίνει και για σκόνη γιαουρτιού 2% και 5% λιπαρών. Στη συνέχεια αναδεύονται με την βοήθεια σπαθίδας, κλείνονται με μεμβράνη και αποθηκεύονται σε ξηραντήρα μέχρι να

πραγματοποιηθούν οι ανάλογες μετρήσεις (ενεργότητα νερού, χρώμα, πορώδες, διαβροχή, διαλυτότητα).

5.3.1.β Παρασκευή σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, πριν την ξήρανση:

Σε ποτηράκια ζέσεως 25mL ζυγίζονται σε αναλυτικό ζυγό σκόνη υδροκολλοειδούς 1%,2%, 3% ως προς τα στερεά του αντίστοιχου γιαουρτιού στο οποίο θα προστεθούν και διαλύονται με 5mL, 10mL, 15mL απιονισμένου νερού αντίστοιχα για κάθε περιεκτικότητα υδροκολλοειδούς. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το νερό προστίθεται, έτσι ώστε να επιτευχθεί ομοιόμορφη προσθήκη στη μάζα του γιαουρτιού. Ακόμη η ποσότητα του νερού είναι μικρή, έτσι δεν δημιουργεί προβλήματα στην ξήρανση, ενώ δεν ενυδατώνεται πλήρως το υδροκολλοειδές, έτσι ώστε να μπορεί να ενυδατωθεί και με την υγρασία του γιαουρτιού. Στη συνέχεια αναμιγνύονται με τη βοήθεια σπαθίδας και προστίθενται στο αντίστοιχο κύπελο γιαουρτιού. Αρχικά η ανάμιξη γίνεται με τη βοήθεια σπαθίδας και στη συνέχεια το μίγμα αναδεύεται σε ομογενοποιητή στις 4.000 rpm για 10 min. Το μίγμα αφήνεται σε ηρεμία για 10 min και μετά χωρίζεται σε προζυγισμένα τριβλία. Ζυγίζονται σε ζυγό δύο δεκαδικών και τα μίγματα καταψύχονται για 1 ημέρα στους -40°C. Έπειτα ξηραίνονται για 2 ημέρες σε ξηραντήρα κατάψυξης στους -45°C και πίεση -0,05 bar. Έπειτα τα αφυδατωμένα γιαούρτια παραλαμβάνονται, ζυγίζονται σε ζυγό δύο δεκαδικών ψηφίων, κονιοποιούνται με τη βοήθεια μίξερ και κοσκινίζονται με κόσκινο 500μm. Στη συνέχεια αποθηκεύονται σε πλαστικά κύπελα, κλείνονται με μεμβράνη και τοποθετούνται σε ξηραντήρα στους 25°C (με silica gel) μέχρι να πραγματοποιηθούν οι ανάλογες μετρήσεις (ενεργότητα νερού, χρώμα, πορώδες, διαβροχή, διαλυτότητα). Στο τέλος της διαδικασίας αυτής έχουν δημιουργηθεί δείγματα σκόνης γιαουρτιού 0% , για όλα τα κόμματα σε όλες τις περιεκτικότητες. Αντίστοιχα και για σκόνη γιαουρτιού 2% και 5% λιπαρών.

5.3.2 Ανασύσταση σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, προερχόμενης από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση.

Για όλες τις ανασυστάσεις χρησιμοποιήθηκε ίδια ποσότητα στερεών ανάλογη των τελικών στερεών του εκάστοτε γιαουρτιού. Επίσης η ποσότητα του νερού με την οποία έγινε η ανασύσταση είναι ίδια με την εκάστοτε υγρασία η οποία απομακρύνθηκε από το γιαούρτι. Έτσι όλα τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 0% λιπαρών ανασυστάθηκαν με 15,25% g στερεών και 84,75% g εμφιαλωμένου νερού. Όλα τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 2% λιπαρών ανασυστάθηκαν με 16,34% g στερεών και 83,66% g εμφιαλωμένου νερού. Τέλος όλα τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 5% λιπαρών ανασυστάθηκαν με 18,56% g στερεών και 81,44% g εμφιαλωμένου νερού.

Ακόμη να σημειωθεί ότι οι συνθήκες της διαδικασίας ανασύστασης προσδιορίστηκαν ύστερα από δοκιμές για την ανασύσταση σκόνης γιαουρτιού 5% λιπαρών χωρίς υδροκολλοειδές. Ως λιγότερη υδροφιλική σκόνη και άρα πιο δύσκολη ως προς την διασπορά, δοκιμάστηκαν διαφορετικοί χρόνοι, διαφορετικές κοκκομετρίες, διαφορετικοί ομογενοποιητές, διαφορετικές στροφές κατά την ανασύστασή της και χαρακτηρίστηκαν από οργανοληπτικό έλεγχο για να βρεθεί ο καλύτερος συνδυασμός. Έτσι σκόνη γιαουρτιού 5% λιπαρών ανασυστώνται καλύτερα σε 10min, στις 4.000 rpm, σε ομογενοποιητή έχοντας κοκκομετρία 500μm σε εμφιαλωμένο νερό θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

5.3.2.α Ανασύσταση σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, προερχόμενης από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά την ξήρανση.

Σκόνη γιαουρτιού ή μίγμα σκόνης γιαουρτιού με υδροκολλοειδή, που έχει παραχθεί με τον τρόπο που αναλύθηκε παραπάνω, με το κόμμα στις αναφερόμενες περιεκτικότητες (1%, 2%, 3%) και να έχει προστεθεί ως σκόνη μετά την ξήρανση γιαουρτιού, προστίθεται σε εμφιαλωμένο νερό ίσης ποσότητας με την υγρασία που έχασε. Συγκεκριμένα από τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 0%, με ή χωρίς υδροκολλοειδές, οποιασδήποτε περιεκτικότητας, που το κόμμα έχει προστεθεί μετά την ξήρανση, ζυγίζονται σε πλαστικό κυπελάκι σε αναλυτικό ζυγό 7,62 g σκόνης γιαουρτιού. Στη συνέχεια ζυγίζεται σε άλλο πλαστικό κυπελάκι, σε αναλυτικό ζυγό εμφιαλωμένο νερό 42,375 g με τη βοήθεια πιπέτας Paster. Για τα δείγματα με 2% λιπαρά με ή χωρίς υδροκολλοειδές αντίστοιχα 8,17g σκόνης γιαουρτιού και 41,825g εμφιαλωμένου νερού. Ακόμη για τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 5% λιπαρών με ή χωρίς υδροκολλοειδές αντίστοιχα 9,28 g σκόνης γιαουρτιού και 40,715g εμφιαλωμένου νερού αντίστοιχα.

Έπειτα προσθέτοντας τη σκόνη στο νερό, το μίγμα αναδεύεται στον ομογενοποιητή στις 4000rpm για 10 min, με τη βοήθεια κυκλικών κινήσεων του χεριού για την πλανητική ανάδευση. Το πρώτο 1 min η ανάδευση ήταν ήπια σε χαμηλότερες στροφές, έτσι ώστε να διαβραχεί καλά η σκόνη και να μην κολλήσει στα τοιχώματα και σταδιακά ανέβαιναν οι στροφές, έτσι ώστε το 2min να ξεκινήσει με 4000 rpm. Μετά την ανασύσταση το μίγμα μεταφέρεται με μεμβράνη στο ψυγείο 5°C όπου ηρεμεί για μια 1h. Στη συνέχεια, σε τελικό δείγμα 50g γίνονται οι ανάλογες μετρήσεις, όλες σε θερμοκρασία 5°C (υφή, ιξώδες, οργανοληπτικός έλεγχος, pH, οξύτητα, συναίρεση).

5.3.2.β Ανασύσταση σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, προερχόμενης από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, πριν την ξήρανση.

Σκόνη γιαουρτιού ή μίγμα σκόνης γιαουρτιού με υδροκολλοειδή, που έχει παραχθεί με τον τρόπο που αναλύθηκε παραπάνω, με το κόμμα στις αναφερόμενες περιεκτικότητες (1%, 2%, 3%) και να έχει προστεθεί πριν την ξήρανση του γιαουρτιού, στην κύρια μάζα του, προστίθεται σε εμφιαλωμένο νερό ίσης ποσότητας με την υγρασία που έχασε. Συγκεκριμένα από τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 0%, με υδροκολλοειδές, οποιασδήποτε περιεκτικότητας, που το κόμμα έχει προστεθεί μετά την ξήρανση ζυγίζονται σε πλαστικό κυπελάκι σε αναλυτικό ζυγό 7,62 g σκόνης γιαουρτιού. Στη συνέχεια ζυγίζεται σε άλλο πλαστικό κυπελάκι, σε αναλυτικό ζυγό εμφιαλωμένο νερό 42,375 g με τη βοήθεια πιπέτας Paster. Για τα δείγματα με 2% λιπαρά με υδροκολλοειδές αντίστοιχα 8,17g σκόνης γιαουρτιού και 41,825g εμφιαλωμένου νερού. Ακόμη για τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 5% λιπαρών με υδροκολλοειδές αντίστοιχα 9,28 g σκόνης γιαουρτιού και 40,715g εμφιαλωμένου νερού.

Έπειτα προσθέτοντας τη σκόνη στο νερό, το μίγμα αναδεύεται στον ομογενοποιητή στις 4000rpm για 10 min, με τη βοήθεια κυκλικών κινήσεων του χεριού για την πλανητική ανάδευση. Το πρώτο 1 min η ανάδευση ήταν ήπια σε χαμηλότερες στροφές, έτσι ώστε να διαβραχεί καλά η σκόνη και να μην κολλήσει στα τοιχώματα και σταδιακά ανέβαιναν οι στροφές, έτσι ώστε το 2min να ξεκινήσει με 4000 rpm. Μετά την ανασύσταση το μίγμα μεταφέρεται με μεμβράνη στο ψυγείο 5°C όπου ηρεμεί για 1h. Στη συνέχεια, σε τελικό

δείγμα 50g γίνονται οι ανάλογες μετρήσεις, όλες σε θερμοκρασία 5°C (υφή, ιξώδες, οργανοληπτικός έλεγχος, pH, οξύτητα, συναίρεση).

5.3.3 Παραγωγή σκόνης γιαουρτιού 0% λιπαρών με ξήρανση με ψεκασμό σε διαφορετικές αραιώσεις (τροφοδοσίας) και σε διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης.

Γιαούρτι με 0% λιπαρά αραιώνεται κατά 40% w/v νωπού γιαουρτιού ή 20% w/v νωπού γιαουρτιού με απιονισμένο νερό. Το μίγμα αναδεύεται με ομογενοποιητή για 2 min στις 4000 rpm. Έπειτα με τη βοήθεια θερμαινόμενης πλάκας το μίγμα αναδεύεται συνεχώς στους 20 °C. Τα δείγματα και των δύο αραιώσεων ξηράνθηκαν σε θερμοκρασία εισόδου 170°C, 185°C και 190 °C. Στο τέλος της ξήρανσης παραλαμβάνεται η παραχθείσα σκόνη από το δοχείο δείγματος, αποθηκεύεται σε πλαστικά κυπελάκια με μεμβράνη τα οποία τοποθετούνται σε ξηραντήρα στους 25°C (με silica) μέχρι να γίνουν οι ανάλογες μετρήσεις (το χρώμα, η ενεργήτητα νερού, η διαβροχή, η ενυδάτωση, το πορώδες, το pH).

5.4 Μέθοδοι και αναλύσεις

5.4.1 Μετρήσεις και Αναλύσεις για τις παραγόμενες σκόνες

5.4.1A Μετρήσεις / αναλύσεις για την παραγόμενη σκόνη γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση.

5.4.1A.1 Μέτρηση ολικών στερεών νωπού γιαουρτιού

Τρία κυπελάκια από κάθε τύπο γιαουρτιού 0%, 2%, 5% λιπαρών απλώνεται ομοιόμορφα σε προζυγισμένα μικροβιολογικά τριβλία. Στη συνέχεια ξαναζυγίζονται, σε ζυγό δύο δεκαδικών ψηφίων και καταψύχονται στους -40°C για 1 ημέρα. Έπειτα τοποθετούνται στον ξηραντήρα κατάψυξης όπου ξηραίνονται για 2 ημέρες. Ακολούθως τα σφυδατωμένα γιαούρτια παραλαμβάνονται και ζυγίζονται. Η διαφορά των μικτών βαρών αποτελεί την υγρασία του γιαουρτιού. Η διαφορά του μικτού τελικού βάρους (σκόνη γιαουρτιού και τριβλίο) με το βάρος των τριβλίων αποτελεί τα ολικά στερεά του γιαουρτιού. Σύμφωνα με αυτή την μέτρηση έγινε ο σχεδιασμός των πειραμάτων ανασύστασης και ο έλεγχος κάθε παρτίδας που παραλαμβανόταν και ξηραινόταν.

5.4.1A.2 Μέτρηση ενεργότητας νερού (a_w)

Ο προσδιορισμός της ενεργότητας του νερού έγινε με τη βοήθεια φορητού ενεργόμετρου. Ποσότητα σκόνης γιαουρτιού προστίθεται στο μεταλλικό αντικειμενοφόρο, ώστε να καλύψει ομοιόμορφα όλη την επιφάνειά του και ως το μισό του πάχους του. Πριν από κάθε σειρά μετρήσεων βαθμονομούνται πρότυπες αμπούλες 0,250 και 0,760 ενεργότητας νερού, από την Decagon.

5.4.1A.3 Μέτρηση διαβροχής

Σε βαθμονομημένο δοκιμαστικό σωλήνα προστίθεται 1 g σκόνης ή μίγματος σκόνης γιαουρτιού και στην συνέχεια 5 mL απιονισμένου νερού με σιφώνιο. Το μίγμα αναδεύεται για 5s σε vortex. Τέλος οι σωλήνες φυγοκεντρώνονται για 10 min στο 90% της ισχύος της φυγοκέντρου, χωρίς θερμοκρασία και μετράται η διαφορά του όγκου του υπερκείμενου υγρού. Η διαβροχή μετρήθηκε ως mL συγκράτησης νερού από τη σκόνη.

5.4.1A.4 Μέτρηση Διαλυτότητας

Σε βαθμονομημένο δοκιμαστικό σωλήνα προστίθεται 1 g σκόνης ή μίγματος σκόνης γιαουρτιού και στη συνέχεια 5 mL απιονισμένου νερού με σιφώνιο. Το μίγμα αναδεύεται για 5 σε vortex. Τέλος, οι σωλήνες φυγοκεντρώνονται για 10 min στο 90% της ισχύος της φυγοκέντρου, χωρίς θερμοκρασία. Το υπερκείμενο υγρό εκχύνεται σε προ ζυγισμένο βαζάκι 25mL. Ακολούθως προστίθενται άλλα 5 mL απιονισμένου νερού με τη βοήθεια σιφώνιού και αναδεύεται σε vortex για 10s και άλλα 10s με διάλειμμα 10 s ενδιάμεσα. Στη συνέχεια το δείγμα φυγοκεντρείται για 10 min στο 90% της ισχύος και τέλος προστίθεται το υπερκείμενο υγρό στο αντίστοιχο προ-ζυγισμένο βαζάκι. Τα βαζάκια ξανά ζυγίζονται και τοποθετούνται σε φούρνο στους 105°C για όλη την νύχτα μέχρι σταθερού βάρους όπου και ζυγίζονται. Ως διαλυτότητα υπολογίζονται τα g της σκόνης που απέμειναν προς τα g του υπερκείμενου υγρού που παραλήφθηκε.

5.4.1A.5 Μέτρηση πορώδους

Ο υπολογισμός του πορώδους έγινε με τον τύπο $\epsilon = 1 - \rho_a/\rho_p$, όπου ρ_a = φαινόμενη πυκνότητα και ρ_p = πραγματική πυκνότητα. Ακόμη $\rho_a = m/V_a$ και $\rho_p = m/V_p$, όπου m = μάζα του δείγματος, V_a =φαινόμενος όγκος, V_p = πραγματικός όγκος. Για τον προσδιορισμό της φαινόμενης πυκνότητας ζυγίστηκε σε ογκομετρικό κύλινδρο, σε αναλυτικό ζυγό 1 g σκόνης. Έπειτα χτυπήθηκε 32 φορές/min επί 2 min πάνω σε κουτί και καταγράφηκε ο φαινόμενος όγκος. Ο πραγματικός όγκος των υλικών προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας στερεοπυκνόμετρο αερίου (Quantacrome multipycnometer MVP-1, Boynton Beach, FL, USA) ακριβείας 0.001 cm³. Ως αέριο χρησιμοποιήθηκε ήλιο (He) και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

5.4.1A.6 Μέτρηση Χρώματος

Οι μετρήσεις του χρώματος των δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν με το χρωματόμετρο MINOLTA CR-200 (Minolta Company, Chuo-Ku, Japan). Η χρωματική κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η CIE Lab (Commission International de l'Eclairage) με χρωματικούς δείκτες: L, a, b. Πριν από κάθε μέτρηση, πραγματοποιείται βαθμονόμηση του οργάνου με τη βοήθεια ειδικής λευκής πλάκας (L = 97,50, a = - 0,31, b = - 3,83). Οι μετρήσεις γίνονται σε αντιπροσωπευτική περιοχή του δείγματος με τη βοήθεια μικρού γυάλινου τριβλίου που τοποθετείται στην επιφάνεια της σκόνης και στο οποίο στηρίζεται το χρωματόμετρο. Η κάθε μέτρηση επαναλαμβάνεται τρεις φορές. Η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE προκύπτει από τις παραμέτρους L, a, b και την παρακάτω εξίσωση:

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2}, \text{ όπου } L_0, a_0, b_0 \text{ οι παράμετροι του αρχικού δείγματος.}$$

5.4.1.B Μετρήσεις / αναλύσεις για την παραγόμενη σκόνη γιαουρτιού 0% που έχει παραχθεί με ξήρανση με ψεκάσμο

Οι μετρήσεις των σκόνων που παρήχθησαν με ξήρανση με ψεκάσμο ακολουθούν τις ίδιες μεθόδους με τις σκόνες που παρήχθησαν με ξήρανση υπό κατάψυξη, όσον αφορά τον προσδιορισμό της διαβροχής, της διαλυτότητας, του χρώματος και του πορώδους. Ειδικά για το pH των σκόνων αυτών, η μέτρηση έγινε με ηλεκτρονικό pH-μετρο σε μίγμα που παρήχθη με τον παρακάτω τρόπο. Σκόνη 1g προστίθεται σε δοκιμαστικό σωλήνα και στη συνέχεια προστίθενται 5 mL απιονισμένου νερού. Έπειτα το μίγμα αναδεύεται σε vortex για 25 s. Το μίγμα μεταγγίζεται σε ποτήρι ζέσεως 25 mL, όπου προστίθενται άλλα 10 mL απιονισμένου νερού και αναδεύονται όλα μαζί με σπαθίδα. Τέλος το δείγμα μεταφέρεται στο ψυγείο για 1h, έτσι ώστε το pH να μετρηθεί στους 5°C.

5.4.2 Μετρήσεις και αναλύσεις για την ανασυσταμένη σκόνη γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, προερχόμενης από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση.

5.4.2.1 Προσδιορισμός pH

Για τον προσδιορισμό του pH χρησιμοποιείται ηλεκτρονικό pH-μετρο το οποίο λαμβάνει μετρήσεις σε πλήρως ανασυσταμένο γιαούρτι σε θερμοκρασία 5°C.

5.4.2.2 Προσδιορισμός ιξώδους

Το ιξώδες μετράται με τη χρήση του περιστροφικού ιξωδόμετρου (Brookfield/DV-II+ Pro, USA) στις 50rpm με το στέλεχος S96 σε πλήρως ανασυσταμένο γιαούρτι στους 5°C.

5.4.2.3 Προσδιορισμός Ικανότητας Συγκράτησης Ύδατος του πηγματος (Water Holding Capacity, WHC)

Ο προσδιορισμός της ικανότητας συγκράτησης ύδατος (προσδιορισμός της συναίρεσης) του πηγματος έγινε με φυγοκέντρηση. Συγκεκριμένα, για κάθε δείγμα ανασυσταμένου γιαουρτιού ζυγίστηκε συγκεκριμένη ποσότητα γιαουρτιού και οδηγήθηκε προς φυγοκέντρηση στις 5000rpm για 5min στους 4°C. Στη συνέχεια, ζυγίστηκε ο ορός που αποβάλλεται από το γιαούρτι και ο υπολογισμός της ικανότητας συγκράτησης νερού δίνεται από τον τύπο:

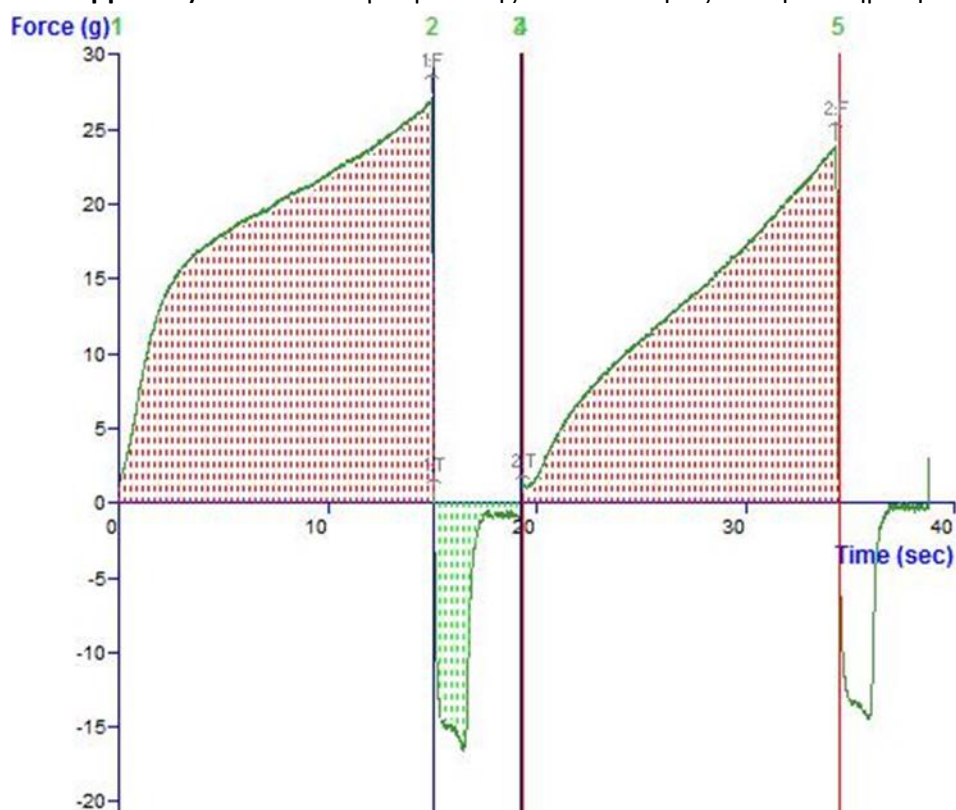
$$WHC = \frac{\text{Μάζα Γιαουρτιού (g)} - \text{Μάζα Ορού (g)}}{\text{Μάζα Γιαουρτιού (g)}}$$

5.4.2.4 Ανάλυση Υφής

Οι αναλύσεις υφής των δειγμάτων ανασυσταμένου γιαουρτιού έγιναν με τη συσκευή Texture Analyzer TA-XT2i, Stable Microsystems με χρήση του στελέχους Cylinder Probe TA3/1000 (σχήματος κυλίνδρου, διαμέτρου 25mm και ύψους 35mm). Η λειτουργία της συσκευής

συνίσταται στην πίεση του τροφίμου, διαδοχικά 2 φορές από το κυλινδρικό στέλεχος, κατ' απομίμηση της μηχανικής καταπόνησης που υφίσταται το τρόφιμο στο στόμα κατά τη μάσηση, και στη μέτρηση της εφαρμοζόμενης δύναμης. Οι παράγοντες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της αντικειμενικής υφής είναι:

- **Σκληρότητα:** Η απαιτούμενη δύναμη για να συμπιεστεί ένα τρόφιμο μεταξύ των γομφίων του στόματος. Στο διάγραμμα αντιστοιχεί στη μέγιστη κορυφή που παρουσιάζεται κατά την πρώτη διείσδυση του στελέχους στο τρόφιμο.
- **Συνεκτικότητα:** Η δύναμη των δεσμών που συγκροτούν ένα τρόφιμο. Εκφράζεται ως ο λόγος του έργου της δεύτερης συμπίεσης προς το έργο της πρώτης συμπίεσης. Στο διάγραμμα αντιστοιχεί στο λόγο των εμβαδών $\frac{E3}{E1}$.
- **Προσκολλησιμότητα:** Η ενέργεια που απαιτείται για να αποκολληθεί ένα τρόφιμο από μία επιφάνεια. Στο διάγραμμα αντιστοιχεί στο εμβαδόν E_2 .
- **Κομμώδες :** αποτελεί το γινόμενο της συνεκτικότητας επί την σκληρότητα.



Διάγραμμα 5.1: Τυπικό διάγραμμα ανάλυσης υφής σε γιαούρτι

5.4.2.5 Οξύτητα

Για τη μέτρηση της οξύτητας ζυγίζονται σε κωνική φιάλη 10g ανασυσταμένου γιαουρτιού, σε ζυγό δύο δεκαδικών ψηφίων. Στη συνέχεια προστίθενται 10 mL απιονισμένου νερού, μερικές σταγόνες φαινολοφθαλεΐνης και το μίγμα τιτλοδοτείται. Η οξύτητα εκφράζεται σε γαλακτικό οξύ % κατά βάρος του γιαουρτιού.

5.4.2.6 Οργανοληπτικός Έλεγχος

Κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο συμπληρώθηκε το έντυπο που φαίνεται παρακάτω για πλήρως ανασυσταμένο γιαούρτι σε θερμοκρασία 4 C. Η κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε είναι από το 1 έως το 10. Η κλίμακα έντασης έχει ως 10 το πλήρως αποδεκτό εκτός από την άλλη γεύση και άλλο άρωμα που προσδιορίζει την ένταση κάθε χαρακτηριστικού. Για παράδειγμα συναίρεση 10 σημαίνει καθόλου συναίρεση, χρώμα 10 είναι το λευκό, ενώ άλλο άρωμα 1 σημαίνει κανένα άλλο άρωμα ενώ 10, πλήρης επικάλυψη του αρώματος με άλλο άρωμα.

Η εμφάνιση χαρακτηρίστηκε ως προς το πήγμα και τη συναίρεση. Ο χαρακτηρισμός έγινε με οπτική εκτίμηση και με τη βοήθεια του πίσω μέρους του κουταλιού κοντά στα τοιχώματα του κυπέλου.

Η υφή στο κουτάλι χαρακτηρίστηκε ως προς τη φινέτσα (οπτική υφή) , δηλαδή τη φυσική γυαλάδα του γιαουρτιού καθώς και την κοκκώδη υφή στο κουτάλι. Ο χειρισμός του κουταλιού του γλυκού έγινε όπως περιεγράφηκε παραπάνω.

Η υφή στο στόμα χαρακτηρίστηκε ως προς τα αδιάλυτα στερεά, τα συσσωματώματα και τη λιπαρότητα. Η κουταλιά μεταφέρεται στον ουρανίσκο και τρίβεται για τον προσδιορισμό των αδιάλυτων στερεών. Στη συνέχεια η γλώσσα κατεβαίνει κάτω και μετά ακουμπά περιφερειακά τα ούλα της πάνω γνάθου για τον προσδιορισμό συσσωματωμάτων. Τέλος, η λιπαρότητα προσδιορίζεται με περιδίνηση της μπουκιάς γύρω από τη γλώσσα.

Το χρώμα προσδιορίζεται στο κύπελο, ενώ έχει τοποθετηθεί πάνω σε λευκό χαρτί.

Η γεύση χαρακτηρίστηκε ως προς την όξινη γεύση του γιαουρτιού και ως προς άλλη γεύση, το ίδιο και το άρωμα.

Τέλος, ζητήθηκε ο χαρακτηρισμός των δειγμάτων ως προς την προσωπική τους αρέσκεια.

Οργανοληπτικός Έλεγχος	
Τρόπος Ξήρανσης-Τρόπος Ανασύστασης	
Όνομα Δοκιμαστή	
Ημερομηνία	

Χαρακτηριστικά	Επιλογές	Ένταση										Παρατηρήσεις	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Εμφάνιση	Πήγμα/Ρευστότητα	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	Συναίρεση	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Υφή	Στο Κουτάλι	Φινέτσα	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		Κοκκώδης	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Στο Στόμα	Αδιάλυτα στερεά	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		Συσσωματώματα/Κοκκώδης	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		Λιπαρότητα	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Χρώμα	Λευκό	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Γεύση	Όξινη του Γιαουρτιού	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	Άλλη	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Άρωμα	Γιαουρτιού	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	Άλλο	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		

Εικόνα 5.1: Φύλλο Οργανοληπτικού Ελέγχου

5.5 Σχεδιασμός Πειραμάτων

Στην παρούσα διπλωματική εργασία το πειραματικό μέρος χωρίζεται σε 3 σειρές πειραμάτων.

Σειρά 1^η : Παραγωγή σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση

Στάδιο 1^α: Παραγωγή σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά την ξήρανση

Στάδιο 1^β: Παραγωγή σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, πριν την ξήρανση

Στο τέλος κάθε σταδίου αξιολογήθηκαν οι παραχθείσες σκόνες ως προς την ενεργότητα του νερού, τη διαβροχή, τη διαλυτότητα, το πορώδες και το χρώμα τους.

Σειρά 2^η : Ανασύσταση σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, προερχόμενης από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση.

Στάδιο 2^α: Ανασύσταση σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, προερχόμενης από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά την ξήρανση.

Στάδιο 2^β: Ανασύσταση σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, προερχόμενης από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, πριν την ξήρανση.

Στο τέλος κάθε σταδίου τα ανασυσταμένα γιαούρτια αξιολογήθηκαν ως προς το pH, το ιξώδες, την ικανότητά τους για συγκράτηση νερού (συναίρεση), τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά της υφής τους, την οξύτητά τους και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους.

Σειρά 3^η: Παραγωγή σκόνης γιαουρτιού 0% λιπαρών με ξήρανση με ψεκασμό σε διαφορετικές αραιώσεις (τροφοδοσίας) και σε διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης.

Στο τέλος της σειράς αξιολογήθηκαν οι παραχθείσες σκόνες ως προς την ενεργότητα του νερού, τη διαβροχή, τη διαλυτότητα, το πορώδες, το χρώμα και το pH τους.

Παρακάτω παρατίθεται σχετικό διάγραμμα του σχεδιασμού.

ΣΕΙΡΑ 1 ^η	Παραγωγή σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση	
Στάδιο 1α	Παραγωγή σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά την ξήρανση	
Λιπαρά Γιαουρτιού	Είδος Κόμμεος	Περιεκτικότητα κόμμεος % των στερεών του γιαουρτιού
0%	Αραβικό	1%,2%,3%
	CMC	1%,2%,3%
	Πηκτίνη	1%,2%,3%
	Ζελατίνη	1%,2%,3%
	Πρωτεΐνη ορού γάλακτος	1%,2%,3%
2%	Αραβικό	1%,2%,3%
	CMC	1%,2%,3%
	Πηκτίνη	1%,2%,3%
	Ζελατίνη	1%,2%,3%
	Πρωτεΐνη ορού γάλακτος	1%,2%,3%
5% (πλήρες)	Αραβικό	1%,2%,3%
	CMC	1%,2%,3%
	Πηκτίνη	1%,2%,3%
	Ζελατίνη	1%,2%,3%
	Πρωτεΐνη ορού γάλακτος	1%,2%,3%
Στάδιο 1β	Παραγωγή σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, πριν την ξήρανση	
Λιπαρά Γιαουρτιού	Είδος Κόμμεος	Περιεκτικότητα κόμμεος % των στερεών του γιαουρτιού
0%	Αραβικό	1%,2%,3%
	CMC	1%,2%,3%
	Πηκτίνη	1%,2%,3%
	Ζελατίνη	1%,2%,3%
	Πρωτεΐνη ορού γάλακτος	1%,2%,3%
2%	Αραβικό	1%,2%,3%
	CMC	1%,2%,3%
	Πηκτίνη	1%,2%,3%
	Ζελατίνη	1%,2%,3%
	Πρωτεΐνη ορού γάλακτος	1%,2%,3%
5%(πλήρες)	Αραβικό	1%,2%,3%
	CMC	1%,2%,3%
	Πηκτίνη	1%,2%,3%
	Ζελατίνη	1%,2%,3%

	Πρωτεΐνη ορού γάλακτος	1%,2%,3%
--	------------------------	----------

Σειρά 2 ^η	Ανασύσταση σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, προερχόμενης από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση.	
Στάδιο 2 ^α	<i>Ανασύσταση σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, προερχόμενης από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά την ξήρανση.</i>	
Λιπαρά Γιαουρτιού	Είδος Κόμμεος	Περιεκτικότητα κόμμεος % των στερεών του γιαουρτιού
0%	Αραβικό	1%,2%,3%
	CMC	1%,2%,3%
	Πηκτίνη	1%,2%,3%
	Ζελατίνη	1%,2%,3%
	Πρωτεΐνη ορού γάλακτος	1%,2%,3%
2%	Αραβικό	1%,2%,3%
	CMC	1%,2%,3%
	Πηκτίνη	1%,2%,3%
	Ζελατίνη	1%,2%,3%
	Πρωτεΐνη ορού γάλακτος	1%,2%,3%
5% (πλήρες)	Αραβικό	1%,2%,3%
	CMC	1%,2%,3%
	Πηκτίνη	1%,2%,3%
	Ζελατίνη	1%,2%,3%
	Πρωτεΐνη ορού γάλακτος	1%,2%,3%
Στάδιο 2 ^β	<i>Ανασύσταση σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, προερχόμενης από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, , σε διαφορετικές περιεκτικότητες, πριν την ξήρανση.</i>	
Λιπαρά Γιαουρτιού	Είδος Κόμμεος	Περιεκτικότητα κόμμεος % των στερεών του γιαουρτιού
0%	Αραβικό	1%,2%,3%
	CMC	1%,2%,3%
	Πηκτίνη	1%,2%,3%
	Ζελατίνη	1%,2%,3%
	Πρωτεΐνη ορού γάλακτος	1%,2%,3%
2%	Αραβικό	1%,2%,3%
	CMC	1%,2%,3%
	Πηκτίνη	1%,2%,3%
	Ζελατίνη	1%,2%,3%

	Πρωτεΐνη ορού γάλακτος	1%,2%,3%
5% (πλήρες)	Αραβικό	1%,2%,3%
	CMC	1%,2%,3%
	Πηκτίνη	1%,2%,3%
	Ζελατίνη	1%,2%,3%
	Πρωτεΐνη ορού γάλακτος	1%,2%,3%

Σειρά 3^η	Παραγωγή σκόνης γιαουρτιού 0% λιπαρών με ξήρανση με ψεκασμό σε διαφορετικές αραιώσεις (τροφοδοσίας) και σε διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης	
Λιπαρά γιαουρτιού	Αραίωση % w/v	Tin °C
0%	40%	170°C
		185°C
		190°C
0%	20%	170°C
		185°C
		190°C

Κεφάλαιο 6 : Αποτελέσματα – Σχολιασμός

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διεξαγωγή πειραμάτων και την επεξεργασία των δεδομένων των μετρήσεων. Τα αποτελέσματα κρίνεται απαραίτητο να ομαδοποιηθούν και να παρουσιαστούν με βάση το σχεδιασμό που αναλύθηκε παραπάνω. Για καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων τα διαγράμματα θα παρατίθενται ανά εξάδες και με διαφορετικό χρωματισμό ανά περιεκτικότητα λιπαρού του γιαουρτιού. Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων με την βοήθεια του προγράμματος STATISTICA 12.

6.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων των μετρήσεων για σκόνη γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που παρήχθη με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 1^η)

Στην παρούσα ενότητα τα διαγράμματα παρουσιάζονται ανά ιδιότητα για δείγματα σκόνης γιαουρτιού που έχουν κοινή περιεκτικότητα σε λιπαρά (0%,2%,5%). Κάθε περιεκτικότητα σε λιπαρά παρουσιάζεται με χαρακτηριστικό χρώμα. Σε κάθε μπάρα των διαγραμμάτων αναφέρεται από κάτω το δείγμα στο οποίο αναφέρεται, το κόμμα και η περιεκτικότητα που έχει χρησιμοποιηθεί. Για καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται τα διαγράμματα ανά εξάδες. Η τριάδα της πρώτης σειράς αναφέρεται σε σκόνες γιαουρτιού που έχουν παραχθεί με ξήρανση υπό κατάψυξη και τα διαφορετικά κόμματα, στις διαφορετικές περιεκτικότητες έχουν προστεθεί στην σκόνη του αντίστοιχου γιαουρτιού μετά την ξήρανση (στάδιο 1^α). Ενώ τα διαγράμματα της κάτω σειράς αναφέρονται σε δείγματα που έχουν επίσης ξηραθεί υπό κατάψυξη και τα διαφορετικά κόμματα που περιέχουν, στις διαφορετικές περιεκτικότητες, έχουν προστεθεί στην κύρια μάζα του γιαουρτιού πριν την ξήρανση (στάδιο 1^β).

6.1.1 Ενεργότητα νερού (a_w)

Όπως παρατηρείται από τα διαγράμματα 6.1.1 η προσθήκη κόμμεων μετά την ξήρανση σαφώς δεν επηρεάζει την ενεργότητα του νερού της σκόνης του γιαουρτιού. Ακόμη η μεταβολή από 0,25 με 0,35 που παρουσίασε η προσθήκη κόμματος συγκαταλέγεται μέσα στα αποδεκτά όρια της ξήρανσης. Από την ανάλυση διακύμανσης για την ενεργότητα του νερού συμπεραίνεται ότι η επίδραση στην ενεργότητα του νερού της σκόνης γιαουρτιού έχουν τα λιπαρά του γιαουρτιού και η προσθήκη κόμματος πριν ή μετά την ξήρανση. Ακόμη από την στατιστική επεξεργασία αποδείχθηκε ότι υψηλότερες τιμές a_w παρουσιάζουν τα δείγματα με 5% λιπαρά και στη συνέχεια αυτά με 2% και με 0%. Οι τιμές a_w των δειγμάτων ανάλογα με την περιεκτικότητα σε λιπαρά παρουσιάζουν σημαντικά διαφορετικές τιμές μεταξύ τους. Τέλος, η διαδικασία προσθήκης των κόμμεων πριν την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την προσθήκη των κόμμεων μετά την ξήρανση.

Η παρουσία των λιπαρών κατά την κατάψυξη προκαλεί ανομοιομορφίες στην κρυστάλλωση. Η διόγκωση του νερού προκαλεί αλλαγή των δυνάμεων ισορροπίας του γαλακτώματος, άρα μπορεί να υποτεθεί ότι δημιουργούνται μερικές μικρές περιοχές γύρω ή ενδιάμεσα από τα λιπαρά όπου υπάρχει νερό που δεν κρυσταλλώνεται και άρα δεν μπορεί να διαφύγει κατά την εξάχνωση και την εκροή, καθώς και το πρωτεϊνικό πλέγμα κατά την δευτερογενή ξήρανση μπορεί να αποτελέσει ένα επιπλέον εμπόδιο για αυτή την ποσότητα του νερού.

Με την ίδια λογική μπορεί να εξηγηθεί και η μικρή τάση αύξησης της ενεργότητας με προσθήκη των υδροκολλοειδών. Παρόλο που η αύξηση στερεών, με προσθήκη ίδιας σκόνης τρόφιμου, στη βιβλιογραφία έχει δείξει ότι αυξάνει την απόδοση της ξήρανσης, εδώ μπορεί να υποτεθεί ότι η πάχυνση, αύξηση ιξώδους με υδροκολλοειδή, εμποδίζει λίγο τη δημιουργία διαδρομών για εύκολο απεγκλωβισμό του νερού. Τέλος η συνεργιστική δράση προς αύξηση της ενεργότητας νερού, των υδροκολλοειδών που έχουν ενεργοποιηθεί μέσα στο πήγμα του γιαουρτιού με τα λιπαρά φαίνεται και από την αυξητική τάση των διαγραμμάτων των δειγμάτων στα οποία το κόμμι προστέθηκε πριν την ξήρανση. Αυτό ίσως είναι ένα δείγμα της υπόθεσης που γίνεται για εξήγηση των βελτιωμένων ιδιοτήτων που έχουν τα δείγματα με 5% λιπαρά με προσθήκη κόμμιος πριν την ξήρανση, όπως θα φανεί και παρακάτω. Ενδεχομένως τα υδροκολλοειδή δημιουργούν κοιλότητες για τα λιπαρά και βοηθούν να συμπεριφερθούν με τον ίδιο τρόπο που συμπεριφέρονται τα υδροκολλοειδή.

Για άλλη μία φορά βέβαια θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μέθοδος της ξήρανσης με κατάψυξη είναι μία πολύ αποδοτική μέθοδος, και αυτό το εύρος τιμών της a_w δεν δημιουργεί προβλήματα ποιότητας στο τελικό προϊόν.

6.1.2 Διαβροχή

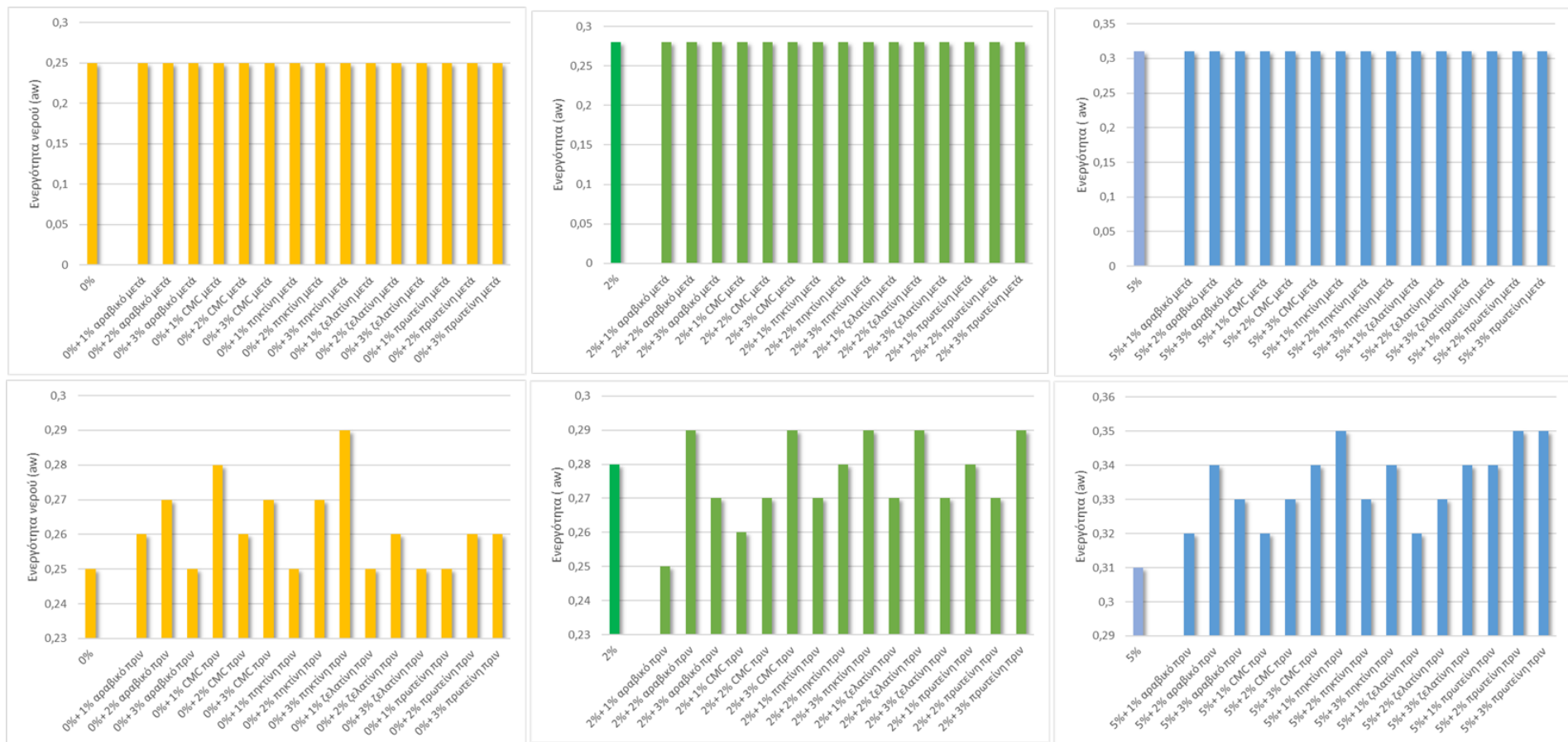
Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 6.1.2 όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε λιπαρά του γιαουρτιού μειώνεται η διαβροχή της σκόνης γιαουρτιού. Στην ίδια κατεύθυνση κινούνται και τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για τη διαβροχή. Παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π.23) συμπεραίνεται ότι επίδραση στη διαβροχή έχουν τα λιπαρά, το είδος του κόμμιος και η προσθήκη του πριν ή μετά την ξήρανση. Ακόμη αποδείχθηκε ότι υψηλότερες τιμές, παρουσιάζουν τα δείγματα με 0% λιπαρά και στη συνέχεια εκείνα με 2% και με 5% λιπαρά. Οι τιμές για 0% και 2% λιπαρά είναι σημαντικά διαφορετικές σε σχέση με τις τιμές του 5% λιπαρών. Σημαντικά υψηλότερη τιμή διαβροχής παρουσίασε η πηκτίνη και χαμηλότερη τιμή η πρωτεΐνη ορού γάλακτος. Τέλος, η διαδικασία προσθήκης κόμμιος μετά την ξήρανση οδήγησε σε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την προσθήκη κόμμιος πριν την ξήρανση.

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι διαβροχής διαγράφουν μία τάση και δίνουν συγκριτικά αποτελέσματα μέσα σε ένα σταθερό πλαίσιο ελέγχου που έχει οριστεί. Πιο ακριβείς μέθοδοι είναι οι μέθοδοι που μετρούν γωνίες. Μέθοδοι στις οποίες προστίθεται η σκόνη από πάνω έχουν ως πρόβλημα το ότι παρεμβαίνει στον προσδιορισμό η ικανότητα της σκόνης να διαπεράσει το νερό. Άρα λόγω του ότι οι σκόνες που θα προσδιορίζονταν είχαν μικρό μέγεθος και είχαν υδρόφοβα συστατικά, επιλέχθηκε η διαβροχή να μελετηθεί ως προς τα mL που συγκρατούνται από τη σκόνη όπως περιγράφεται παραπάνω, για να μην εξαιρεθούν τα δείγματα με λιπαρά. Ακόμη έχει αναφερθεί ότι μέθοδοι που περιλαμβάνουν σταδιακές αναδεύσεις-φυγοκεντρήσεις παρουσιάζουν προβλήματα αφρισμού και διαχωρισμό τριών φάσεων. Η έντονη ανάδευση μπορεί να δημιουργήσει αφρό που παρεμποδίζεται με την προσθήκη μικρού αντι-αφριστικού. Στις φυγοκεντρήσεις από την άλλη, τα πιο υδρόφοβα ή τα πολύ μικρότερα σε μέγεθος σωματίδια μεταφέρονται στο πάνω μέρος του υγρού. Λύση σε αυτό το πρόβλημα μπορεί να είναι το φιλτράρισμα. Στην παρούσα μελέτη ορίστηκε ως ανώτερη ένδειξη, η ένδειξη κάτω από τη φάση των αιωρημάτων. Έτσι οι διαφορές των 25mL δεν κρίνονται σημαντικές. Η μεγάλη αύξηση της διαβροχής των δειγμάτων με 5% λιπαρά, με προσθήκη πηκτίνης μετά την ξήρανση, δεν αποδίδονται σε μείωση της υδροφιλικότητας του μίγματος, αλλά σε γρήγορη πάχυνση του υδροκολλοειδούς. Ακόμη πρέπει παρατηρηθεί ότι μπορεί η διαβροχή των δειγμάτων στα οποία είχε προστεθεί το κόμμι μετά την ξήρανση να έχει καλύτερα αποτελέσματα, όμως η παρουσία δύο ταχυτήτων ενυδάτωσης και

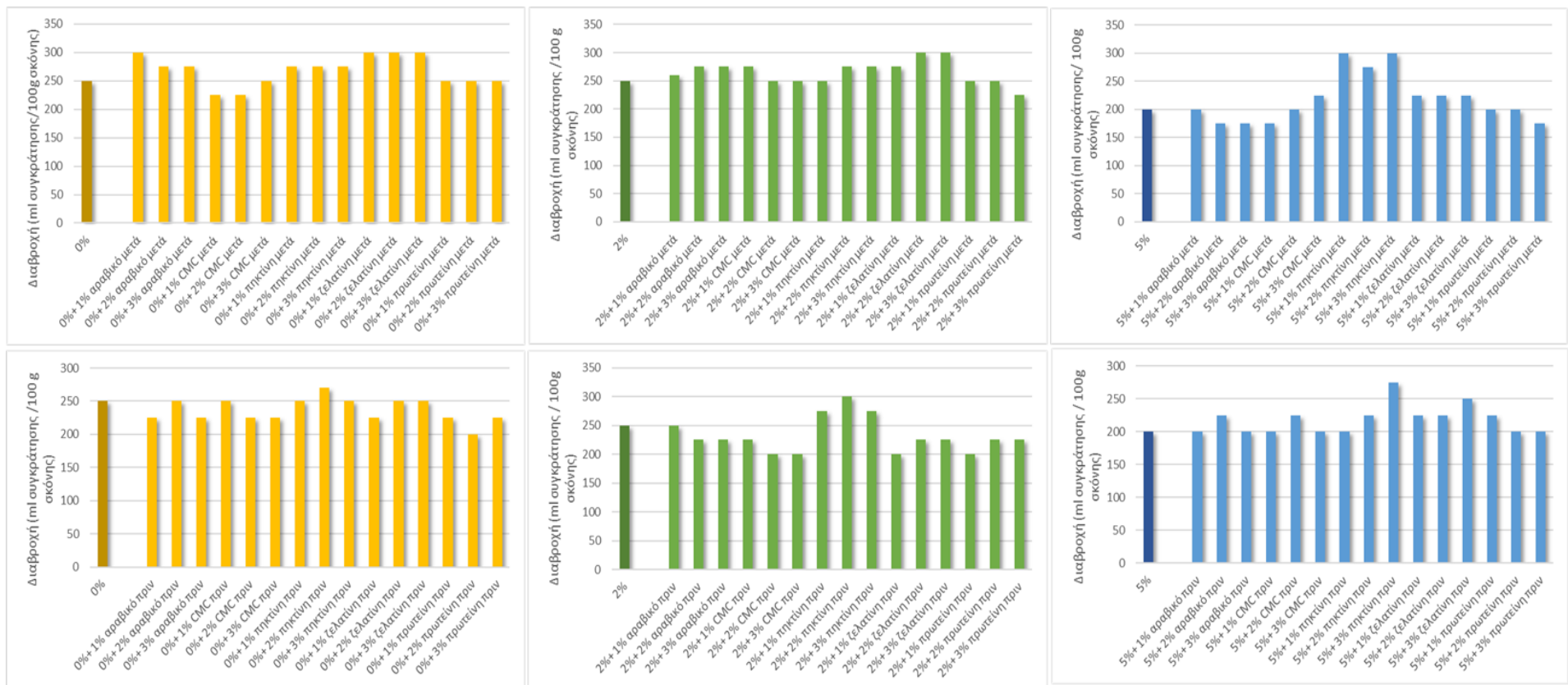
διαφορετικών κοκκομετριών μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην ανασύσταση της σκόνης. Ακόμη έχει παρουσιαστεί από τη βιβλιογραφία ότι η ύπαρξη διαφορετικών κόκκων σε ένα μίγμα σκονών έχει ως συνέπεια ανομοιογενή υποβάθμιση κατά την αποθήκευση, το οποίο έχει σημαντική επίδραση στη διαβροχή και κατ' επέκταση στην ανασύσταση. Το σημαντικότερο ήταν η αύξηση της διαβροχής στα δείγματα 5% λιπαρών με προσθήκη κόμμεος. Αυτό αποτελεί άλλη μία ένδειξη της υπόθεσης αλληλεπίδρασης λιπαρών και υδροκολλοειδών. Τέλος, όσον αφορά την κακή συμπεριφορά διαβροχής της πρωτεΐνης ορού γάλακτος μπορεί να οφείλεται σε υδροφοβικά τμήματά της, όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3.



Εικόνα 3: Δείγματα κατά τη μέτρηση της διαβροχής. Από αριστερά προς τα δεξιά σκόνη γιαουρτιού με ξήρανση υπό κατάψυξη με 0% λιπαρά, 2% λιπαρά και 5% λιπαρά. Στο μεσαίο δείγμα τα λιπαρά έχουν κολλήσει στα τοιχώματα και λίγα επιπλέουν, ενώ στο δεξί δείγμα φαίνεται ξεκάθαρα ο διαχωρισμός των λιπαρών.



Διαγράμματα 6.1.1: Διαγράμματα ενεργότητας νερού σε σκόνη γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που παρήχθη με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκolloειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 1^ο)



Διαγράμματα 6.1.2: Διαγράμματα ικανότητας διαβροχής σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που παρήχθη με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 1^ο)

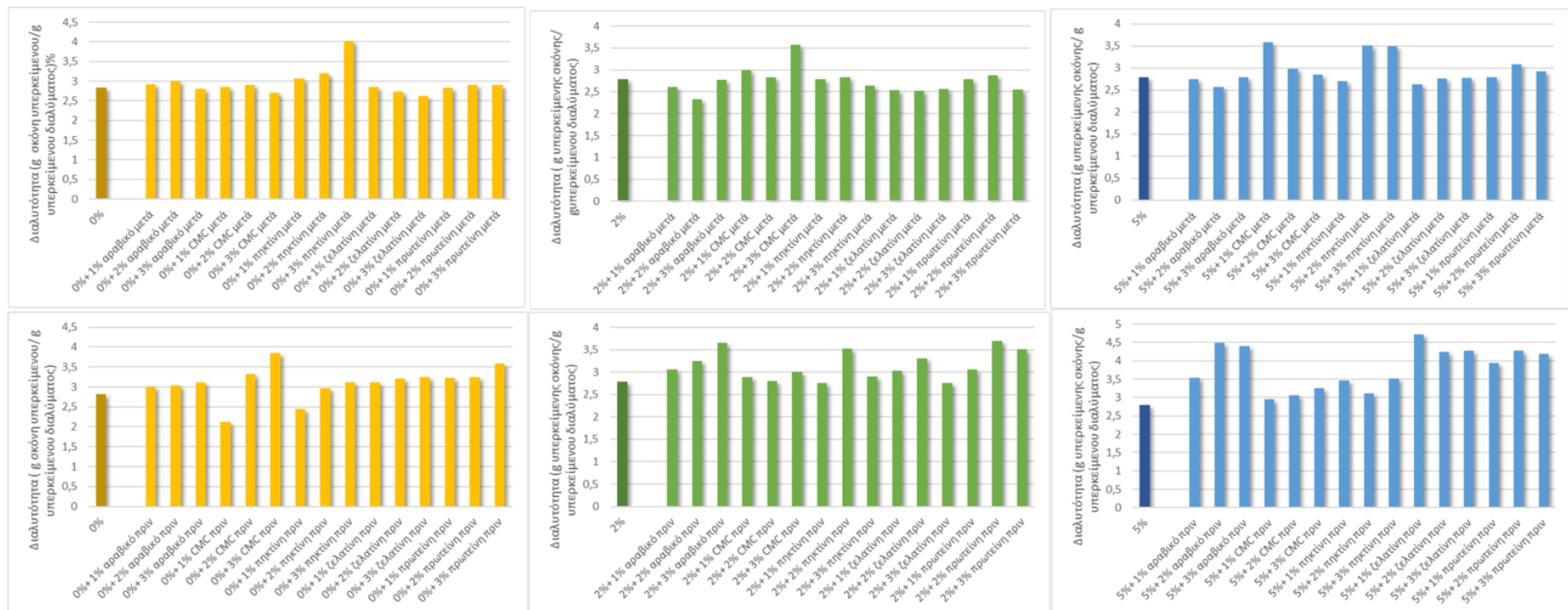
6.1.3 Διαλυτότητα

Από την ανάλυση διακύμανσης για τη διαλυτότητα, παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π24) συμπεραίνεται ότι επίδραση στη διαλυτότητα έχουν τα λιπαρά και η προσθήκη κόμμεος πριν ή μετά την ξήρανση. Ακόμη, αποδείχθηκε ότι υψηλότερες τιμές, παρουσιάζουν τα δείγματα με 5% λιπαρά και στη συνέχεια εκείνα με 0% και με 2% λιπαρά. Τέλος, η διαδικασία προσθήκης κόμμεων πριν την ξήρανση οδήγησε σε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την προσθήκη κόμμεων μετά την ξήρανση.

Η διαλυτότητα έχει οριστεί στην παρούσα μελέτη ως στάδιο πριν τη δημιουργία πήγματος και πρακτικά αποτελεί μία συνέχιση της διαδικασίας της διαβροχής. Για μελέτες που μετρούν σκόνης ροφημάτων αποτελεί το τελικό στάδιο και από αυτό κρίνεται η απόδοση της ικανότητας ανασύστασης. Στο γιαούρτι η ικανότητα της ανασύστασης προσδιορίζεται από τα χαρακτηριστικά του πήγματος και τα αποτελέσματα της διαλυτότητας λαμβάνονται ως τάση συμπεριφοράς της σκόνης που διασπείρεται και διαλύεται εν μέρει στο νερό. Ειδικότερα για τη διασπορά και την αυτοδιασπορά θα γίνει αναφορά στο πορώδες.

Λόγω των παραπάνω και των ίδιων προβλημάτων που αναφέρθηκαν και στη διαβροχή η διαλυτότητα των δειγμάτων 2% και 5% λιπαρών εμφανίζει φαινομενικά υψηλά αποτελέσματα. Η διαδικασία λήψης του υπερκείμενου υγρού ενέχει σφάλματα, λόγω λιπαρών τα οποία αιωρούνται αλλά δεν διαλυτοποιούνται στο νερό. Έτσι από τα δείγματα με 0% λιπαρά μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα. Τα δείγματα 0% με προσθήκη κόμμεων μετά την ξήρανση φαίνεται ότι, με εξαίρεση την πηκτίνη, τα υδροκολλοειδή δεν διαλύονται με γρήγορους ρυθμούς. Ενδεχομένως το στάδιο της πάχυνσης των υδροκολλοειδών είναι υπεύθυνο για τη μείωση της διαλυτότητας του μίγματος στα μεγαλύτερα ποσοστά υδροκολλοειδών. Αντίθετα, τα δείγματα σκόνων 0% λιπαρών με προσθήκη κόμμεων πριν την ξήρανση δείχνουν ξεκάθαρη τάση αύξησης της διαλυτότητας με αύξηση του ποσοστού του κόμμεος. Αυτό μπορεί να αποδοθεί ως επιπλέον πλεονέκτημα της μίας ταχύτητας ενυδάτωσης που αναφέρθηκε και παραπάνω. Όσον αφορά τη συμπεριφορά του δείγματος σκόνης 0% και 1% CMC, με προσθήκη του κόμμεος πριν την ξήρανση και το δείγμα 0% λιπαρά με προσθήκη 1% πηκτίνης πριν την ξήρανση, παρουσιάζουν μία υστέρηση. Εδώ μπορεί να γίνει η υπόθεση ότι το ποσοστό του κόμμεος δεν επαρκούσε για να συνδέσει όλα τα συστατικά και έτσι υπήρξαν κόκκοι με διαφορετικούς ρυθμούς ενυδάτωσης. Έτσι ενδεχομένως κόκκος με περισσότερο υδροκολλοειδές είχε αργή πάχυνση και μάλλον συγκράτησε ή εμπόδισε την ενυδάτωση κόκκων χωρίς υδροκολλοειδές.

Από τα δείγματα 2% και 5% λιπαρών συμπεραίνεται για ακόμη μία φορά ότι η υδρόφοβη παρουσία διαδραματίζει σοβαρό ρόλο. Ακόμη η μεγαλύτερη θολότητα του υπερκείμενου υγρού στα δείγματα στα οποία το κόμμι είχε προστεθεί πριν την ξήρανση και το λεπτότερο στρώμα λίπους στην πάνω επιφάνεια, σε σχέση με τα δείγματα σκόνης γιαουρτιού στα οποία είχε προστεθεί κόμμι μετά την ξήρανση συναινεί στην υπόθεση που είχε γίνει και παραπάνω για τη συμπεριφορά λιπαρών και υδροκολλοειδών.



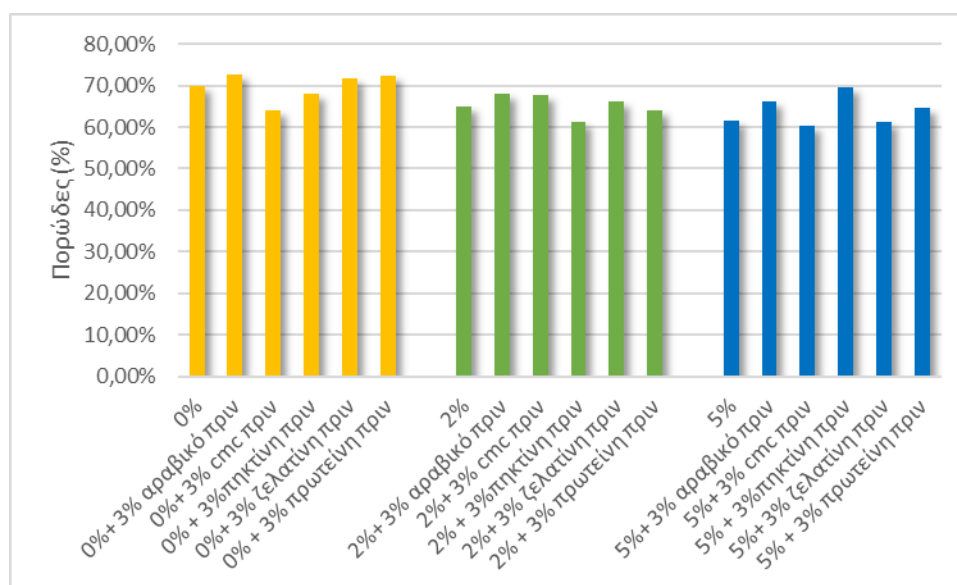
Διαγράμματα 6.1.3: Διαγράμματα διαλυτότητας σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που παρήχθη με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκolloειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 1^η)

6.1.4 Πορώδες

Το πορώδες αποτελεί μία πολύ σημαντική παράμετρο για τις σκόνες των τροφίμων όπως έχει αναφερθεί. Στα δείγματα που μετρήθηκε το πορώδες ήταν τα δείγματα χωρίς καθόλου κόμμι με διαφορετικά λιπαρά και με προσθήκη κόμμεος 3% πριν την ξήρανση. Η σειρά πειραμάτων παραγωγής σκόνης με προσθήκη κόμμεος μετά την ξήρανση εξαιρέθηκε, καθώς η ανάμιξη διαφορετικών σκονών σε τέτοια μικρή αναλογία δεν θα είχε εμφανή αποτελέσματα, ούτε θα άλλαζε το πορώδες της σκόνης γιαουρτιού. Οι τιμές του πορώδους κινήθηκαν μεταξύ 60% και 70%, εύρος χαρακτηριστικό για την ξήρανση με κατάψυξη. Όπως θα δειχθεί και παρακάτω οι τιμές του πορώδους, για σκόνες με ξήρανση με ψεκασμό, είναι αρκετά χαμηλότερες. Με την αύξηση των λιπαρών παρατηρείται μία τάση μείωσης του πορώδους, ενώ με την προσθήκη υδροκολλοειδών παρατηρείται τάση για αύξηση του πορώδους.

Η διεργασία θέτει τα μεγάλα όρια που μπορεί να κινηθεί το πορώδες, ενώ οι συνθήκες σε συνάρτηση με τις ιδιότητες του μίγματος είναι αυτές που χρήζουν βελτιστοποίησης. Τιμές πορώδους πάνω από 70% θεωρούνται ιδανικές τιμές για instant (στιγμαιαία) προϊόντα, παρόλα αυτά η υδροφοβικότητα παίζει σημαντικότερο ρόλο στην ανασύσταση.

Οι αλλαγές στο πορώδες κατά την ξήρανση λαμβάνουν χώρα σε πολύ μικρή κλίμακα, άρα η εξαγωγή ακριβών συμπερασμάτων χρειάζεται εξειδικευμένες μεθόδους, μεγάλης ακρίβειας και συσχέτισης πολλών παραγόντων. Η πορωσιμετρία υδραργύρου, ο προσδιορισμός του δείκτη Hausner καθώς και αναλυτικός προσδιορισμός της διαμέτρου του κόκκου είναι πολύ συνηθισμένες παράμετροι χαρακτηρισμού. Τελευταία η ανάλυση της τοπογραφίας της επιφάνειας των κόκκων σε νανο-κλίμακα έχει δώσει πολλά αξιολογικά αποτελέσματα αναλύοντας μηχανισμούς και δημιουργώντας νέες θεωρίες.

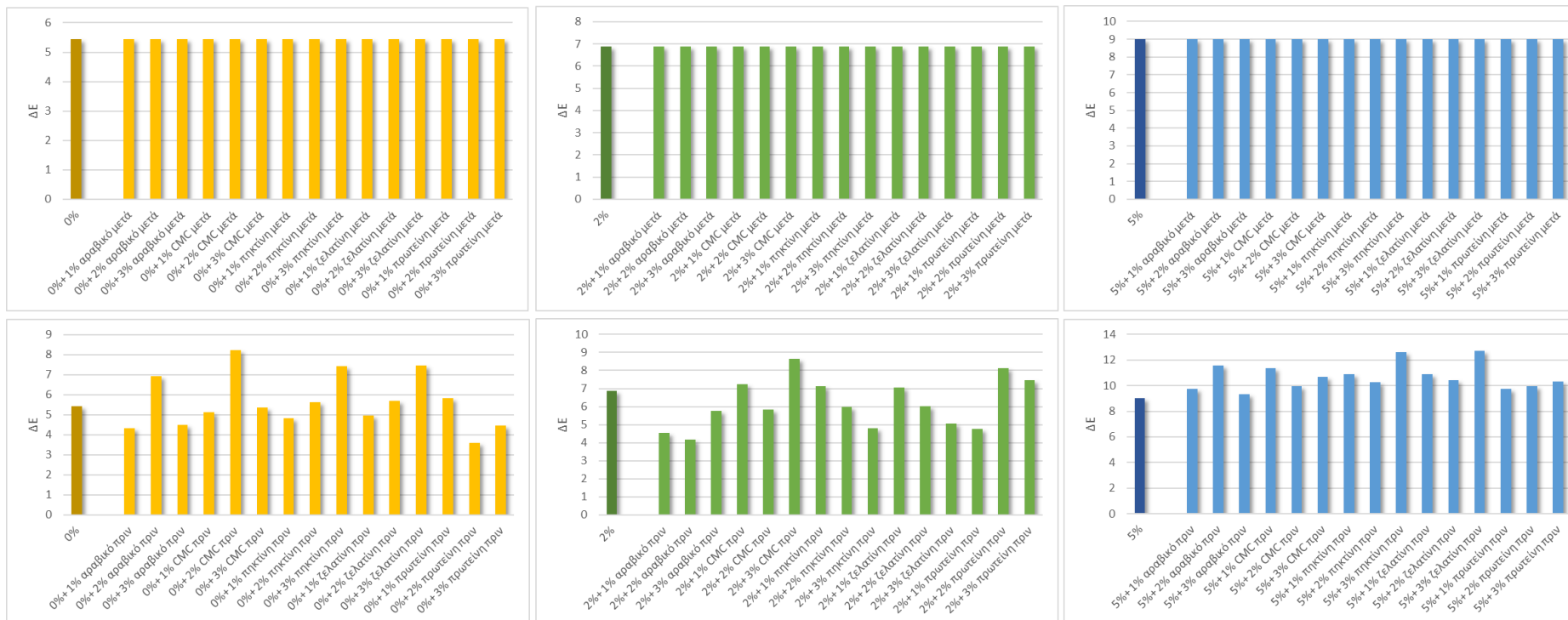


Διάγραμμα 6.1. 4: Πορώδες σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που παρήχθη με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 1^η)

6.1.5 Χρώμα

Η προσθήκη κόμμεος μετά την ξήρανση, λόγω του μικρού ποσοστού δεν έδειξε διαφορές όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 6.1.5. Απεναντίας τα δείγματα με προσθήκη κόμμεος πριν την ξήρανση έδειξαν διακυμάνσεις. Από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων για το χρώμα, παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π27) συμπεραίνεται ότι επίδραση στο χρώμα έχουν τα λιπαρά του γιαουρτιού. Ακόμη αποδείχθηκε ότι σημαντικά υψηλές τιμές χρώματος, παρουσιάζουν τα δείγματα με 5% λιπαρά και στη συνέχεια εκείνα με 2% και με 0% λιπαρά. Η διαφορά στο χρώμα μπορεί να οφείλεται σε οξείδωση λιπαρών.

Η χρωματική υποβάθμιση όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω για την ξήρανση με κατάψυξη είναι η ελάχιστη δυνατή, σε σχέση με θερμικές μεθόδους. Παρόλα αυτά η συσκευασία, οι συνθήκες υγρασίας, η ενεργότητα του νερού οι αντιδράσεις Maillard και η οξείδωση των λιπαρών έχουν επίδραση στο χρώμα κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 3.



Διαγράμματα 6.1.5: Διαγράμματα ΔE σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που παρήχθη με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκolloειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 1^η)

6.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων ανασυσταμένης σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που έχει προέλθει από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 2^η)

Στην παρούσα ενότητα τα διαγράμματα παρουσιάζονται ανά ιδιότητα για δείγματα ανασυσταμένης σκόνης γιαουρτιού που έχουν κοινή περιεκτικότητα σε λιπαρά (0%,2%,5%). Κάθε περιεκτικότητα σε λιπαρά παρουσιάζεται με χαρακτηριστικό χρώμα. Σε κάθε μπάρα των διαγραμμάτων αναφέρεται από κάτω το δείγμα στο οποίο αναφέρεται, το κόμμα και η περιεκτικότητα που χρησιμοποιήθηκε. Για καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται τα διαγράμματα ανά εξάδες. Η τριάδα της πρώτης σειράς αναφέρεται σε ανασύσταση σκονών γιαουρτιού που έχουν παραχθεί με ξήρανση υπό κατάψυξη και τα διαφορετικά κόμματα, στις διαφορετικές περιεκτικότητες έχουν προστεθεί στη σκόνη του αντίστοιχου γιαουρτιού μετά την ξήρανση (στάδιο 2^α). Ενώ τα διαγράμματα της κάτω σειράς αναφέρονται σε δείγματα ανασυσταμένης σκόνης γιαουρτιού, που έχουν προέλθει από ξήρανση υπό κατάψυξη και τα διαφορετικά κόμματα που περιέχουν, στις διαφορετικές περιεκτικότητες, έχουν προστεθεί στην κύρια μάζα του γιαουρτιού πριν την ξήρανση (στάδιο 2^β). Για περαιτέρω σύγκριση στα διαγράμματα αναφέρονται και οι τιμές του εκάστοτε τυποποιημένου, αναμεμιγμένου γιαουρτιού (total 0% ,total 2% ,total 5%).

6.2.1 pH

Από τα διαγράμματα των πρωτογενών μετρήσεων παρατηρείται μία μικρή διακύμανση η οποία δεν θεωρείται σημαντική, άρα το pH παραμένει πρακτικά αμετάβλητο και δεν επηρεάζεται από λιπαρά, διεργασίες και κόμματα. Στην ίδια κατεύθυνση κινούνται τα συμπεράσματα της ανάλυσης διακύμανσης για το pH. Παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π16) συμπεραίνεται ότι επίδραση στο pH δεν είχε κανένας παράγοντας. Οι διακυμάνσεις ήταν μικρές και δεν είχαν σημαντικές διαφοροποιήσεις.

Η αλλαγή του pH αναμένεται ίσως κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του ανασυσταμένου γιαουρτιού λόγω τυχών αλλοιώσεων. Στο εμπόριο κυκλοφορούν σκόνες γιαουρτιού που έχουν προέλθει από άπαχο γάλα, με εύρη τιμών 4,0-4,4 , 4,5-4,8 και 5,3-5,4. Οι τιμές αυτές χαρακτηρίζονται από έντονη ξινή γεύση, μέτρια ξινή γεύση, ήπια-γλυκιά ξινή γεύση αντίστοιχα. Στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά θα αναλυθούν περισσότερο οι γεύσεις.

6.2.2 Ιξώδες

Από τα διαγράμματα 6.2.2 παρατηρείται ότι οι ανασυστάσεις των δειγμάτων με 0% λιπαρά δίνουν καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τις άλλες περιεκτικότητες σε λιπαρά. Η προσθήκη των κόμμεων πριν τη διαδικασία της ξήρανσης δίνει πιο ομοιογενή πηγματα και υψηλές τιμές όσον αφορά το ιξώδες. Το μεγαλύτερο ιξώδες παρουσίασε το δείγμα με σκόνη γιαουρτιού 0% λιπαρών με προσθήκη 1% CMC μετά την ξήρανση, ενώ τη χαμηλότερη την παρουσίασαν δείγματα με 3% CMC μετά την ξήρανση, σε σκόνες γιαουρτιού 2%, 5% λιπαρών.

Από τη στατιστική ανάλυση για το ιξώδες, συμπεραίνεται ότι επίδραση στο ιξώδες έχουν τα λιπαρά, το είδος του κόμματος και η προσθήκη του, πριν ή μετά την ξήρανση. Ακόμη, αποδείχθηκε ότι υψηλότερες τιμές ιξώδους παρουσιάζουν τα δείγματα με 0% λιπαρά και στη συνέχεια εκείνα με 2% και με 5%. Οι τιμές για το 0% λιπαρών είναι σημαντικά διαφορετικές σε σχέση με τις άλλες δύο περιεκτικότητες. Υψηλότερες τιμές, όσον αφορά το ιξώδες έδειξαν τα δείγματα με πηκτίνη. Οι τιμές των δειγμάτων, μαζί με εκείνα που τους είχε προστεθεί ζελατίνη είχαν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τα άλλα δείγματα. Τέλος, η διαδικασία

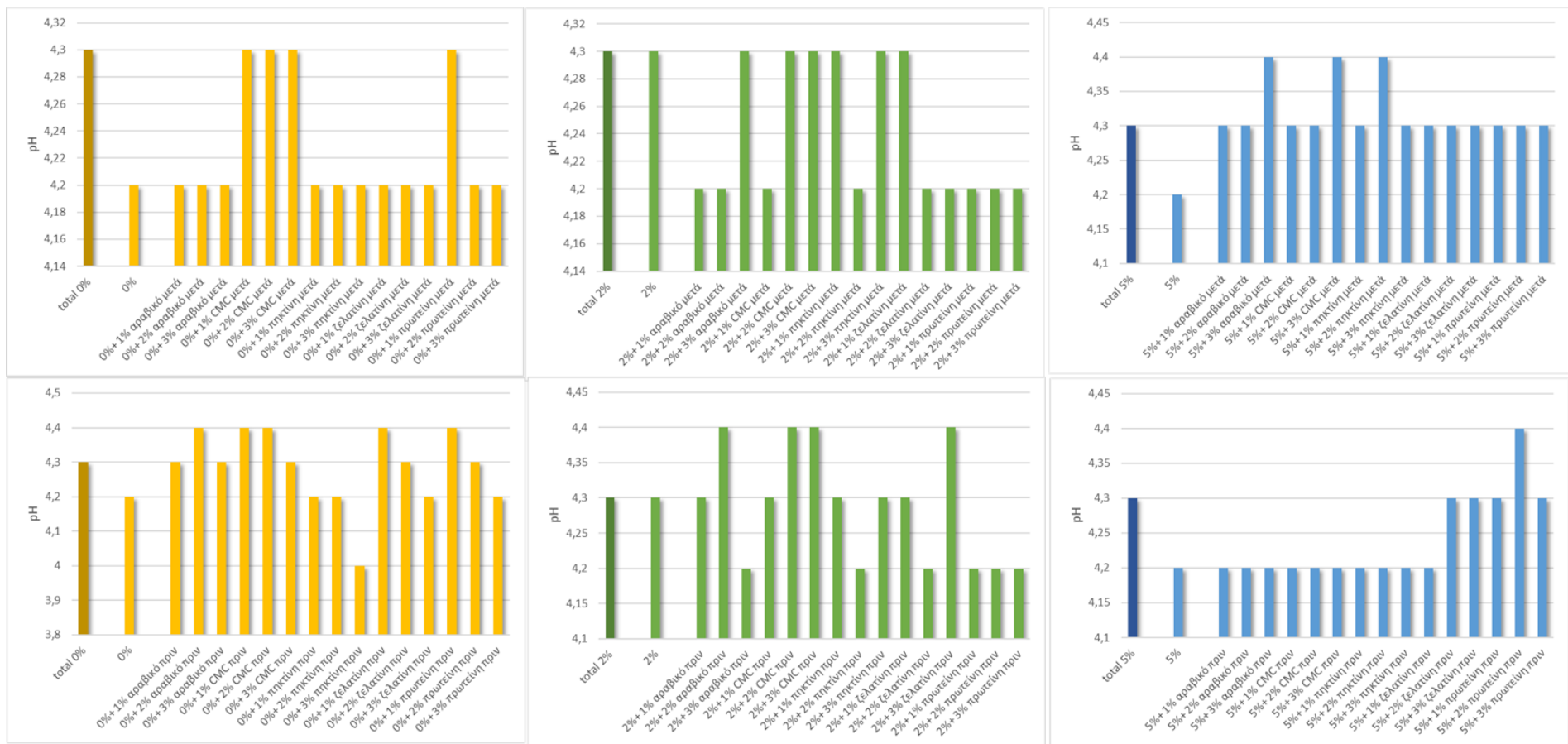
προσθήκης κόμμεων πριν την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την προσθήκη κόμμεων μετά την ξήρανση.

Γενικά τα λιπαρά του γιαουρτιού, λόγω υδροφοβικότητας εμποδίζουν τη δημιουργία σταθερού πήγματος. Έτσι δικαιολογείται η πτωτική τάση με την αύξηση των λιπαρών. Σύνηθες φαινόμενο στην ανασύσταση υδροφοβικών σκονών είναι η επίπλευση που δημιουργεί κακή διασπορά ή δημιουργία στρώματος λιπαρών και άρα δημιουργία δύο φάσεων. Η πάνω φάση με περισσότερο ποσοστό λιπαρών και η κάτω με μεγαλύτερη αναλογία πρωτεϊνών. Η αποφυγή αυτού του φαινομένου που εμποδίζει και τη σωστή μέτρηση του ιξώδους έγινε από το σχεδιασμό των πειραμάτων. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε ομογενοποιητής, αντί για πτερωτή, ο καθορισμός του χρόνου έγινε με πρότυπη ανασύσταση της σκόνης πλήρους γιαουρτιού και η μέτρηση του ιξώδους έγινε δειγματοληπτικά σε τρία διαφορετικά σημεία, κατά τη βύθιση του ιξωδόμετρου. Αν οι μετρήσεις είχαν διαφορές στο ίδιο δείγμα πάνω από 400 cps, η διαδικασία απορριπτόταν και το δείγμα θεωρείτο μη αποδεκτό.

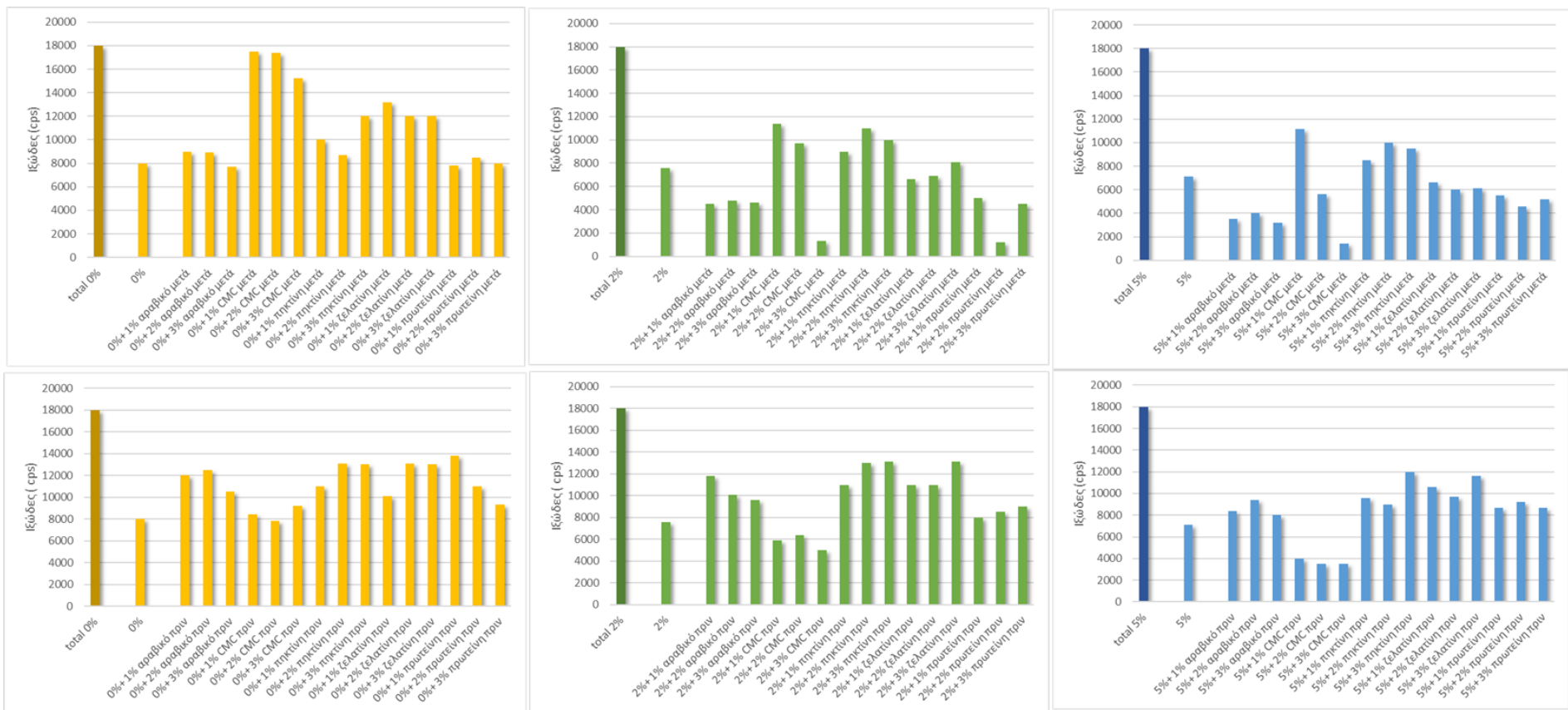
Η προσθήκη υδροκολλοειδών γενικά βοηθά στη δημιουργία σταθερού τζελ ή/και πήγματος όμως η αύξηση του ποσοστού των υδροκολλοειδών δεν συνεπάγεται πάντα την αύξηση του ιξώδους. Η αύξηση του ποσοστού συνεπάγεται μεγαλύτερη δέσμευση νερού και ανάλογα και με τη φύση του κόμμεος καθώς και το περιβάλλον ανασύστασης μπορεί να δημιουργήσουν ιξώδες πλέγμα γρηγορότερα. Η συνέχιση της ομογενοποίησης πέρα από αυτό το σημείο μπορεί να δημιουργήσει κατάρρευση του πλέγματος. Προς την ίδια κατεύθυνση συμβάλλει και ο θιζότροπος χαρακτήρας του γιαουρτιού. Έτσι μπορούν να εξηγηθούν πτωτικές συμπεριφορές όπως η προσθήκη του CMC σε 2%, μετά την ξήρανση.

Θα πρέπει ακόμα να σημειωθεί ότι διαφορές των 500-800 cps μεταξύ διαφορετικών δειγμάτων δεν θεωρούνται σημαντικές, καθώς όπως προαναφέρθηκε αποδεκτή θεωρήθηκε και η διαφορά 400 cps στο ίδιο δείγμα. Έτσι διαφορές μεταξύ των δειγμάτων ανασυσταμένου γιαουρτιού από σκόνη 0% λιπαρών με προσθήκη 1% CMC, πριν τη διαδικασία ξήρανσης με το ανασυσταμένο γιαούρτι από σκόνη 0% λιπαρών με προσθήκη 2% ΨΜΨ, πριν τη διαδικασία ξήρανσης, δεν θεωρούνται σημαντικές.

Άλλο ένα φαινόμενο που επηρεάζει το ιξώδες είναι ο αφρισμός. Δείγματα με αραβικό κόμμι και πρωτεΐνη ορού γάλακτος (ειδικά στα δείγματα που η προσθήκη τους έγινε μετά την ξήρανση) εμφάνισαν διαλυμένο αέρα στο πήγμα. Γενικά στη μέτρηση ιξώδους, δειγμάτων πλούσιων σε επιφανειοδραστικά, χρησιμοποιούνται υπέρηχοι για να αφαιρέσουν τον εγκλωβισμένο αέρα. Κάτι τέτοιο δεν επιχειρήθηκε, γιατί οι υπέρηχοι θα είχαν επίδραση στο πλέγμα του γιαουρτιού. Έτσι στο δείγμα ανασυσταμένου γιαουρτιού από σκόνη γιαουρτιού 2% με προσθήκη 1% πρωτεΐνης ορού γάλακτος, μετά τη διαδικασία της ξήρανσης, το ποσοστό της πρωτεΐνης ήταν λίγο και άρα ο αφρισμός περιορισμένος στο ελάχιστο. Στο δείγμα ανασυσταμένου γιαουρτιού από σκόνη 2% λιπαρών, με προσθήκη 2% πρωτεΐνης, μετά τη διαδικασία της ξήρανσης, η τυρβώδης ροή δημιούργησε αφρισμό των επιφανειοδραστικών πρωτεϊνών ορού γάλακτος ο οποίος παρέμεινε εγκλωβισμένος στο σώμα του γιαουρτιού. Από την άλλη, στο δείγμα ανασυσταμένου γιαουρτιού από σκόνη 2% λιπαρών, με προσθήκη 3% πρωτεΐνης, μετά τη διαδικασία ξήρανσης μπορεί να υποτεθεί ότι λόγω της μεγαλύτερης αναλογίας πρωτεΐνης σε σχέση με τα στερεά του γιαουρτιού, ο αφρισμός ξεκίνησε γρηγορότερα και στη συνέχεια η ανάδευση περιόρισε τον αφρό και διατάχθηκαν με τις συγγενείς πρωτεΐνες της σκόνης γιαουρτιού. Στο παρόν παράδειγμα μπορεί να στηριχθεί ότι η ανάδευση περιορίζει τον αφρισμό καθώς δεν δημιουργείται ιξώδες τζελ. Για παράδειγμα



Διαγράμματα 6.2.1: Διαγράμματα pH ανασυσταμένης σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που έχει προέλθει από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκolloειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 2^η)



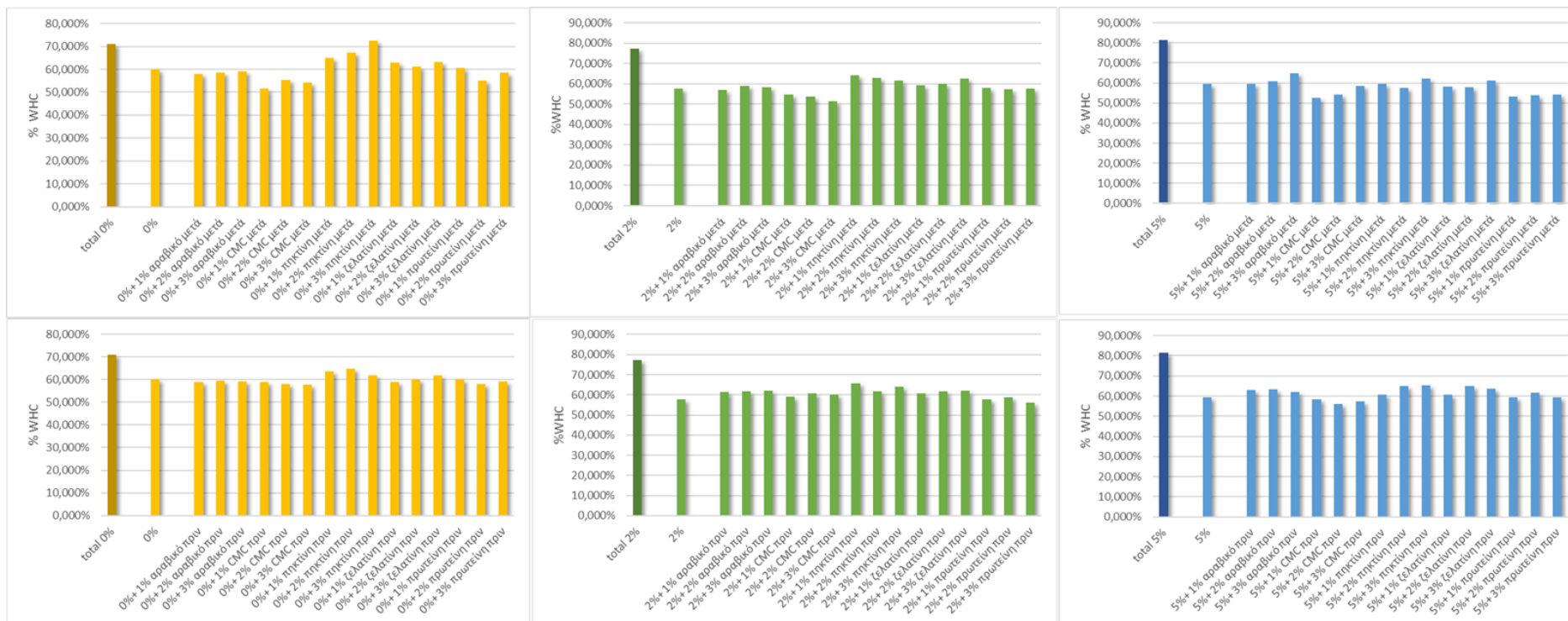
Διαγράμματα 6.2.2 : Διαγράμματα ιξώδους αναρροαμαμένης σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που έχει προέλθει από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 2^η)

η συνέχιση της ανάδευσης σε τζελ που έχει προέλθει από ξανθάνη έχει ως συνέπεια τη διόγκωση καθώς εγκλωβίζεται αέρας εντός του τζελ. Προς στην ίδια κατεύθυνση συναινεί το ότι η επιφανειακή δράση της πρωτεΐνης είναι περιορισμένη, υπόκειται στη δομή της και το νερό στο σύστημα είναι περιορισμένο. Για το πώς αλλιώς επηρεάζει ο αφρός θα αναλυθεί στον οργανοληπτικό έλεγχο.

Στα ανασυσταμένα δείγματα με αραβικό κόμμι, που είχε προστεθεί μετά την ξήρανση, δεν δημιουργήθηκε ο ίδιος αφρισμός και η κατανομή του εγκλωβισμένου αέρα ήταν πιο ομοιόμορφη και μικρότερη σε σχέση με την πρωτεΐνη. Άρα μπορεί να θεωρηθεί ότι πιο πιθανό για το μειωμένο ιξώδες είναι ότι δεν του παρέχεται ο κατάλληλος χρόνος να δημιουργήσει πλέγμα το αραβικό κόμμι με το γιαούρτι.

Η μη κατάλληλη ενεργοποίηση των ιδιοτήτων των κόμμεων σε συνδυασμό με την υδροφοβικότητα των σκονών του γιαουρτιού συμβάλλουν στην παρουσίαση μειωμένου ιξώδους στα ανασυσταμένα δείγματα σκόνης γιαουρτιού 2% και 5% λιπαρών με προσθήκη κόμμεων μετά την ξήρανση. Αντίθετα τα ανασυσταμένα γιαούρτια από όλες τις σκόνες γιαουρτιού στις οποίες είχε προστεθεί το κόμμι πριν την ξήρανση παρουσίασαν καλύτερο ιξώδες. Το γιαούρτι παρόλο που κατά την παρασκευή της σκόνης, για κόμμεα που προστίθενται πριν την ξήρανση, μπορεί να εισάγεται για ξήρανση με χαμηλότερο ιξώδες, παρουσιάζει όμως η παραχθείσα σκόνη γενικά καλύτερη συμπεριφορά ανασύστασης καθώς: Η αύξηση των στερεών βοηθά την ξήρανση, τα κόμμεα εκμεταλλεύονται το ελεύθερο νερό του γιαουρτιού για να ενυδατωθούν, διογκώνονται και σε συνδυασμό με την ανάδευση έρχονται σε επαφή με τα συστατικά του γιαουρτιού. Τέλος οι δομικές αλλαγές κατά την ξήρανση είναι ίδιες. Έτσι παραλαμβάνεται κόκκος πιο υδρόφιλος και τα κόμμεα ενυδατώνονται πιο γρήγορα προσφέροντας ιξωδότερα πηγμάτα.

Επειδή το ιξώδες αποτελεί μία πολύ σημαντική παράμετρο για την αποδοχή του προϊόντος, έγιναν δοκιμές και μετρήθηκαν ιξώδη σε δείγματα που είχαν αυξημένα στερεά, μετά την ξήρανση κατά 4%, 6%, 8% και 16% επιξηρήσας. Δείγματα σκόνης γιαουρτιού 0% λιπαρών και 16% επιπλέον σκόνης 0% γιαουρτιού έδωσαν ιξώδες 18.200 cps, δείγματα σκόνης γιαουρτιού 2% λιπαρών και 16% σκόνης 2% έδωσαν ιξώδες 15.000 cps, δείγματα σκόνης γιαουρτιού 5% λιπαρών και 16% σκόνης γιαουρτιού 5% έδωσαν ιξώδες 15.200 cps. Για το CMC: σκόνη γιαουρτιού 0% και 8% επιπλέον CMC έδωσε ιξώδες 18.000 cps, σκόνη γιαουρτιού 2% λιπαρών και 8% CMC έδωσε ιξώδες 16.000 cps, σκόνη γιαουρτιού 5% λιπαρών και 16% CMC έδωσε ιξώδες 18.000 cps. Όσον αφορά την πηκτίνη: σκόνη γιαουρτιού 0% λιπαρών και 4% πηκτίνη δίνει ιξώδες > 18.000 cps, σκόνη γιαουρτιού 2% λιπαρών και 4% πηκτίνη δίνει ιξώδες > 18.000 cps, σκόνη γιαουρτιού 5% λιπαρών και 8% πηκτίνη δίνει ιξώδες > 18.000 cps. Για την ζελατίνη: σκόνη γιαουρτιού 0% λιπαρών με 4% ζελατίνη δίνει ιξώδες > 18.000 cps, σκόνη γιαουρτιού 2% λιπαρών και 6% ζελατίνη δίνει ιξώδες > 18.000 cps, σκόνη γιαουρτιού 5% λιπαρών και 8% ζελατίνη δίνει ιξώδες > 18.000 cps. Πρωτεΐνη και αραβικό κόμμι παρουσίασαν αρκετές αυξομειώσεις και με προσθήκη 16% σε κάθε σκόνη γιαουρτιού, ανεξαρτήτως λιπαρών πλησιάζουν το ιξώδες των 18.000 cps. Η μεγάλη αύξηση του ποσοστού των κόμμεων έχει καλύτερο ιξώδες, όμως παρουσιάζονται προβλήματα κατά την ανάδευση, μερικές φορές παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας και δημιουργία jellylike ή κροκκιδωμένων προϊόντων.



Διαγράμματα 6.2.3 :Διαγράμματα ικανότητας συγκράτησης νερού ανασυσταμένης σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που έχει προέλθει από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκolloειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 2^η)

6.2.3 Ικανότητα συγκράτησης νερού (% WHC)

Τα διαγράμματα της 6.2.3 δείχνουν ότι η ικανότητα των δειγμάτων ανασυσταμένου γιαουρτιού για συγκράτηση νερού είναι εμφανώς μειωμένη. Η προσθήκη κόμμεος γενικά βελτιώνει τη συγκράτηση νερού. Ειδικά το CMC στα δείγματα ανασυσταμένου γιαουρτιού που έχουν προέλθει από σκόνη γιαουρτιού στην οποία έχουν προστεθεί μετά την ξήρανση, επιφέρει μειώσεις στην ικανότητα συγκράτησης νερού. Επίσης τα δείγματα των οποίων τα κόμμεα είχαν προστεθεί πριν από την ξήρανση παρουσιάζουν μία πιο ομοιόμορφη ικανότητα συγκράτησης.

Από τη στατιστική ανάλυση για την ικανότητα συγκράτησης νερού, παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π26) συμπεραίνεται ότι επίδραση στη συναίρεση έχουν το είδος του κόμμεος και η προσθήκη του, πριν ή μετά την ξήρανση. Ακόμη, αποδείχθηκε ότι υψηλότερες τιμές παρουσίασαν τα δείγματα με πηκτίνη, ενώ μικρότερη εκείνα με CMC. Τέλος, η διαδικασία προσθήκης κόμμεων πριν την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές ικανότητας συγκράτησης νερού σε σύγκριση με την προσθήκη κόμμεων μετά την ξήρανση.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο τυποποιημένο γιαούρτι η αύξηση σε λιπαρά παρουσιάζει και αύξηση στην ικανότητα συγκράτησης νερού. Στο ανασυσταμένο γιαούρτι τα λιπαρά μπορεί να μην έδειξαν σημαντικές διαφορές, όμως ο τύπος του υπερκείμενου υγρού ήταν διαφορετικός. Κατά τη διαδικασία της φυγοκέντρησης πάλι τα λιπαρά διαχωρίστηκαν, δημιουργώντας ένα στρώμα λιπαρών στην επιφάνεια. Τα δείγματα με προσθήκη κόμμεων πριν την ξήρανση είχαν μικρότερο στρώμα και πιο θολό υπερκείμενο υγρό, το οποίο συναινεί στην υπόθεση που αναφέρθηκε παραπάνω περί αλληλεπίδρασης λιπαρών-υδροκολλοειδών.

6.2.4 Ανάλυση Υφής

Η υφή προσδιορίστηκε ως προς τη σκληρότητα, τη συνεκτικότητα, την προσκολλησιμότητα και το κομμιώδες.

6.2.4.1 Σκληρότητα

Η σκληρότητα του ανασυσταμένου γιαουρτιού, όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 6.2.4.1, ανεξαρτήτως δείγματος είναι κατά πολύ μειωμένη από τη σκληρότητα του τυποποιημένου γιαουρτιού. Από τη στατιστική ανάλυση για τη σκληρότητα, παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π19) συμπεραίνεται ότι επίδραση στη σκληρότητα έχουν τα λιπαρά, το είδος του κόμμεος και η προσθήκη του, πριν ή μετά την ξήρανση. Ακόμη, αποδείχθηκε ότι υψηλότερες τιμές σκληρότητας παρουσιάζουν τα δείγματα με 0% λιπαρά και στη συνέχεια εκείνα με 2% και με 5% λιπαρά. Οι τιμές για το 0% λιπαρών είναι σημαντικά διαφορετικές σε σχέση με τις άλλες δύο περιεκτικότητες. Υψηλότερες τιμές σκληρότητας έδειξαν τα δείγματα με ζελατίνη. Οι τιμές των δειγμάτων αυτών, μαζί με τα δείγματα που τους είχε προστεθεί πηκτίνη, είχαν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τα άλλα δείγματα. Τα δείγματα CMC-πρωτεΐνη δεν είχαν σημαντικές διαφορές, το ίδιο και τα δείγματα αραβικού κόμμεος-πρωτεΐνης. Παρόλα αυτά CMC και αραβικό κόμμι παρουσίασαν διαφορές. Χαμηλότερη τιμή σκληρότητας παρουσίασε το CMC. Τέλος, η διαδικασία προσθήκης κόμμεων πριν την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την προσθήκη κόμμεων μετά την ξήρανση.

6.2.4.2 Συνεκτικότητα

Όσον αφορά τη συνεκτικότητα το δείγμα ανασυσταμένου γιαουρτιού 2% λιπαρών χωρίς κόμμι εμφανίζει τη μεγαλύτερη συνεκτικότητα. Από τη στατιστική ανάλυση για τη συνεκτικότητα, παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π20) συμπεραίνεται ότι επίδραση στη συνεκτικότητα έχουν τα λιπαρά, το είδος του κόμμεος και η προσθήκη του, πριν ή μετά την

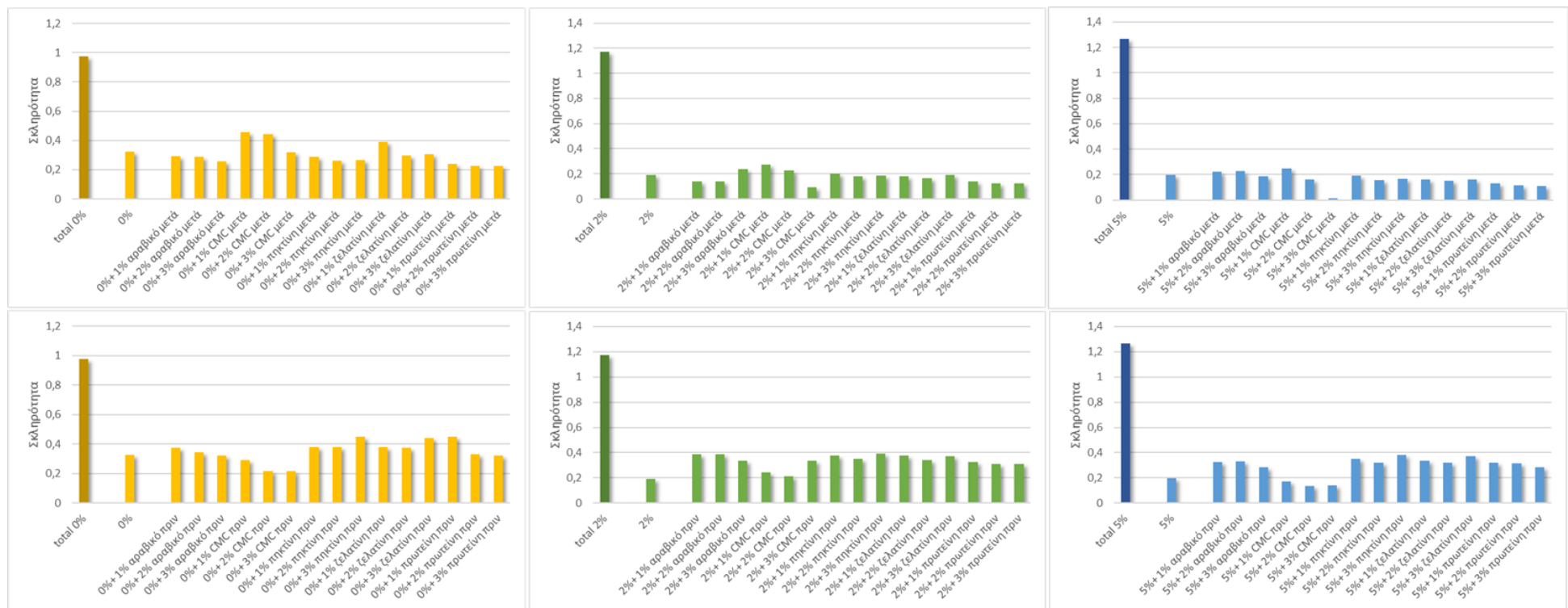
ξήρανση. Ακόμη, αποδείχθηκε ότι υψηλότερες τιμές συνεκτικότητας, παρουσιάζουν τα δείγματα με 2% λιπαρά και στη συνέχεια εκείνα με 5% και με 0% λιπαρά. Οι τιμές για 2% και 5% λιπαρά είναι σημαντικά διαφορετικές σε σχέση με εκείνες του 0% λιπαρών. Υψηλότερη τιμή παρουσίασαν τα δείγματα με πρωτεΐνη ορού γάλακτος, ενώ χαμηλότερη τιμή το αραβικό κόμμι. Ενώ δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφοροποιήσεις τα δείγματα με CMC και ζελατίνη. Τέλος, η διαδικασία προσθήκης κόμμεων μετά την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την προσθήκη κόμμεων πριν την ξήρανση.

6.2.4.3 Προσκολλησιμότητα

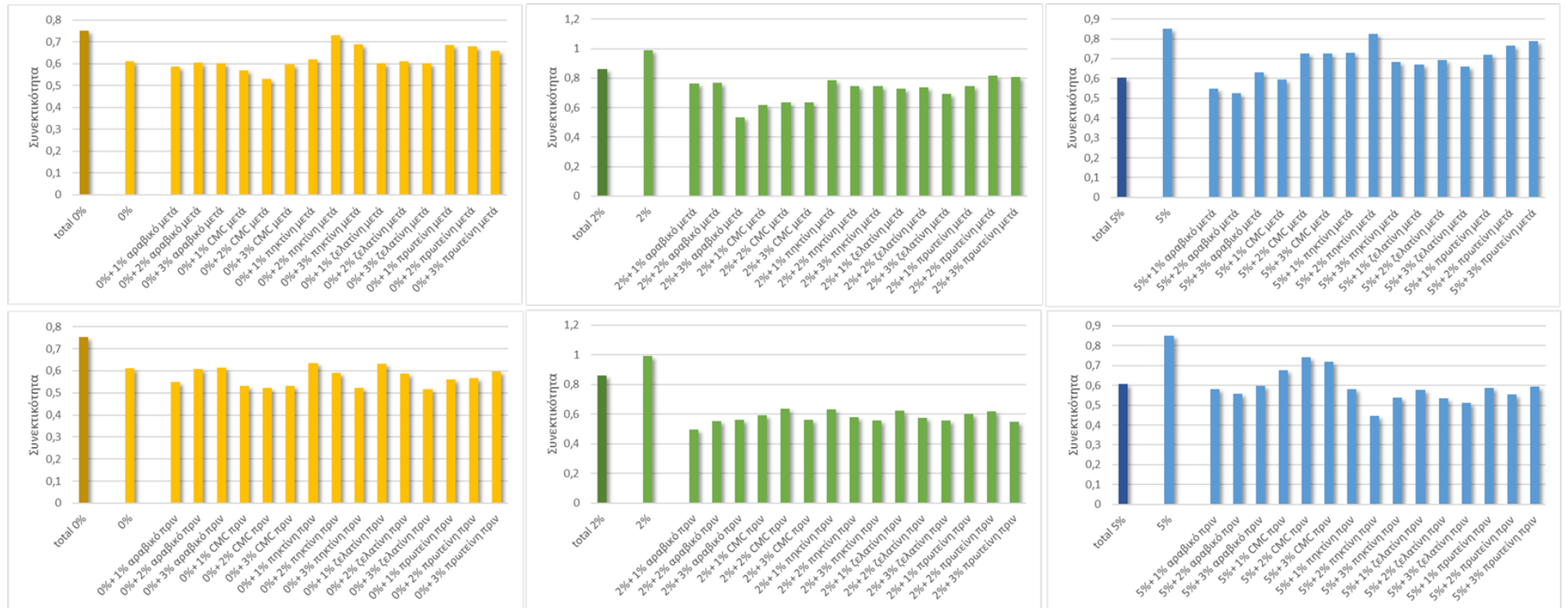
Τα ανασυσταμένα δείγματα γιαουρτιού έχουν μειωμένη προσκολλησιμότητα. Από την στατιστική ανάλυση για την προσκολλησιμότητα, παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π21) συμπεραίνεται ότι επίδραση στην προσκολλησιμότητα έχουν τα λιπαρά, το είδος του κόμμεος και η προσθήκη του, πριν ή μετά την ξήρανση. Ακόμα, δείχθηκε ότι υψηλότερες τιμές, παρουσιάζουν τα δείγματα με 0% λιπαρά και στην συνέχεια αυτά με 2% και με 5%. Οι τιμές για των δειγμάτων με 0% λιπαρά είναι σημαντικά διαφορετικές σε σχέση με τις τιμές των 2% και 5% λιπαρών. Σημαντικά υψηλότερη τιμή παρουσίασε το αραβικό και χαμηλότερη τιμή προσκολλησιμότητας παρουσίασε το cmc. Τέλος η διαδικασία προσθήκης κόμμεων πριν την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την προσθήκη κόμμεων μετά την ξήρανση.

6.2.4.4 Κομμιώδες

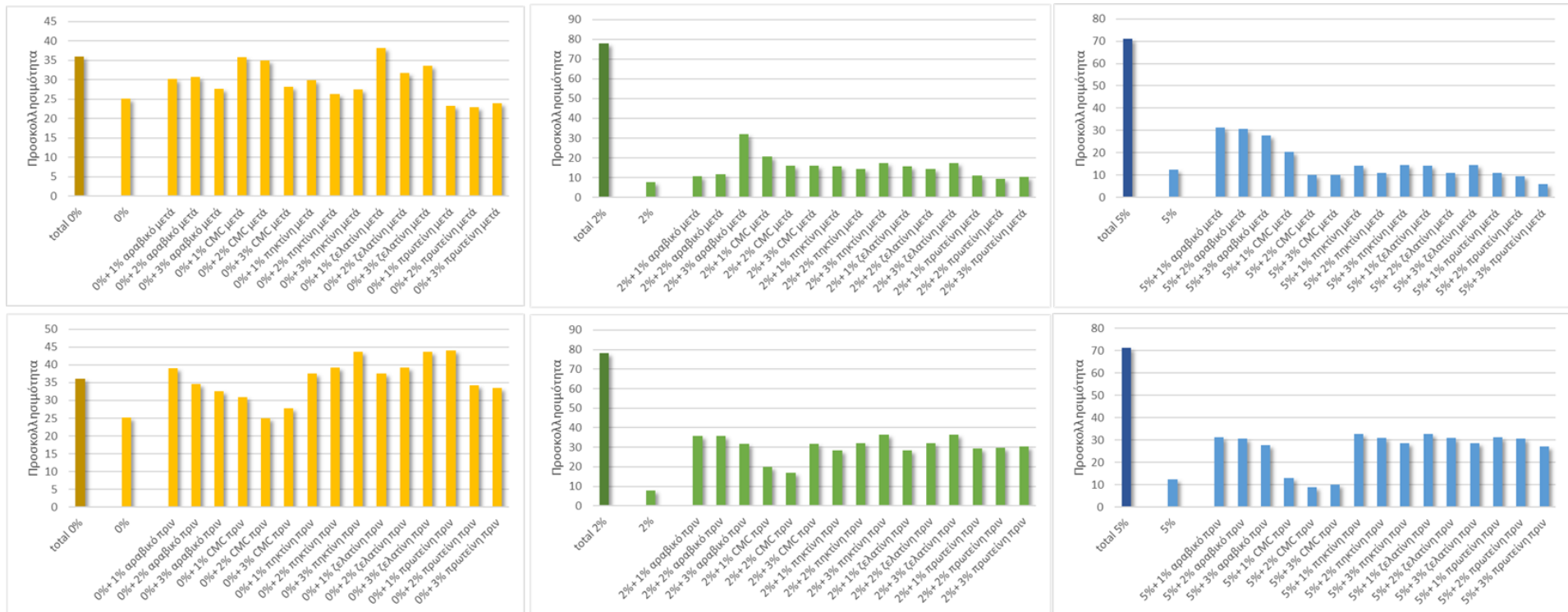
Το κομμιώδες των δειγμάτων του ανασυσταμένου γιαουρτιού είναι σημαντικά μειωμένο. Από τη στατιστική ανάλυση για το κομμιώδες, παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π22) συμπεραίνεται ότι επίδραση στο κομμιώδες έχουν τα λιπαρά, το είδος του κόμμεος και η προσθήκη του, πριν ή μετά την ξήρανση. Ακόμη, αποδείχθηκε ότι υψηλότερες τιμές κομμιώδους παρουσιάζουν τα δείγματα με 5% λιπαρά και στη συνέχεια εκείνα με 2% και με 0% λιπαρά. Οι τιμές για 5% και 2% λιπαρά είναι σημαντικά διαφορετικές σε σχέση με τις τιμές του 0% λιπαρών. Σημαντικά υψηλότερη τιμή παρουσίασε η πρωτεΐνη ορού γάλακτος και χαμηλότερη τιμή κομμιώδους παρουσίασε το αραβικό κόμμι. Τέλος η διαδικασία προσθήκης κόμμεων μετά την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την προσθήκη κόμμεων πριν την ξήρανση.



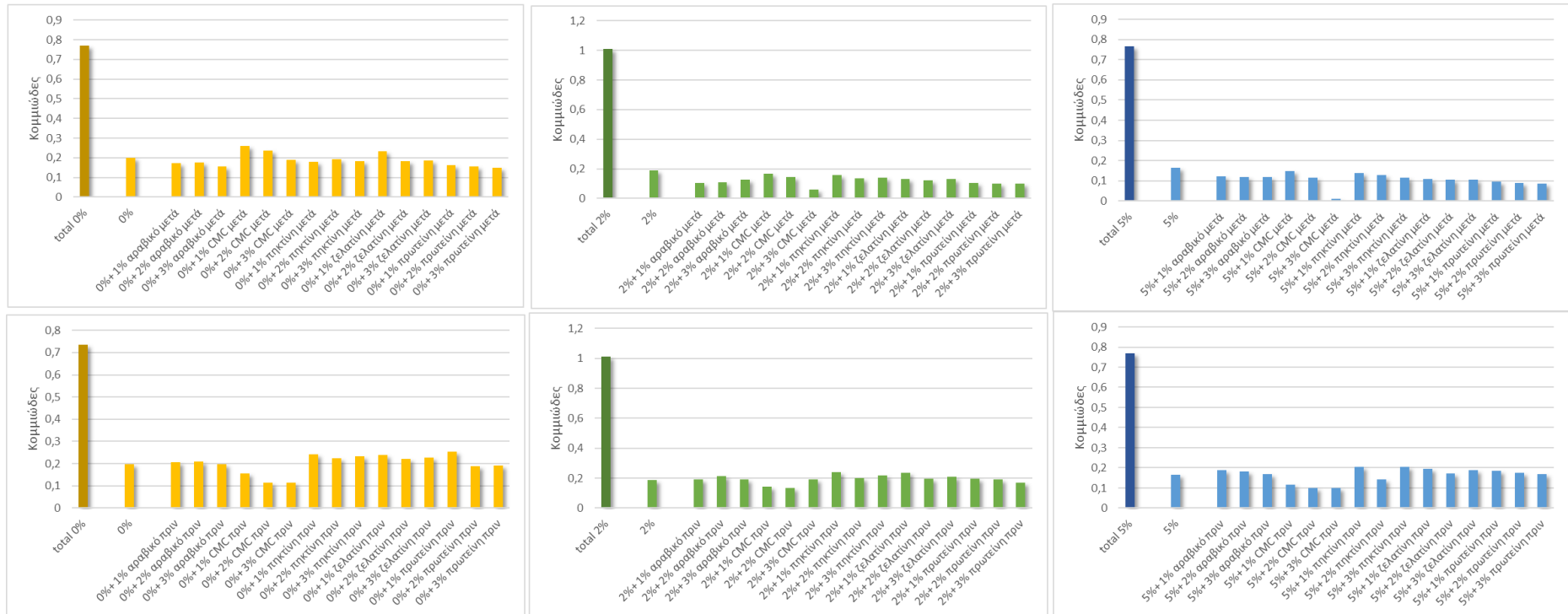
Διαγράμματα 6.2.4.1: Διαγράμματα σκληρότητας ανασυσταμένης σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που έχει προέλθει από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 2^η)



Διαγράμματα 6.2.4.2 :Διαγράμματα συνεκτικότητας ανασταμένης σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που έχει προέλθει από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκolloειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 2^η)



Διαγράμματα 6.2.4.3: Διαγράμματα προσκολλησιμότητας ανασυσταμένης σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που έχει προέλθει από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκolloειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 2^η)



Διάγραμμα 6.2.4.4: Διαγράμματα κοιμώδους ανασυσταμένης σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που έχει προέλθει από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 2^η)

6.2.5 Οξύτητα

Η οξύτητα των δειγμάτων ανασυσταμένου γιαουρτιού, όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 6.2.3, κυμαίνεται μεταξύ 1,4 και 2,2 % γαλακτικού οξέος με συγκέντρωση κατανομής γύρω από το 1,5. Από τη στατιστική ανάλυση για την οξύτητα, παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π25) συμπεραίνεται ότι επίδραση στην οξύτητα έχουν τα λιπαρά και η προσθήκη του κόμμεος, πριν ή μετά την ξήρανση. Ακόμη, αποδείχθηκε ότι υψηλότερες τιμές οξύτητας, παρουσιάζουν τα δείγματα με 0% λιπαρά και στη συνέχεια εκείνα με 2% και με 5%. Τέλος, η διαδικασία προσθήκης κόμμεων μετά την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές οξύτητας σε σύγκριση με την προσθήκη κόμμεων μετά την ξήρανση.

6.2.6 Οργανοληπτικός έλεγχος

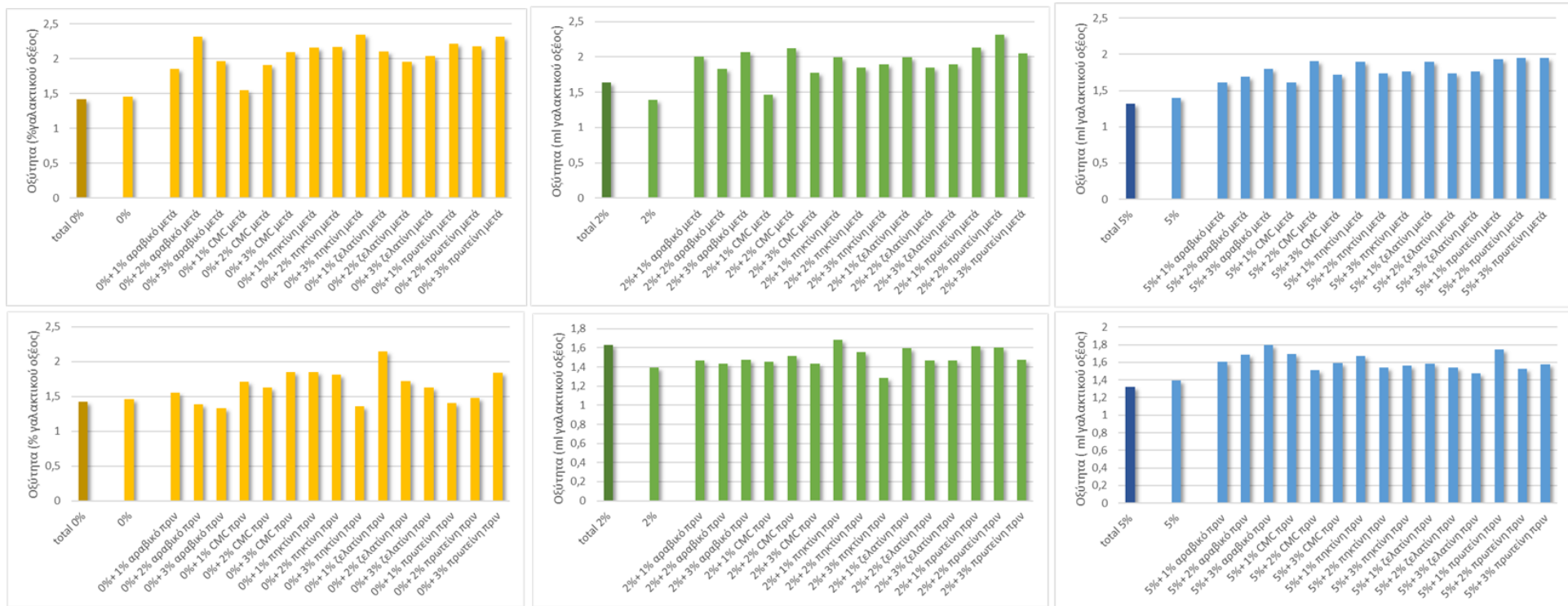
Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά είναι δύσκολο να συσχετιστούν ένα προς ένα με τις αντικειμενικές μετρήσεις, παρόλα αυτά θα σχολιαστούν και ως προς τις πλησιέστερες αντικειμενικές μετρήσεις που έχουν προσδιοριστεί.

6.2.6.1 Εμφάνιση

6.2.6.1.A Πήγμα

Με παρατήρηση των αραχοδιαγραμμάτων φαίνεται ότι γενικά όσο μικραίνει η περιεκτικότητα σε λιπαρά και μεγαλώνει η περιεκτικότητα σε υδροκολλοειδές γίνεται αντιληπτό ένα πιο στέρεο πήγμα. Από τη στατιστική ανάλυση για το πήγμα/ρευστότητα, όπως φαίνεται από τις ανάλογες τιμές του αντίστοιχου πίνακα (εικόνα Π3) του παραρτήματος, σημαντική επίδραση στο πήγμα των δειγμάτων έχουν τα λιπαρά, το είδος του κόμμεος και το αν προστέθηκε πριν ή μετά τη διαδικασία της ξήρανσης. Ακόμη, αποδείχθηκε ότι όσον αφορά τα λιπαρά υψηλότερες τιμές πήγματος παρουσιάζουν τα δείγματα με 0% λιπαρά και στη συνέχεια εκείνα με 5% και με 2% λιπαρά. Οι τιμές για κάθε περιεκτικότητα είναι σημαντικά διαφορετικές η μία με την άλλη. Υψηλότερες τιμές όσον αφορά το πήγμα έδειξαν τα δείγματα με την προθήκη πρωτεΐνης ορού γάλακτος. Οι τιμές αυτών των δειγμάτων ήταν σημαντικά διαφορετικές από των άλλων δειγμάτων. Τέλος, η διαδικασία προσθήκης κόμμεων πριν την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την προσθήκη κόμμεων μετά την ξήρανση.

Όσον αφορά τα λιπαρά και τον παράγοντα προσθήκης κόμμεων «πριν/μετά» την ξήρανση τα οργανοληπτικά ταυτίζονται με τις αντικειμενικές μετρήσεις. Από την άλλη, η προσθήκη πρωτεΐνης ορού γάλακτος δεν παρουσίασε μεγάλο ιξώδες όπως η πρωτεΐνη και η ζελατίνη, παρόλα αυτά έγινε αντιληπτό ένα πήγμα πιο κοντά στο γιαούρτι. Ο αφρισμός που παρατηρήθηκε δεν σχολιάστηκε ως κάτι το αρνητικό, αλλά έδωσε την αίσθηση των κενών του τυποποιημένου γιαουρτιού. Σε αντίθεση η πηκτίνη και η ζελατίνη, έδωσαν ένα πιο jellylike πήγμα το οποίο απείχε από το πήγμα γιαουρτιού από το οποίο είχε προέλθει. Η ζελατινοειδής αίσθηση είναι πολύ συνήθης στα επιδόρπια γιαουρτιού. Ακόμη ο αφρισμός που παρατηρήθηκε στο αραβικό κόμμι, δημιούργησε πιο γυαλιστερά κενά και σε συνδυασμό με ένα πιο υδαρές πήγμα δεν πλησίασε τόσο το πρότυπο πήγμα. Τέλος το CMC χαρακτηρίστηκε ακατάλληλο για πήγμα αλλά ιδανικό για ρόφημα καθώς ήταν ρευστό αλλά ομογενές.



Διαγράμματα 6.2.5: Διαγράμματα οξύτητας ανασυσταμένης σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που έχει προέλθει από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκolloειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 2^η)

6.2.6.1.B Συναίρεση

Τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού φαίνεται ότι ακολουθούν την τάση της αντικειμενικής μέτρησης. Από τη στατιστική ανάλυση για τη συναίρεση, παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π4) συμπεραίνεται ότι επίδραση στη συναίρεση έχουν τα λιπαρά, το είδος του κόμματος και η προσθήκη του, πριν ή μετά την ξήρανση. Ακόμη, αποδείχθηκε ότι όσον αφορά τη συναίρεση, υψηλότερες τιμές, παρουσιάζουν τα δείγματα με 0% λιπαρά και στη συνέχεια αρκετά μικρότερες εκείνα με 5% και με 2% λιπαρά. Οι τιμές για το 0% λιπαρών είναι σημαντικά διαφορετικές σε σχέση με τις άλλες δύο περιεκτικότητες. Υψηλότερες τιμές όσον αφορά τη συναίρεση έδειξαν τα δείγματα με την προσθήκη πηκτίνης και ζελατίνης, που εμφάνισαν σχεδόν ταυτόσημες τιμές. Οι τιμές αυτών των δειγμάτων μαζί με τις τιμές των δειγμάτων στα οποία είχαν προστεθεί πρωτεΐνη ορού γάλακτος ήταν σημαντικά διαφορετικές από των άλλων δειγμάτων. Τέλος, η διαδικασία προσθήκης κόμματος πριν την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την προσθήκη κόμματος μετά την ξήρανση.

6.2.6.2 Υφή στο κουτάλι

6.2.6.2.A Φινέτσα

Τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού ελέγχου έδειξαν ότι τα δείγματα με 0% λιπαρά εμφάνισαν μία γενικά καλή φινέτσα σε όλα τα δείγματα, ενώ τα 2% και 5% παρουσίασαν βελτίωση ως προς τη φινέτσα κατά την προσθήκη κόμματος πριν την ξήρανση. Από τη στατιστική ανάλυση για τη φινέτσα, παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π5) συμπεραίνεται ότι επίδραση στη φινέτσα έχουν τα λιπαρά, το είδος του κόμματος και η προσθήκη του, πριν ή μετά την ξήρανση. Ακόμη, αποδείχθηκε ότι όσον αφορά τη φινέτσα, υψηλότερες τιμές παρουσιάζουν τα δείγματα με 0% λιπαρά και στη συνέχεια εκείνα με 2% και με 5% λιπαρά. Οι τιμές για το 0% λιπαρών είναι σημαντικά διαφορετικές σε σχέση με τις άλλες δύο περιεκτικότητες. Υψηλότερες τιμές όσον αφορά τη φινέτσα έδειξαν ακόμη τα δείγματα με πρωτεΐνη ορού γάλακτος. Οι τιμές των δειγμάτων αυτών μαζί με τις τιμές εκείνων, στα οποία είχε προστεθεί πηκτίνη και ζελατίνη ήταν σημαντικά διαφορετικές από των άλλων. Τέλος, η διαδικασία προσθήκης κόμματος πριν την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την προσθήκη κόμματος μετά την ξήρανση.

Η φινέτσα μπορεί να θεωρηθεί ως αντίληψη της συνεκτικότητας μέσω όρασης. Η αντικειμενική μέτρηση δεν συμφωνεί πλήρως με τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού ελέγχου και αυτό γιατί η γυαλάδα στην επιφάνεια δίνει την αίσθηση του πιο συνεκτικού. Τα δείγματα με 0% λιπαρά μπορεί να μην έχουν λιπαρά, αλλά η γυαλάδα προσδίδεται από τα υδροκολλοειδή. Τα δείγματα ανασυσταμένου γιαουρτιού με σκόνη 2% και 5% λιπαρών, με προσθήκη κόμματος μετά την ξήρανση, δεν έχουν τόσο ομοιόμορφη κατανομή στην επιφάνεια και έτσι παρουσιάζουν μειωμένη φινέτσα. Σε αντίθεση στα δείγματα ανασυσταμένου γιαουρτιού 2% και 5% λιπαρών με προσθήκη κόμματος πριν τη διαδικασία ξήρανσης, έχουν συνεργιστική δράση υδροκολλοειδών και λιπαρών στην αντιληπτή συνεκτικότητα και λόγω της καλύτερης κατανομής στην επιφάνεια προσδίδουν καλύτερη γυαλάδα.

6.2.6.2.B Κοκκώδες

Οι κόκκοι στο κουτάλι ήταν πιο εμφανείς στα δείγματα που είχαν προέλθει από σκόνες με υδροκολλοειδή, τα οποία είχαν προστεθεί μετά την ξήρανση. Αυτό δικαιολογείται λόγω πιο έντονων συσσωματωμάτων υδροκολλοειδών καθώς και λιπαρών. Από τη στατιστική ανάλυση για το κοκκώδες, παρατηρώντας τον αντίστοιχο πίνακα (εικόνα Π6) συμπεραίνεται ότι επίδραση στο κοκκώδες έχει το πότε προστέθηκε το κόμμα, πριν ή μετά την ξήρανση. Ακόμη, αποδείχθηκε ότι όσον αφορά το κοκκώδες, υψηλότερες τιμές, δηλαδή λιγότερο διακριτούς κόκκους, εμφάνισαν τα δείγματα με προσθήκη κόμματος πριν την ξήρανση.

Το κοκκώδες στο κουτάλι και τα αδιάλυτα στερεά στο στόμα είναι διαφορετικές οπτικές της αίσθησης του καταναλωτή, για αυτό που συνοπτικά μετράται με την αντικειμενική μέτρηση του κομμώδους.

6.2.6.3 Υφή στο στόμα

6.2.6.3.A Αδιάλυτα στερεά

Από τη στατιστική ανάλυση για τα αδιάλυτα στερεά, παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π7) συμπεραίνεται ότι επίδραση στα αδιάλυτα στερεά έχουν τα λιπαρά, το είδος του κόμματος και η προσθήκη του, πριν ή μετά την ξήρανση. Ακόμη, αποδείχθηκε ότι υψηλότερες τιμές, δηλαδή λιγότερα αδιάλυτα στερεά παρουσιάζουν τα δείγματα με 0% λιπαρά και στη συνέχεια αυτά με 2% και με 5% λιπαρά. Οι τιμές για το 0% λιπαρών είναι σημαντικά διαφορετικές σε σχέση με τις άλλες δύο περιεκτικότητες. Υψηλότερες τιμές, άρα λιγότερα αδιάλυτα στερεά στο στόμα, έδειξαν τα δείγματα με πρωτεΐνη ορού γάλακτος. Οι τιμές των δειγμάτων αυτών ήταν σημαντικά διαφορετικές από εκείνων, των οποίων η διαφορετικότητα των τιμών τα κατατάσσει σε ομάδες πηκτίνη-ζελατίνη, CMC-αραβικό κόμμα. Τέλος, η διαδικασία προσθήκης κόμματος πριν την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την προσθήκη κόμματος μετά την ξήρανση.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι τα οργανοληπτικά αποτελέσματα, κοκκώδους υφής και αδιάλυτων στερεών ταυτίστηκαν με τα συμπεράσματα του κομμώδους, για τον παράγοντα προσθήκης κόμματος πριν ή μετά την ξήρανση και την περιεκτικότητα σε λιπαρά του γιαουρτιού. Συγκλίνουν επίσης οι απόψεις για την πρωτεΐνη ορού γάλακτος, παρόλα αυτά οι δοκιμαστές δεν μπόρεσαν να αντιληφθούν διαφορές μεταξύ CMC και αραβικού κόμματος. Πιθανή εξήγηση για αυτό το αποτέλεσμα θα μπορούσε να είναι ότι η ρευστότητα κάποιων δειγμάτων CMC και η γρήγορη ρευστοποίηση δειγμάτων αραβικού με τη θερμοκρασία του στόματος δυσκόλεψε τους δοκιμαστές.

6.2.6.3.B Συσσωματώματα

Από τη στατιστική ανάλυση για τα συσσωματώματα, παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π8) συμπεραίνεται ότι επίδραση στα συσσωματώματα έχουν τα λιπαρά, το είδος του κόμματος και η προσθήκη του, πριν ή μετά την ξήρανση. Ακόμη, αποδείχθηκε ότι υψηλότερες τιμές, δηλαδή λιγότερα συσσωματώματα παρουσιάζουν τα δείγματα με 0% λιπαρά και στη συνέχεια εκείνα με 2% και με 5% λιπαρά. Οι τιμές για το 0% λιπαρών είναι σημαντικά διαφορετικές σε σχέση με τις άλλες δύο περιεκτικότητες. Υψηλότερες τιμές, άρα λιγότερα συσσωματώματα στο στόμα, έδειξαν τα δείγματα με πρωτεΐνη ορού γάλακτος. Οι τιμές των

δειγμάτων αυτών μαζί με τις τιμές εκείνων με πηκτίνη και ζελατίνη, ήταν σημαντικά διαφορετικές από των άλλων δειγμάτων, CMC-αραβικού κόμμεος. Τέλος η διαδικασία προσθήκης των κόμμεων πριν την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την προσθήκη κόμμεων μετά την ξήρανση.

Τα συσσωματώματα μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελούν την αισθητική αντίληψη της προσκολλησιμότητας. Η παράμετρος αυτή προστέθηκε, διότι τα υδροκολλοειδή αν έχουν ενυδατωθεί μερικώς, δηλαδή είναι στο στάδιο πάχυνσης καθώς και σε αυξημένη ποσότητα προσκολλώνται στα δόντια και εμποδίζουν τη μάσηση. Τα αποτελέσματα όσον αφορά τα λιπαρά και την παράμετρο προσθήκης κόμμεων «πριν/μετά» την ξήρανση πάλι συναινούν και στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και στις αντικειμενικές μεθόδους. Παρόλα αυτά η πρωτεΐνη ορού γάλακτος πάλι έδωσε καλύτερα αποτελέσματα, λόγω μεγάλης συγγένειας των δύο υλικών, γιαούρτι-πρωτεΐνη γάλακτος. Ενώ το CMC-αραβικό κόμμα δυσκόλεψε στην αντίληψη των διαφορών. Η γρήγορη διαφυγή του νερού σε συνδυασμό με τη φύση του γιαουρτιού προκαλεί μία αίσθηση στυπτικότητας στο στόμα που δυσκολεύει την αντίληψη της προσκολλησιμότητας στα δόντια.

6.2.6.3.Γ Λιπαρότητα

Από τη στατιστική ανάλυση για τη λιπαρότητα, παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π9) συμπεραίνεται ότι επίδραση στη λιπαρότητα έχουν τα λιπαρά, το είδος του κόμμεος και η προσθήκη του, πριν ή μετά την ξήρανση. Ακόμη, αποδείχθηκε ότι υψηλότερες τιμές, παρουσιάζουν τα δείγματα με 2% λιπαρά και στη συνέχεια εκείνα με 5% και με 0% λιπαρά. Υψηλότερες τιμές, όσον αφορά τη λιπαρότητα στο στόμα, έδειξαν τα δείγματα με πρωτεΐνη ορού γάλακτος και χαμηλότερη τιμή τα δείγματα με πηκτίνη. Οι τιμές των δειγμάτων αυτών, ήταν σημαντικά διαφορετικές από των άλλων δειγμάτων. Τέλος η διαδικασία προσθήκης κόμμεων πριν την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές λιπαρότητας σε σύγκριση με την προσθήκη κόμμεων μετά την ξήρανση.

Η λιπαρότητα δεν έχει αντίκρισμα σε αντικειμενική μέτρηση. Αποτελεί το φιλμ που δημιουργείται γύρω από τη γλώσσα κατά την περιδίηση. Μετά την κατάποση δημιουργείται αίσθηση στυπτικότητας περιφερειακά στη στοματική κοιλότητα (μάγουλα-ούλα) και τελευταία στη γλώσσα. Αυτό αποτελεί μία ένδειξη καλής λιπαρότητας του προϊόντος. Τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 2% λιπαρών έδειξαν μία ομαλή και γενικά καλή λιπαρότητα. Τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 5% λιπαρών παρουσίασαν πολύ καλή λιπαρότητα με προσθήκη κόμμεος «πριν» την ξήρανση, αλλά τα ανασυσταμένα δείγματα σκόνης γιαουρτιού 5% λιπαρών με προσθήκη κόμμεος «μετά» την ξήρανση, λόγω ανομοιογενούς κατανομής τους δεν βοήθησαν την αίσθηση της λιπαρότητας στη γλώσσα. Τα δείγματα σκόνης γιαουρτιού 0% λιπαρών παρουσίασαν μία ψευδολιπαρότητα, λόγω της καλής ενσωμάτωσης του σάλιου στο πήγμα. Όσον αφορά τα κόμμεα, παρά το καλό πήγμα της πηκτίνης δεν δημιούργησε έντονη αίσθηση λιπαρότητας. Το πήγμα, ακόμη και αν δεν γινόταν αντιληπτό με το μάτι, παρουσίαζε μικρή συμπεριφορά γέλης που γλιστρούσε στη γλώσσα και αργούσε την εναπόθεση. Από την άλλη η πρωτεΐνη δεν δημιούργησε την αίσθηση ξένης συμπεριφοράς πάνω στο στόμα. Αυτή η μοιόμορφη αίσθηση καθώς και ο ιδιαίτερος τρόπος πάχυνσης που προκαλεί στο πήγμα προκάλεσε μία ψευδολιπαρότητα.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μεγάλη αύξηση του πρωτεϊνικού περιεχομένου δεν έχει πάντα τόσο θετικά χαρακτηριστικά. Όπως έχει αναφερθεί ανάλογα με το τι είδος πρωτεΐνης προστίθεται αλλάζουν τα χαρακτηριστικά του πηγματος. Άρα η ψευδολιπαρότητα δεν είναι γενικό χαρακτηριστικό που μπορεί να αποδοθεί σε όλες τις πρωτεΐνες, ούτε σε όλα τα

ποσοστά προσθήκης. Ακόμη να σημειωθεί ότι η πρωτεΐνη επιφέρει σημαντικές διαφορές στη γεύση και πολύ συχνά και flavor-off όπως θα αναφερθεί στα παρακάτω οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

6.2.6.4 Χρώμα

Από την στατιστική ανάλυση για το χρώμα, παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π10) συμπεραίνεται ότι επίδραση στο χρώμα έχουν τα λιπαρά, το είδος του κόμμεος και η προσθήκη του, πριν ή μετά την ξήρανση. Ακόμη, αποδείχθηκε ότι υψηλότερες τιμές χρώματος, παρουσιάζουν τα δείγματα με 0% λιπαρά και στη συνέχεια εκείνα με 5% και με 2% λιπαρά. Οι τιμές για το 0% λιπαρών είναι σημαντικά διαφορετικές σε σχέση με τις άλλες δύο περιεκτικότητες. Υψηλότερες τιμές, όσον αφορά τον τόνο του λευκού, έδειξαν τα δείγματα με πηκτίνη. Οι τιμές των δειγμάτων, μαζί με εκείνα που τους είχε προστεθεί ζελατίνη και πρωτεΐνη ορού γάλακτος είχαν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τα άλλα δείγματα. Τέλος, η διαδικασία προσθήκης κόμμεων πριν την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές χρώματος σε σύγκριση με την προσθήκη κόμμεων μετά την ξήρανση.

Το αντικειμενικό και το οργανοληπτικό χρώμα συμπίπτουν στην τάση του χρώματος όσον αφορά τα λιπαρά, παρόλο που τα μεν μετρήθηκαν στη σκόνη και τα δε εκτιμήθηκαν σε ανασυσταμένο γιαούρτι. Οι διαφορές που ενδεχομένως προέκυψαν μεταξύ των δύο μεθόδων όσον αφορά τα κόμμεα, οφείλονται στο ότι στην αντίληψη του χρώματος παίζει η μορφολογία του πήγματος. Ένα επίπεδο και γυαλιστερό πήγμα φαίνεται πιο ανοιχτόχρωμο από ένα κοκκώδες με ματ επιφάνεια πήγμα.

6.2.6.5 Γεύση

Από τη στατιστική ανάλυση για την όξινη γεύση του γιαουρτιού, παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π11) συμπεραίνεται ότι επίδραση στη γεύση του γιαουρτιού έχει το είδος του κόμμεος και η προσθήκη του, πριν ή μετά την ξήρανση. Ακόμη, υψηλότερες τιμές, δηλαδή πιο κοντά στη γεύση του γιαουρτιού, έδειξαν τα δείγματα με πρωτεΐνη ορού γάλακτος. Τέλος η διαδικασία προσθήκης κόμμεων πριν την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές όξινης γεύσης σε σύγκριση με την προσθήκη κόμμεων μετά την ξήρανση.

Ακόμη από την ανάλυση διακύμανσης για άλλη γεύση, παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π12) συμπεραίνεται ότι επίδραση στην παρουσίαση άλλων γεύσεων έχουν τα λιπαρά και το είδος του κόμμεος. Ακόμη, αποδείχθηκε ότι υψηλότερες τιμές άλλης γεύσης, παρουσιάζουν τα δείγματα με 0% λιπαρά και στη συνέχεια εκείνα με 5% και με 2% λιπαρά. Οι τιμές για το 0% και το 5% λιπαρών είναι σημαντικά διαφορετικές σε σχέση με το 2% λιπαρών. Υψηλότερες τιμές στην άλλη γεύση ανάλογα με το είδος του κόμμεος, έδειξαν τα δείγματα με αραβικό κόμμι. Οι τιμές των δειγμάτων αυτών, μαζί με εκείνα που τους είχε προστεθεί ζελατίνη, πηκτίνη και CMC είχαν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τα δείγματα με πρωτεΐνη ορού γάλακτος.

Η ξήρανση με κατάψυξη έχει την μικρότερη επίδραση στη γεύση. Έτσι όλες οι γεύσεις πλησίαζαν στην όξινη γεύση του γιαουρτιού. Οι εντάσεις του ξινού ήταν διαφοροποιημένες και ελαφρώς αυξημένες. Έτσι η προσθήκη πρωτεΐνης έπαιξε ένα εξισοροπητικό χαρακτήρα που όμως δεν προσδιορίστηκε ως γλυκός τόνος. Όσον αφορά τις διαφορετικές γεύσεις που εμφανίστηκαν, αποδίδονται κυρίως στις αλλαγές που επήλθαν κατά τη διεργασία στις πρωτεΐνες του γιαουρτιού και στα λιπαρά κυρίως. Τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 0% λιπαρών χαρακτηρίστηκαν με ένα τόνο πιο πλούσιας γεύσης που πλησίαζε τη γεύση του πλήρους γιαουρτιού. Συνήθως ο έντονος τόνος, όπως έχει αναφερθεί, αυτής της γεύσης

προσομοιάζεται με μαγειρεμένο γάλα, το οποίο δεν εντοπίστηκε στα παρόντα δείγματα. Ρόλο σε αυτό τον ήπιο τόνο που ουσιαστικά προσδίδει πλεονέκτημα στη γεύση, θα έπαιξε η χαμηλή θερμοκρασία ξήρανσης. Τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 5% λιπαρών χαρακτηρίστηκαν με πλούσια γεύση που κατά τη διάρκεια του προσδιορισμού της γεύσης άφηνε ένα ελαφρύ τόνο καμένου βουτύρου. Αυτός ο τόνος μπορεί να αποδοθεί στην υποβάθμιση των λιπαρών. Αντίθετα τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 2% λιπαρών δεν έδειξαν off-taste, αλλά δεν προσομοιάζαν τόσο έντονα τη γεύση γιαουρτιού με λιπαρά.

Η προσθήκη κόμμεος καθώς και ο παράγοντας της προσθήκης «πριν/μετά» την ξήρανση παίζουν σημαντικό ρόλο στη γεύση και στην εμφάνιση άλλης γεύσης. Ένας λόγος είναι ότι τα κόμμεα έχουν από μόνα τους γεύσεις, αλλά κυριότερος λόγος είναι το ότι επιδρούν στο πήγμα. Τα χαρακτηριστικά του πήγματος καθώς και η θερμοκρασία πρόσληψης παίζουν ρόλο στην αντίληψη των γεύσεων. Οι πρωτεΐνες σε μεγάλες περιεκτικότητες έχει παρατηρηθεί ότι έχουν πρόβλημα στη γεύση και έτσι συνιστάται η χρήση βελτιωτικών γεύσεων και υδατανθρακικών επικαλύψεων. Ακόμη, διαφορετική συμπεριφορά και επίδραση στη γεύση έχουν ως πρόσθετα σε πήγματα και διαφορετική σε ροφήματα. Στο παρόν πείραμα η προσθήκη σε αυτή την περιεκτικότητα δημιούργησε ένα πήγμα που βοήθησε στην απελευθέρωση των γεύσεων.

6.2.6.6 Άρωμα

Από τη στατιστική ανάλυση για το άρωμα γιαουρτιού, παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π13) συμπεραίνεται ότι επίδραση στο χαρακτηριστικό άρωμα γιαουρτιού έχουν τα λιπαρά, το είδος του κόμμεος και η προσθήκη του, πριν ή μετά την ξήρανση. Ακόμη, αδείχθηκε ότι υψηλότερες τιμές αρώματος, παρουσιάζουν τα δείγματα με 0% λιπαρά και στη συνέχεια εκείνα με 2% και με 5%. Οι τιμές για το 0% λιπαρών είναι σημαντικά διαφορετικές σε σχέση με τις άλλες δύο περιεκτικότητες. Υψηλότερες τιμές, όσον αφορά το άρωμα, ακόμη παρουσίασαν τα δείγματα με πρωτεΐνη ορού γάλακτος και χαμηλότερη το CMC. Οι τιμές των δειγμάτων πρωτεΐνης μαζί με εκείνα που τους είχε προστεθεί ζελατίνη και πηκτίνη είχαν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τα άλλα δείγματα. Τέλος, η διαδικασία προσθήκης κόμμεων πριν την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την προσθήκη κόμμεων μετά την ξήρανση.

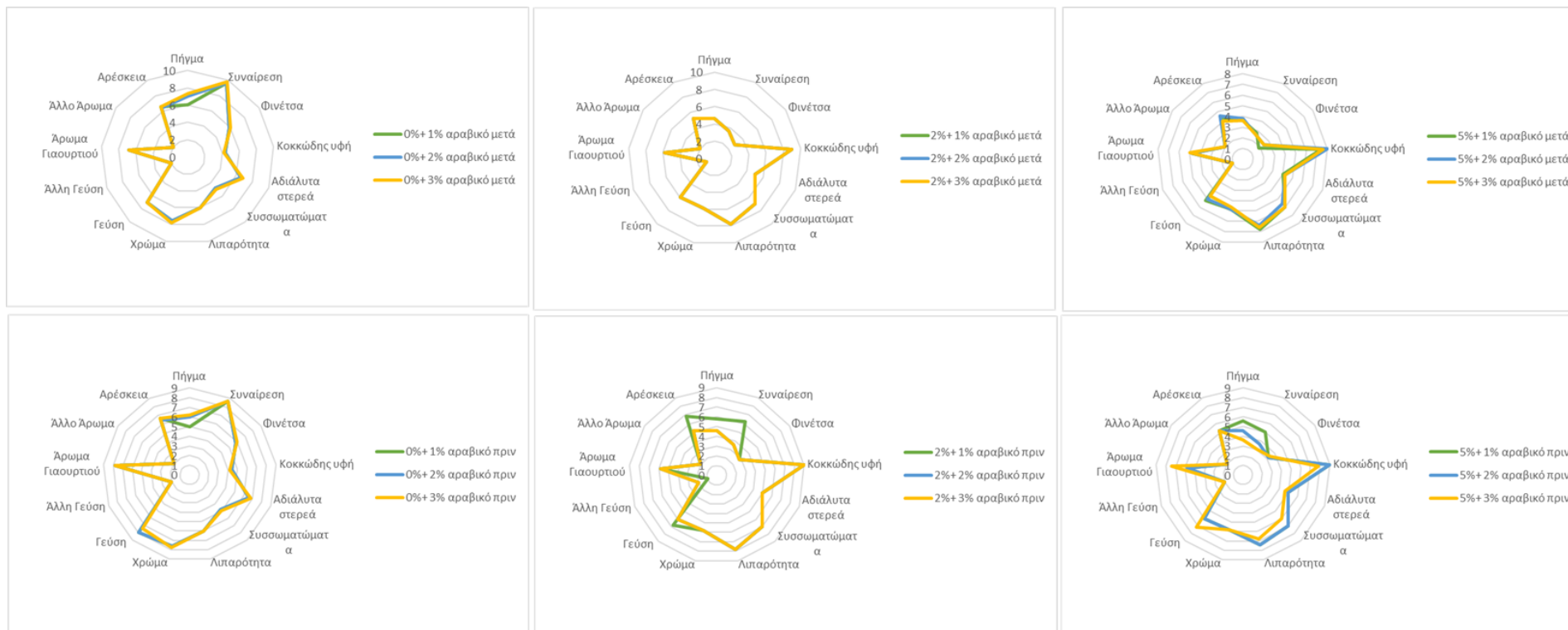
Ακόμη από την ανάλυση διακύμανσης για άλλο άρωμα, παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π14) συμπεραίνεται ότι επίδραση στην παρουσίαση άλλων αρωμάτων έχουν τα λιπαρά, το είδος του κόμμεος και η προσθήκη του, πριν ή μετά την ξήρανση. Ακόμη, αποδείχθηκε ότι υψηλότερες τιμές αρώματος, παρουσιάζουν τα δείγματα με 5% λιπαρά και στη συνέχεια εκείνα με 0% και με 2%. Οι τιμές για το 5% και το 0% λιπαρών είναι σημαντικά διαφορετικές σε σχέση με το 2% λιπαρών. Υψηλότερες τιμές, όσον αφορά το άλλο άρωμα, ακόμη παρουσίασαν τα δείγματα με αραβικό κόμμι και CMC, ενώ χαμηλότερη τιμή η ζελατίνη. Οι τιμές των δειγμάτων CMC και αραβικού κόμμεος είχαν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τα άλλα δείγματα. Τέλος, η διαδικασία προσθήκης κόμμεων μετά την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές αρώματος σε σύγκριση με την προσθήκη κόμμεων πριν την ξήρανση.

Τα πτητικά της γεύσης είναι πιο ξεκάθαρα στα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 0% λιπαρών και όσο αυξάνονται τα λιπαρά παρατηρείται ένα πιο βαρύ άρωμα. Η συμπεριφορά των κόμμεων ακολουθεί όσα περιεγράφηκαν παραπάνω για τη γεύση. Όσον αφορά το άλλο άρωμα τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 5% λιπαρών παρουσίασε άρωμα γάλακτος, τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 0% λιπαρών ελαφρείς τόνους βανιλίνης και τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 2% λιπαρών εξισορροπημένο άρωμα και σε μερικά δείγματα

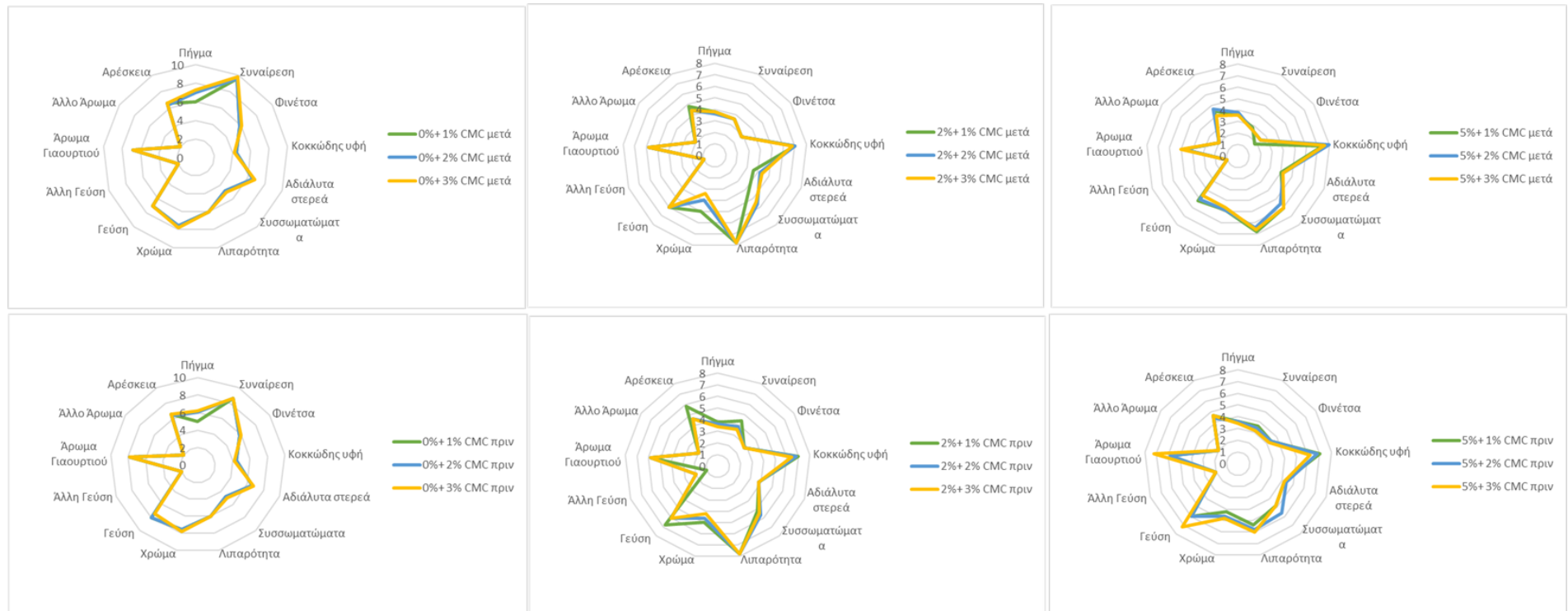
χαρακτηρίστηκε ότι η αντίληψη του αρώματος χρειαζόταν χρόνο. Τα συγκεκριμένα αρώματα όπως έχει αναφερθεί διευκολύνονται από τη θερμοκρασία. Εντονότατο άρωμα βανιλίνης είχε όλη η παραγωγική διαδικασία των δειγμάτων που προέρχονται από ξήρανση με ψεκασμό. Εδώ τέτοιοι τόνοι μπορεί να δικαιολογηθούν με την υπόθεση, ότι λόγω τυρβώδους ροής κατά την ανασύσταση υπήρξε τοπική αύξηση της θερμοκρασίας που μετά κατά την ψύξη, συγκρατήθηκαν στο πλέγμα που δημιουργήθηκε.

6.2.6.7 Αρέσκεια

Από τη στατιστική ανάλυση για τη συνολική αρέσκεια, παρατηρώντας τον πίνακα (εικόνα Π15) συμπεραίνεται ότι επίδραση στην αρέσκεια έχουν τα λιπαρά, το είδος του κόμματος και η προσθήκη του, πριν ή μετά την ξήρανση. Ακόμη, αποδείχθηκε ότι υψηλότερες τιμές αρέσκειας παρουσιάζουν τα δείγματα με 0% λιπαρά και στη συνέχεια εκείνα με 5% και με 2%. Οι τιμές για το 0% λιπαρών είναι σημαντικά διαφορετικές σε σχέση με τις άλλες δύο περιεκτικότητες. Υψηλότερες τιμές, όσον αφορά την αρέσκεια, έδειξαν τα δείγματα με πρωτεΐνη. Οι τιμές των δειγμάτων αυτών, μαζί με εκείνα που τους είχε προστεθεί ζελατίνη και πηκτίνη είχαν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τα άλλα δείγματα. Χαμηλότερες τιμές αρέσκειας συγκέντρωσαν τα δείγματα με CMC. Τέλος η διαδικασία προσθήκης κόμματος πριν την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές αρέσκειας σε σύγκριση με την προσθήκη κόμματος μετά την ξήρανση.



Διαγράμματα 6.2.6 Διαγράμματα οργανοληπτικού ελέγχου ανασυσταμένης σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που έχει προέλθει από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκolloειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 2^η)



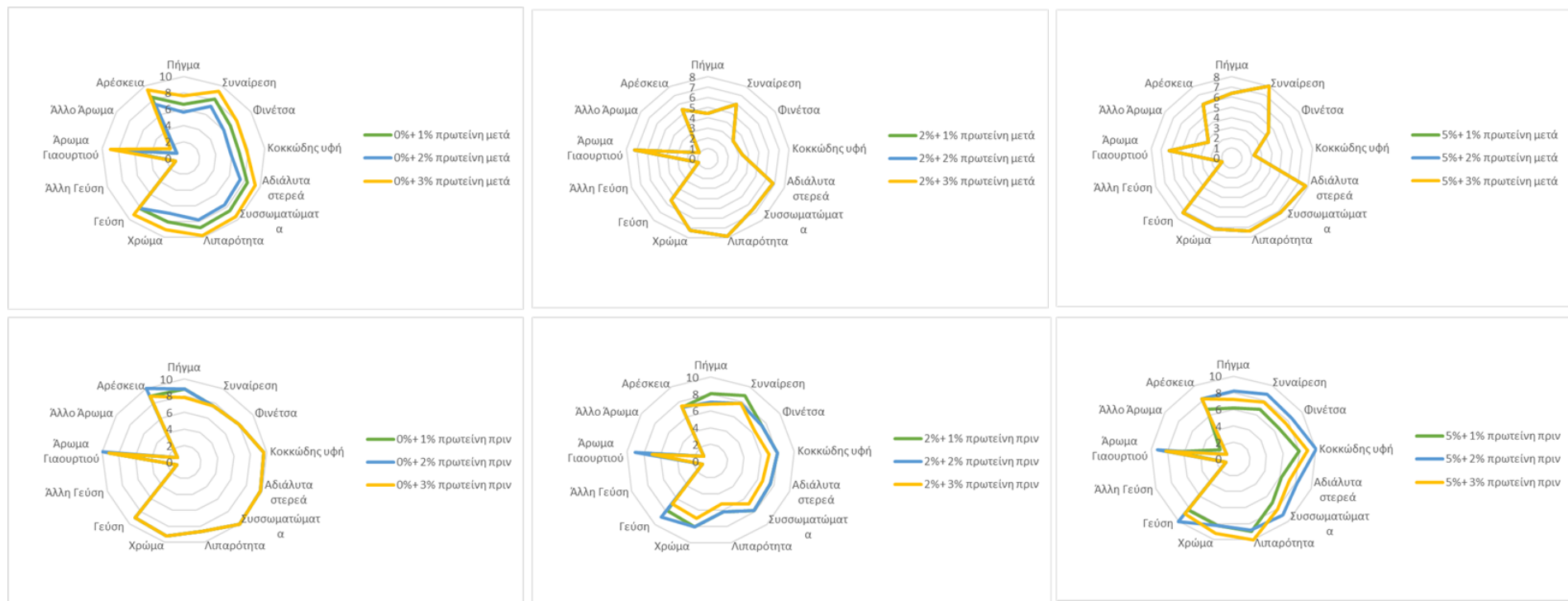
Διαγράμματα 6.2.6 Διαγράμματα οργανοληπτικού ελέγχου ανασυσταμένης σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που έχει προέλθει από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 2^η)



Διαγράμματα 6.2.6 Διαγράμματα οργανοληπτικού ελέγχου ανασυσταμένης σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που έχει προέλθει από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 2^η)



Διαγράμματα 6.2.6 Διαγράμματα οργανοληπτικού ελέγχου ανασυσταμένης σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που έχει προέλθει από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 2^η)



Διαγράμματα 6.2.6 Διαγράμματα οργανοληπτικού ελέγχου ανασυσταμένης σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που έχει προέλθει από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκolloειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 2^η)

6.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων παραχθείσας σκόνης γιαουρτιού 0% λιπαρών με ξήρανση με ψεκασμό σε διαφορετικές αραιώσεις (τροφοδοασίας) και σε διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης.

Από τα παρακάτω αποτελέσματα καθώς και από τα αποτελέσματα για βιωσιμότητα των βακτηρίων από τη βιβλιογραφία, καλύτερη θερμοκρασία ξήρανσης είναι οι 170°C με 20% w/v ως προς τη μάζα γιαουρτιού. Γενικά η παρατήρηση της παραγωγής σκόνης σε μεγάλες θερμοκρασίες επιβεβαίωσε τα αναφερόμενα προβλήματα κατά την ξήρανση με ψεκασμό. Η δοκιμή για ξήρανση δειγμάτων με λιπαρά σε διάφορες αραιώσεις είχε ως αποτέλεσμα, σε μικρές αραιώσεις να καίγονται τα λιπαρά και να προκαλούν προβλήματα στην διεργασία και με μεγάλες αραιώσεις να παραλαμβάνεται υγρή σκόνη. Τέλος η στατιστική ανάλυση των δειγμάτων που ξηράθηκαν με ψεκασμό δεν έδωσε αποτελέσματα σημαντικής επίδρασης των παραμέτρων καθώς το πλήθος ήταν μικρό.

6.3.1 Ενεργότητα νερού (a_w)

Η ενεργότητα του νερού κινήθηκε σε αποδεκτά όρια, 0,25-0,30 όπως κινήθηκαν και τα δείγματα της ξήρανσης με κατάψυξη. Γενική τάση που καταγράφεται είναι ότι η αύξηση της θερμοκρασίας παράγει σκόνες χαμηλότερης ενεργότητας νερού.

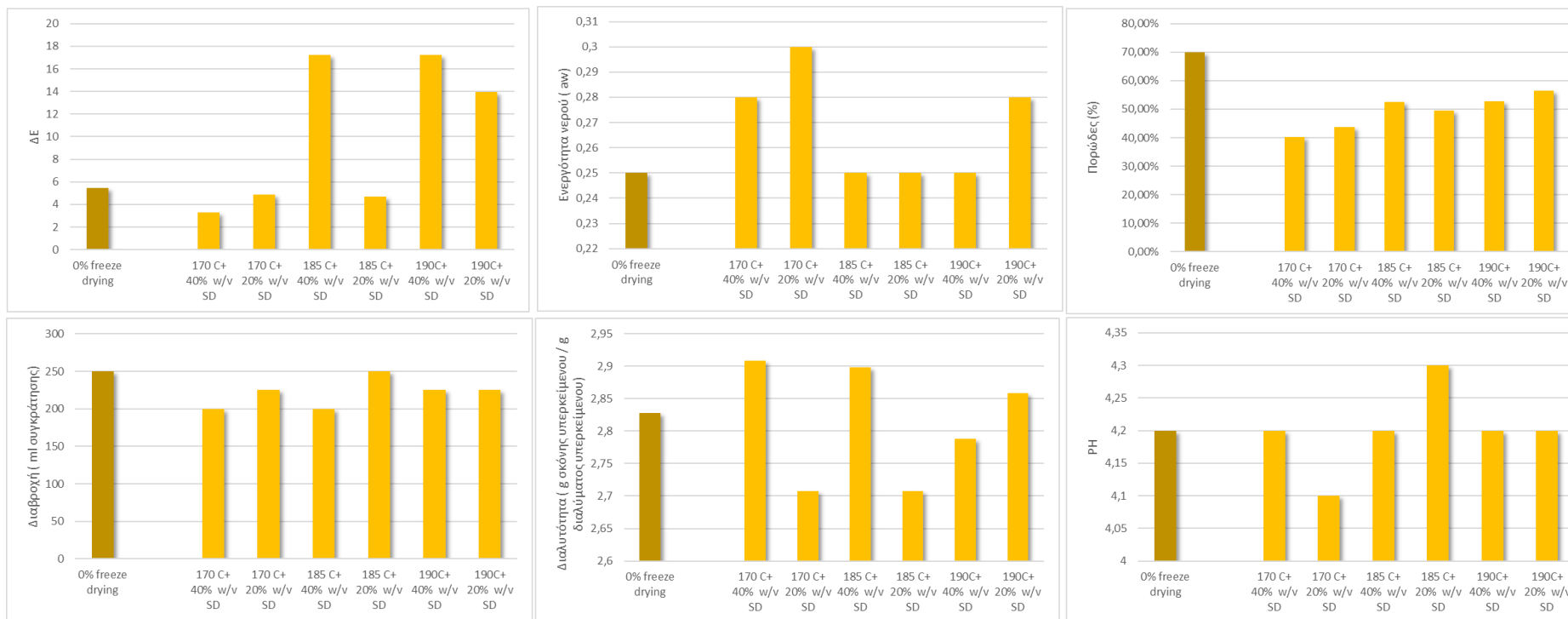
6.3.2 Διαβροχή - Διαλυτότητα

Όσον αφορά τη διαβροχή, τα δείγματα παρουσίασαν μία μειωμένη ικανότητα διαβροχής η οποία μπορεί να αποδοθεί στην αύξηση της υδροφοβικότητας της επιφάνειας όπως αναλύθηκε στο θεωρητικό μέρος. Για μεγάλες θερμοκρασίες η αύξηση της διαβροχής μπορεί να αποδοθεί είτε στο ότι η θερμοκρασία ήταν τόσο υψηλή για το σύστημα που διέστειλε τους πόρους, είτε στην παραγωγή ανομοιόμορφης σκόνης.

Η διαλυτότητα κινήθηκε σε μικρό εύρος 2,7-2,9 g υπερκείμενης σκόνης/ g υπερκείμενου υγρού. Οι διαφορές του 0,3 μπορούν να αποδοθούν στην πολύ λεπτόκοκκη σκόνη. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι στα δείγματα από ξήρανση με ψεκασμό δεν αναμένεται δημιουργία πήγματος. Ακόμη και τα εμπορικά προϊόντα διατίθενται για επικαλύψεις και γεμίσεις σε άλλα τρόφιμα ή για ροφήματα.

6.3.3 Χρώμα - Πορώδες - pH

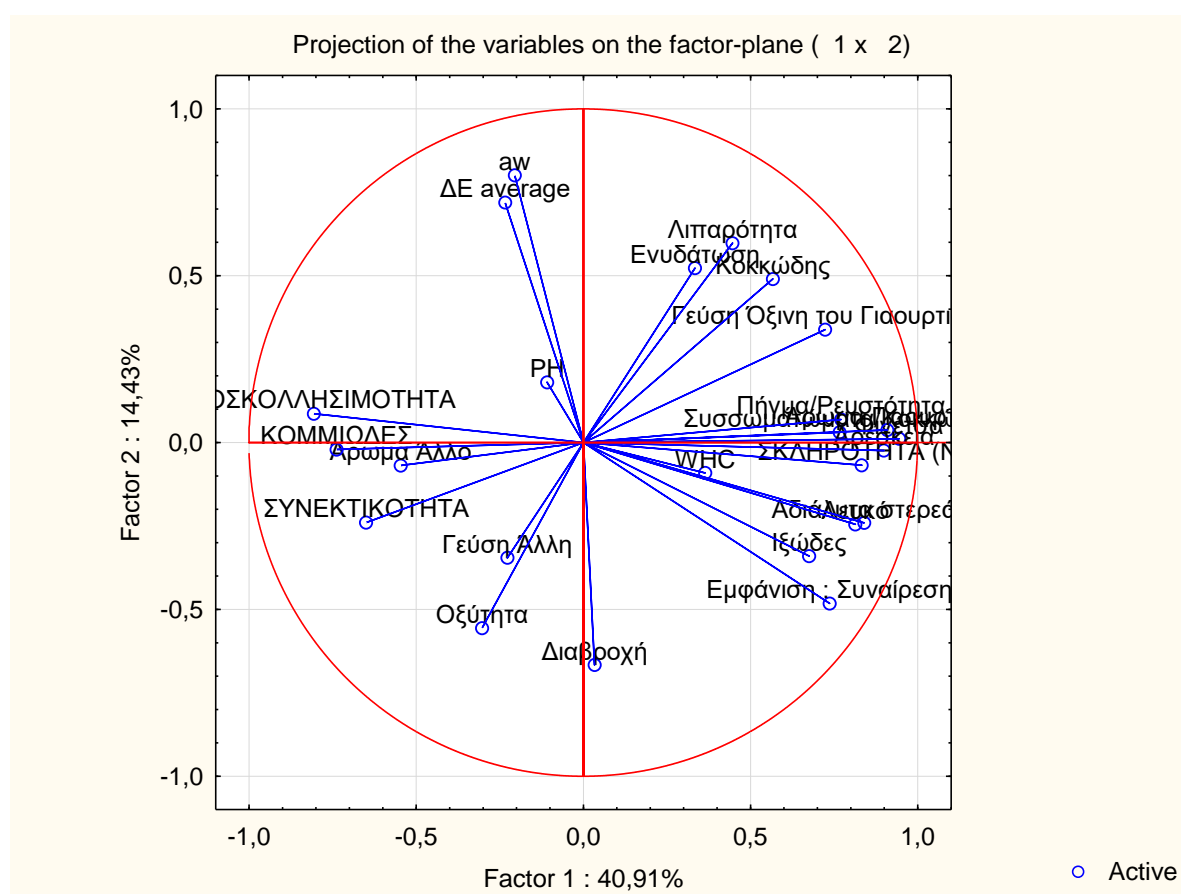
Όσον αφορά το χρώμα οι διαφορές που παρατηρήθηκαν σε μικρές θερμοκρασίες ανεξάρτητα από την αραιώση δεν απείχαν πολύ από τις διαφορές της ξήρανσης με κατάψυξη. Η αύξηση της θερμοκρασίας, όπως ήταν αναμενόμενο, λόγω αντιδράσεων Maillard αύξησε τις διαφορές. Παρόλα αυτά η μεγαλύτερη αραιώση μείωσε την υποβάθμιση του χρώματος, χωρίς να έχει μεγάλη επίδραση στην τελική ενεργότητα της σκόνης. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το ότι η υγρασία δέσμευσε τη θερμότητα παρεμποδίζοντας τις αντιδράσεις Maillard. Οι τιμές του πορώδους ήταν αισθητά χαμηλότερες από ότι τα δείγματα της ξήρανσης με κατάψυξη, σε εύρος 40%-50% που είναι χαρακτηριστικό για την ξήρανση με ψεκασμό. Τέλος το pH όπως και στην ξήρανσης με κατάψυξη δεν έδειξε σημαντικές διαφορές και κινήθηκε μεταξύ 4,1-4,3 .



Διάγραμμα 6.3 : Διαγράμματα σκόνης γιαουρτιού 0% λιπαρών με ξήρανση με ψεκασμό σε διαφορετικές αραιώσεις (τροφοδοσίας) και σε διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης.

6.4 Συσχέτιση αποτελεσμάτων, αντικειμενικών μετρήσεων με τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, για τις δυο σειρές πειραμάτων με εφαρμογή PCA (Principal Component Analysis)

Τα αποτελέσματα όλων των μετρήσεων και των αναλύσεων από την παραγωγή σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 1^η), καθώς και τα αποτελέσματα των μετρήσεων και των αναλύσεων από την ανασύσταση σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που έχει προέλθει από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση (Σειρά 2^η)επεξεργάστηκαν από το Statistica και ελήφθηκαν τα παρακάτω διαγράμματα.



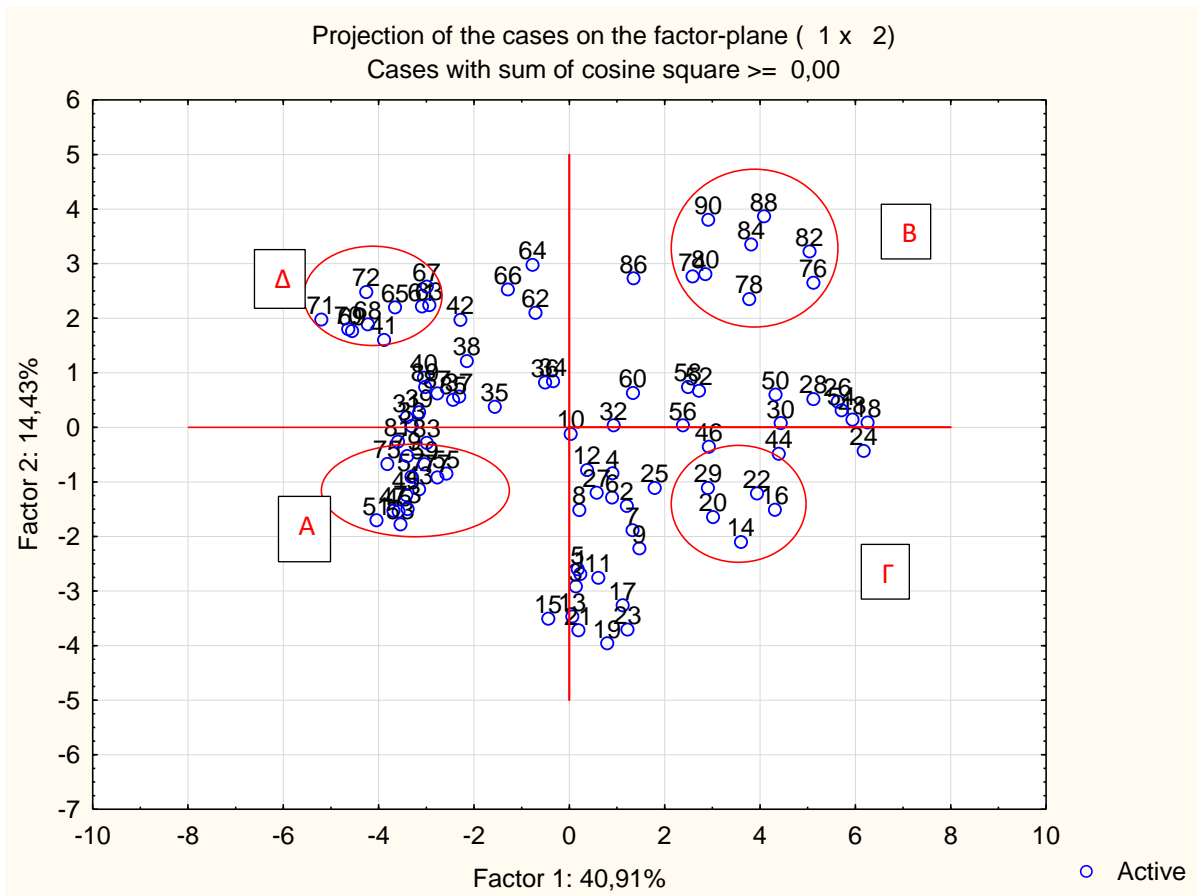
Διάγραμμα 6.6: Συσχέτιση των μετρήσιμων χαρακτηριστικών για τα δείγματα των σειρών πειραμάτων με κόμμα

Οι άξονες x,y αποτελούν τις κύριες συνιστώσες. Η πρώτη κύρια συνιστώσα συνεισφέρει κατά 40,91%, η δεύτερη κατά 14,43% στη διακύμανση του πειράματος και η συνολική συνεισφορά είναι 55,34%.

Η φινέτσα, τα αδιάλυτα στερεά, το λευκό χρώμα, το άρωμα του γιαουρτιού, η αρέσκεια και η σκληρότητα συνεισφέρουν ισχυρά στην πρώτη συνιστώσα. Όσον αφορά την δεύτερη συνιστώσα δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές επιδράσεις.

Οι ιδιότητες που παρουσιάζουν θετική συσχέτιση(δηλαδή όσο αυξάνεται η τιμή της μίας ιδιότητας τόσο αυξάνεται της άλλης) είναι: η αρέσκεια, το πήγμα, η συναίρεση, η φινέτσα, τα αδιάλυτα στερεά,

το λευκό χρώμα και το άρωμα. Θα πρέπει να σημειωθεί πάλι ότι για τη συναίρεση, τα αδιάλυτα στερεά και το κοκκώδες η αύξηση της τιμής σημαίνει αύξηση της αποδοχής δηλαδή λιγότερη συναίρεση, λιγότερα αδιάλυτα στερεά, λιγότεροι κόκκοι.



Διάγραμμα 6.7: Διάγραμμα δειγμάτων

Παρατηρώντας το διάγραμμα των δειγμάτων έγιναν τέσσερις ομαδοποιήσεις. Τα δείγματα της ομάδας A αποτελούνται από σκόνες γιαουρτιού 2% και 5% λιπαρών στις οποίες είχε προστεθεί πηκτίνη, ζελατίνη, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά την ξήρανση. Ακόμη στην ίδια ομάδα συμπεριλαμβάνονται δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 2% σε λιπαρά στα οποία είχε προστεθεί πρωτεΐνη ορού γάλακτος, σε όλες τις περιεκτικότητες, μετά τη διαδικασία ξήρανσης. Αυτή η ομάδα χαρακτηρίζεται από μειωμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και αυξημένο κομμώδες. Η ομάδα B περιλαμβάνει σκόνες γιαουρτιού 5% λιπαρών στα οποία είχε προστεθεί πηκτίνη, ζελατίνη και πρωτεΐνη ορού γάλακτος πριν τη διαδικασία ξήρανσης. Από αυτήν την ομάδα, αναμένεται, σε σχέση με την ομάδα A καλύτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και σκληρότητα, όπως και αποδεικνύεται.

Η ομάδα Γ περιλαμβάνει δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 0% λιπαρών στα οποία είχε προστεθεί πηκτίνη, ζελατίνη και πρωτεΐνη, πριν τη διαδικασία ξήρανσης. Αυτά τα δείγματα χαρακτηρίζονται από πολύ καλά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και καλό ιώδες. Η ομάδα Δ περιλαμβάνει δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 5% λιπαρών με προσθήκη CMC, ή αραβικού κόμματος μετά τη διαδικασία ξήρανσης. Στην ίδια ομάδα συμπεριλαμβάνονται και δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 5% λιπαρών με CMC, του οποίου η προσθήκη έγινε πριν τη διαδικασία ξήρανσης. Αυτή η ομάδα χαρακτηρίζεται από χαμηλό ιώδες και μειωμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και επαληθεύονται τα διαφορετικά χαρακτηριστικά της σε σχέση με την ομάδα Γ.

Οι ομάδες Α-Δ διαφέρουν ως προς τα κόμμεα. Έτσι η προσθήκη πηκτίνης, ζελατίνης ή πρωτεΐνης, της ομάδας Α, προσδίδει στα δείγματα καλύτερες τιμές ιξώδους και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, από το CMC και το αραβικό κόμμι που έχουν τα δείγματα της ομάδας Δ. Οι ομάδες Β-Γ διαφέρουν ως προς τα λιπαρά της σκόνης γιαουρτιού. Τα δείγματα με 0% λιπαρά της ομάδας Γ έχουν καλύτερες τιμές αντικειμενικών και οργανοληπτικών μετρήσεων σε σχέση με τα δείγματα που είχαν 5% λιπαρά, της ομάδας Β.

Οι ομάδες Α-Γ διαφέρουν ως προς τα λιπαρά και ως προς το χρόνο προσθήκης του κόμμεος. Έτσι τα δείγματα με 0% λιπαρά και με προσθήκη κόμμεος πριν την ξήρανση της ομάδας Γ έχουν καλύτερα οργανοληπτικά και αντικειμενικά αποτελέσματα σε σχέση με δείγματα σκόνης γιαουρτιού που έχουν λιπαρά και η προσθήκη του κόμμεος έγινε μετά την ξήρανση, ομάδα Α. Τέλος οι ομάδες Β-Δ διαφέρουν ως προς τα κόμμεα και το χρόνο προσθήκης τους. Έτσι τα δείγματα με πηκτίνη, ζελατίνη και πρωτεΐνη, όταν προστίθενται πριν την ξήρανση (ομάδα Β), έχουν καλύτερα αποτελέσματα από το CMC και το αραβικό κόμμι, το οποίο έχει προστεθεί μετά την ξήρανση (ομάδα Δ).

Κεφάλαιο 7 : Συμπεράσματα– Προτάσεις

7.1 Συμπεράσματα ανά σειρά πειραμάτων

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν πειράματα όπου στόχο είχαν να μελετήσουν την ξήρανση με διαφορετικές μεθόδους ξήρανσης, την επίδραση των λιπαρών του γιαουρτιού στην ξήρανση, στην παραχθείσα σκόνη καθώς και στην ανασύστασή της. Μελετήθηκε ακόμη η επίδραση διαφορετικών κόμμεων, διαφορετικών περιεκτικότητων, στη δημιουργία σκόνης και στην ανασύστασή της. Τέλος παρατηρήθηκε και η επίδραση της προσθήκης κόμμεων μετά την ξήρανση του γιαουρτιού, για τη δημιουργία μίγματος σκονών όπως και πριν την ξήρανση, ενσωματωμένων στην κύρια μάζα του νωπού γιαουρτιού. Για τη μελέτη όλων αυτών σχεδιάστηκαν τρεις σειρές πειραμάτων. Με βάση τα αποτελέσματα των σειρών θα παρατεθούν τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

Η σειρά πειραμάτων για την παραγωγή σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, με ξήρανση υπό κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση έδειξε ότι:

Όσον αφορά την ενεργότητα του νερού, όλα τα δείγματα κινήθηκαν σε εύρος τιμών 0,25 με 0,35. Τα δείγματα με 5 % λιπαρά παρουσίασαν τις πιο υψηλές τιμές ενεργότητας σε εύρος 0,3 με 0,35. Η προσθήκη κόμμεων πριν την ξήρανση παρουσιάζει μία γενική τάση αύξησης της ενεργότητας και ειδικά στα δείγματα με 5% λιπαρά.

Ακόμη η ικανότητα διαβροχής μειώνεται όσο αυξάνεται η υδροφοβικότητα της σκόνης. Έτσι μεγαλύτερη διαβροχή παρουσιάζουν οι σκόνες γιαουρτιού με 0% λιπαρά, ενώ μικρότερη διαβροχή παρουσιάζουν τα δείγματα με 5% λιπαρά. Η προσθήκη πηκτίνης αυξάνει την ικανότητα διαβροχής, ενώ η προσθήκη πρωτεΐνης ορού γάλακτος δυσκολεύει τη διαβροχή. Η προσθήκη κόμμεων πριν την ξήρανση βοηθά στην αύξηση της διαβροχής της σκόνης και ειδικότερα των δειγμάτων με 5% λιπαρά. Ακόμη η διαλυτότητα της σκόνης αυξάνεται με την προσθήκη κόμμεων και η προσθήκη τους πριν τη διαδικασία της ξήρανσης, στην κύρια μάζα του γιαουρτιού, επιδρά θετικά ειδικά στα δείγματα με λιπαρά. Οι συγκεκριμένες μέθοδοι προσδιορισμού διαβροχής και διαλυτότητας όταν εξετάσουν συστήματα με λιπαρά παρουσιάζουν κάποια φαινομενικά υψηλά αποτελέσματα λόγω διαχωρισμού των λιπαρών κατά τις φυγοκεντρήσεις. Παρόλα αυτά καταδεικνύουν μία συγκριτική τάση.

Για το πορώδες παρατηρήθηκε ότι με την αύξηση των λιπαρών υπάρχει τάση μείωσης του πορώδους, ενώ με την προσθήκη υδροκολλοειδών παρατηρείται τάση για αύξηση του πορώδους. Οι τιμές κινήθηκαν μεταξύ 60% και 70%, εύρος χαρακτηριστικό για την ξήρανση με κατάψυξη.

Το χρώμα της σκόνης με την ξήρανση υπό κατάψυξη έχει τη μικρότερη δυνατή υποβάθμιση. Παρόλα αυτά τα δείγματα με 5% λιπαρά παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη διαφορά χρώματος, ενώ τη μικρότερη τα δείγματα με 0% λιπαρά.

Η σειρά πειραμάτων για την ανασύσταση σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών λιπαρών, που έχει προέλθει από ξήρανση με κατάψυξη με προσθήκη υδροκολλοειδών, σε διαφορετικές περιεκτικότητες, μετά ή πριν την ξήρανση έδειξε ότι:

Το pH του ανασυσταμένου γιαουρτιού δεν επηρεάζεται σημαντικά από την ξήρανση, την περιεκτικότητα σε λιπαρά του γιαουρτιού, την προσθήκη κόμμεος, σε διαφορετικές περιεκτικότητες,

ή από την στιγμή προσθήκης του κόμμεος, μετά ή πριν την ξήρανση. Το pH κινήθηκε σε εύρος τιμών 4.0-4.4.

Όσον αφορά το ιξώδες υψηλότερες τιμές παρουσίασαν τα υπό ανασύσταση δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 0% λιπαρά (εύρος 8000-17.000 cps), ενώ χαμηλότερες τα υπό ανασύσταση δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 5% (εύρος 1.500 -12.000 cps). Συγκεκριμένα το μεγαλύτερο ιξώδες παρουσίασε το δείγμα με σκόνη γιαουρτιού 0% με προσθήκη 1% C|MC μετά την ξήρανση (17.000 cps), ενώ τη χαμηλότερη την παρουσίασαν δείγματα με 3% CMC μετά την ξήρανση, σε σκόνες γιαουρτιού 2%, 5% λιπαρών (περίπου σε 1.500cps). Παρόλα αυτά γενικά καλύτερο κόμμι κρίθηκε η πηκτική όσον αφορά το ιξώδες. Ακόμη η προσθήκη του κόμμεος πριν από την ξήρανση εμφανίζει πολύ καλύτερα αποτελέσματα στο ανασυσταμένο γιαούρτι σε σχέση με τα ανασυσταμένα γιαούρτια που έχουν προκύψει από σκόνη γιαουρτιού και κόμμεος, που έχει προστεθεί μετά την ξήρανση. Η μεγάλη αύξηση του ποσοστού των κόμμεων, πάνω από 3% και η προσθήκη αυτών μετά την ξήρανση του γιαουρτιού, παρέχει καλύτερο ιξώδες όμως παρουσιάζονται προβλήματα κατά την ανάδευση, μερικές φορές παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας και δημιουργία jellylike ή συσσωματωμένων προϊόντων. Επιπλέον δείγματα σκόνης γιαουρτιού 0% λιπαρών και 16% επιπλέον σκόνης 0% γιαουρτιού έδωσαν ιξώδες 18.200 cps, σχεδόν ίδιο με το τυποποιημένο γιαούρτι.

Η ικανότητα των δειγμάτων ανασυσταμένου γιαουρτιού για συγκράτηση νερού είναι εμφανώς μειωμένη. Η διαφορά κυμαίνεται γύρω στο 10-20% κάτω σε σχέση με το τυποποιημένο γιαούρτι. Η προσθήκη κόμμεος γενικά βελτιώνει τη συγκράτηση νερού. Επίσης τα δείγματα, των οποίων τα κόμμεα είχαν προστεθεί πριν από την ξήρανση, παρουσιάζουν μία πιο ομοιόμορφη ικανότητα συγκράτησης νερού. Σημαντική παρατήρηση είναι ο διαχωρισμός των λιπαρών κατά τις φυγοκεντρήσεις του ανασυσταμένου γιαουρτιού που προέρχονται από σκόνες 2% και 5% λιπαρών. Η σύγκριση των υπερκείμενων υγρών για δείγματα σκόνης γιαουρτιού με λιπαρά, στα οποία η προσθήκη κόμμεος έγινε πριν και μετά την ξήρανση δημιουργεί υποθέσεις και χρήζει περαιτέρω μελέτης.

Η σκληρότητα του ανασυσταμένου γιαουρτιού ανεξαρτήτως δείγματος είναι κατά πολύ μειωμένη (εύρος περίπου 0,1-0,45N) από τη σκληρότητα του τυποποιημένου γιαουρτιού (εύρος περίπου 1-1,2N). Όσον αφορά τη συνεκτικότητα τα δείγματα ανασυσταμένου γιαουρτιού εμφάνισαν εύρος τιμών περίπου 0,4-0,95 σε σχέση με το τυποποιημένο που παρουσίασε εύρος τιμών 0,6-0.85. Το δείγμα ανασυσταμένου γιαουρτιού με τη μεγαλύτερη συνεκτικότητα ήταν η σκόνη γιαουρτιού 2% λιπαρών χωρίς κόμμι. Υψηλότερη τιμή παρουσίασαν τα δείγματα με πρωτεΐνη ορού γάλακτος, όσον αφορά τα κόμμεα. Ακόμη η διαδικασία προσθήκης κόμμεων μετά την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την προσθήκη κόμμεων πριν την ξήρανση.

Η προσκολλησιμότητα τυποποιημένου γιαουρτιού με λιπαρά 2% και 5% ήταν στην περιοχή 70-80N*s, ενώ τα ανασυσταμένα δείγματα με την ίδια περιεκτικότητα σε λιπαρά και με την προσθήκη κόμμεων πριν ή μετά την ξήρανση παρουσίασαν προσκολλησιμότητα γύρω στο 10-35N*s. Ακόμη τα δείγματα ανασυσταμένου γιαουρτιού με 0% λιπαρά εμφάνισαν προσκολλησιμότητα περίπου 25-45 N*s έναντι περίπου 35 N*s του τυποποιημένου γιαουρτιού. Σημαντικά υψηλότερη τιμή παρουσίασε το αραβικό κόμμι και χαμηλότερη τιμή προσκολλησιμότητας παρουσίασε το CMC. Ακόμη η διαδικασία προσθήκης κόμμεων πριν την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την προσθήκη κόμμεων μετά την ξήρανση.

Το κομμώδες των δειγμάτων του ανασυσταμένου γιαουρτιού είναι σημαντικά μειωμένο. Για το τυποποιημένο γιαούρτι κυμαίνεται γύρω στο 0,7- 1 N, ενώ για το ανασυσταμένο γιαούρτι γύρω στο 0,1-0,25 N. Υψηλότερες τιμές παρουσιάζουν τα δείγματα με 5% λιπαρά. Σημαντικά υψηλότερη τιμή κομμώδους παρουσίασε η πρωτεΐνη ορού γάλακτος και χαμηλότερη τιμή το αραβικό κόμμι. Ακόμη

η διαδικασία προσθήκης κόμμεων μετά την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την προσθήκη κόμμεων πριν την ξήρανση.

Η οξύτητα των δειγμάτων ανασυσταμένου γιαουρτιού κυμαίνεται μεταξύ 1,4-2,2 % γαλακτικού οξέος έναντι του τυποποιημένου που κυμαίνεται στο 1,4-1,6 % γαλακτικού οξέος.

Όσον αφορά τον οργανοληπτικό έλεγχο διεξήχθησαν σημαντικά συμπεράσματα.

Η εμφάνιση του γιαουρτιού κρίθηκε ως προς το πήγμα και τη συναίρεση. Γενικά όσο μικραίνει η περιεκτικότητα σε λιπαρά και μεγαλώνει η περιεκτικότητα σε υδροκολλοειδή γίνεται αντιληπτό ένα πιο στέρεο πήγμα. Υψηλότερες τιμές όσον αφορά το πήγμα έδειξαν τα δείγματα με την προσθήκη πρωτεΐνης ορού γάλακτος. Τέλος, η διαδικασία προσθήκης κόμμεων πριν την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την προσθήκη κόμμεων μετά την ξήρανση. Ο αφρισμός που παρατηρήθηκε σε δείγματα με πρωτεΐνη ορού γάλακτος δεν σχολιάστηκε ως κάτι το αρνητικό, αλλά έδωσε την αίσθηση των κενών του τυποποιημένου γιαουρτιού. Σε αντίθεση η πηκτίνη και η ζελατίνη έδωσαν ένα πιο jellylike πήγμα το οποίο απείχε από το πήγμα γιαουρτιού από το οποίο είχε προέλθει. Ακόμη το CMC χαρακτηρίστηκε ακατάλληλο για πήγμα, αλλά ιδανικό για ρόφημα καθώς ήταν ρευστό και ομογενές.

Ακόμη, αποδείχθηκε ότι όσον αφορά τον παράγοντα «συναίρεσης» για τον οποίο κρίθηκαν τα δείγματα, υψηλότερες τιμές συγκράτησης νερού παρουσιάζουν τα δείγματα με 0% λιπαρά και στη συνέχεια αρκετά μικρότερες εκείνα με 5% και με 2% λιπαρά. Τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού φαίνεται ότι ακολουθούν την τάση της αντικειμενικής μέτρησης για την ικανότητα συγκράτησης του νερού. Ακόμη υψηλότερες τιμές όσον αφορά αυτή την ιδιότητα έδειξαν τα δείγματα με την προσθήκη πηκτίνης και ζελατίνης, που εμφάνισαν σχεδόν ταυτόσημες τιμές. Τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού φαίνεται ότι ακολουθούν την τάση της αντικειμενικής μέτρησης για την ικανότητα συγκράτησης του νερού.

Η υφή στο κουτάλι κρίθηκε ως προς την φινέτσα και το κοκκώδες. Καλύτερη φινέτσα παρουσίασαν τα ανασυσταμένα δείγματα με σκόνη 0% λιπαρά σε όλα τα δείγματα, ενώ τα 2% και 5% λιπαρών παρουσίασαν βελτίωση ως προς τη φινέτσα κατά την προσθήκη κόμμεος πριν την ξήρανση. Υψηλότερες τιμές όσον αφορά τη φινέτσα έδειξαν ακόμη τα δείγματα με πρωτεΐνη ορού γάλακτος και ακολούθησαν εκείνα με προσθήκη πηκτίνης και ζελατίνης. Επίσης οι κόκκοι στο κουτάλι ήταν πιο εμφανείς στα δείγματα που είχαν προέλθει από σκόνη με υδροκολλοειδή, τα οποία είχαν προστεθεί μετά την ξήρανση του γιαουρτιού.

Η υφή στο στόμα του ανασυσταμένου γιαουρτιού κρίθηκε ως προς τα αδιάλυτα στερεά, τα συσσωματώματα και τη λιπαρότητα. Υψηλότερες τιμές, δηλαδή λιγότερα αδιάλυτα στερεά παρουσιάζουν τα δείγματα με 0% λιπαρά και στη συνέχεια εκείνα με 2% και με 5% λιπαρά. Υψηλότερες τιμές υφής στο στόμα ακόμη έδειξαν τα δείγματα με πρωτεΐνη ορού γάλακτος και οι δοκιμαστές δεν μπόρεσαν να αντιληφθούν σημαντικές διαφορές ως προς τα αδιάλυτα στερεά μεταξύ των δειγμάτων που τους είχε προστεθεί CMC και αραβικό κόμμι. Για τα συσσωματώματα παρουσιάστηκαν υψηλότερες τιμές, δηλαδή λιγότερα συσσωματώματα τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 0% λιπαρών και ακολούθησαν εκείνα με 2% και με 5% λιπαρά. Όσον αφορά το κόμμι υψηλότερες τιμές υφής στο στόμα, άρα λιγότερα συσσωματώματα στο στόμα, έδειξαν τα δείγματα με πρωτεΐνη ορού γάλακτος καθώς και η διαδικασία προσθήκης κόμμεων πριν την ξήρανση. Τέλος, πολύ σημαντική κρίθηκε η μέτρηση της έντασης της λιπαρότητας του ανασυσταμένου γιαουρτιού. Τα δείγματα ανασυσταμένου γιαουρτιού από σκόνη με 2% λιπαρά εμφάνισαν υψηλότερες τιμές υφής στο στόμα και στη συνέχεια ακολούθησαν εκείνα με 5% και με 0% λιπαρά. Στη μέτρηση έπαιξε σπουδαίο ρόλο η ομοιόμορφη κατανομή των συστατικών καθώς και η ικανότητα ενσωμάτωσης του

σάλιου στο πήγμα. Έτσι τα ανασυσταμένα δείγματα με 5% λιπαρά είχαν μειωμένη αίσθηση λιπαρότητας, ειδικά όταν το κόμμα είχε προστεθεί μετά την ξήρανση και τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 0% λιπαρών παρουσίασαν μία ψευδολιπαρότητα. Όσον αφορά τα κόμματα, τα δείγματα με πρωτεΐνη ορού γάλακτος εμφάνισαν σημαντικά υψηλότερες τιμές υψής στο στόμα και χαμηλότερες τα δείγματα με πηκτίνη. Ακόμη η διαδικασία προσθήκης κόμματος πριν την ξήρανση παρουσίασε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την προσθήκη κόμματος μετά την ξήρανση.

Όσον αφορά το αντιληπτό χρώμα του οργανοληπτικού ελέγχου των ανασυσταμένων δειγμάτων συμπίπτει με την αντικειμενική μέτρηση του χρώματος της σκόνης όσον αφορά στην τάση του χρώματος για τις διαφορετικές περιεκτικότητες σε λιπαρά. Οι διαφορές που ενδεχομένως προέκυψαν μεταξύ των δύο μεθόδων όσον αφορά τα κόμματα, οφείλονται στο ότι στην αντίληψη του χρώματος παίζει η μορφολογία του πηγματος, και το πόσο ομαλή και γυαλιστερή είναι η επιφάνεια.

Η γεύση των ανασυσταμένων δειγμάτων χαρακτηρίστηκε ως προς την όξινη γεύση του γιαουρτιού και ως προς την αντίληψη άλλων γεύσεων. Όλα τα δείγματα πλησίαζαν την όξινη γεύση του γιαουρτιού. Συγκεκριμένα τα δείγματα με πρωτεΐνη ορού γάλακτος καθώς και η διαδικασία προσθήκης κόμματος πριν την ξήρανση οδήγησε σε υψηλότερες τιμές στη γεύση. Όσον αφορά την παρουσία άλλων γεύσεων τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 0% λιπαρών παρουσίασαν ένα τόνο πιο πλούσια γεύση που πλησίαζε τη γεύση του πλήρους, ενώ τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 5% λιπαρών παρουσίασε ένα ελαφρύ τόνο καμένου βουτύρου. Τέλος, η μορφή του πηγματος παίζει ρόλο στην αντίληψη των γεύσεων.

Το άρωμα των ανασυσταμένων δειγμάτων γιαουρτιού χαρακτηρίστηκαν ως προς το χαρακτηριστικό άρωμα του γιαουρτιού και τον εντοπισμό άλλων τόνων αρώματος. Τα πτητικά της γεύσης είναι πιο ξεκάθαρα στα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 0% λιπαρών και όσο αυξάνονται τα λιπαρά παρατηρείται ένα πιο βαρύ άρωμα. Όσον αφορά το άλλο άρωμα τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 5% λιπαρών παρουσίασε άρωμα γάλακτος, τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 0% λιπαρών ελαφρείς τόνους βανιλίνης και τα δείγματα με σκόνη γιαουρτιού 2% λιπαρών εξισορροπημένο άρωμα και σε μερικά δείγματα χαρακτηρίστηκε ότι η αντίληψη του αρώματος χρειαζόταν χρόνο.

Οι δοκιμαστές σχολιάζοντας τη συνολική αρέσκεια εκτίμησαν καλύτερα τα δείγματα ανασυσταμένου γιαουρτιού που είχαν προέλθει από σκόνη με 0% λιπαρά και στη συνέχεια τα δείγματα με 2% και 5% λιπαρά. Όσον αφορά τα κόμματα η σειρά αρέσκειας είχε ως εξής: πρωτεΐνη ορού γάλακτος, ζελατίνη/πηκτίνη, αραβικό κόμμα, CMC. Ακόμη τα δείγματα με προσθήκη κόμματος πριν την διαδικασία ξήρανσης ήταν πιο αρεστά από τα δείγματα στα οποία προστέθηκε το κόμμα μετά.

Η σειρά πειραμάτων παραχθείσας σκόνης γιαουρτιού 0% λιπαρών με ξήρανση με ψεκασμό σε διαφορετικές αραιώσεις (τροφοδοσίας) και σε διαφορετικές θερμοκρασίες, έδωσε τα εξής συμπεράσματα:

Καλύτερη θερμοκρασία ξήρανσης είναι οι 170 °C με 20%w/v αραιώση ως προς τη μάζα γιαουρτιού τροφοδοσίας. Η ενεργότητα του νερού κινήθηκε σε αποδεκτά όρια, 0,25- 0,30 όπως κινήθηκαν και τα δείγματα της ξήρανσης με κατάψυξη. Όσον αφορά τη διαβροχή, τα δείγματα αφυδατωμένου γιαουρτιού παρουσίασαν μία μειωμένη ικανότητα διαβροχής η οποία μπορεί να αποδοθεί στην αύξηση της υδροφοβικότητας της επιφάνειας. Η αύξηση της θερμοκρασίας αύξησε τις διαφορές στο χρώμα. Οι τιμές του πορώδους ήταν αισθητά χαμηλότερες από ότι στα δείγματα από ξήρανση με κατάψυξη, σε εύρος 40%-50% που είναι χαρακτηριστικό για την ξήρανση με ψεκασμό. Τέλος το pH όπως και στην ξήρανση με κατάψυξη δεν έδειξε σημαντικές διαφορές και κινήθηκε μεταξύ 4,1-4,3. Γενικά η παρατήρηση της παραγωγής σκόνης σε μεγάλες θερμοκρασίες επιβεβαίωσε τα αναφερόμενα προβλήματα κατά την ξήρανση με ψεκασμό. Η δοκιμή για ξήρανση δειγμάτων με

λιπαρά σε διάφορες αραιώσεις είχε ως αποτέλεσμα, σε μικρές αραιώσεις να καίγονται τα λιπαρά και να προκαλούν προβλήματα στη διεργασία και με μεγάλες αραιώσεις να παραλαμβάνεται υγρή σκόνη. Τέλος, η στατιστική ανάλυση των δειγμάτων που ξηράθηκαν με ψεκασμό δεν έδωσε αποτελέσματα σημαντικής επίδρασης των παραμέτρων καθώς το πλήθος ήταν μικρό.

7.2 Συγκριτικά συμπεράσματα και υποθέσεις για τις δυο πρώτες σειρές πειραμάτων

Λόγω της συγγένειας των δύο σειρών πειραμάτων έγινε συσχέτιση αποτελεσμάτων, με εφαρμογή PCA (Principal Component Analysis). Από την ανάλυση συμπερασματικά προέκυψε ότι η αρέσκεια, το πήγμα, η συναίρεση, η φινέτσα, τα αδιάλυτα στερεά, το λευκό χρώμα και το άρωμα έχουν συσχέτιση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για τη συναίρεση, τα αδιάλυτα στερεά και το κοκκώδες η αύξηση της τιμής σημαίνει αύξηση της αποδοχής, δηλαδή λιγότερη συναίρεση, λιγότερα αδιάλυτα στερεά και λιγότεροι κόκκοι. Ακόμη από το διάγραμμα των δειγμάτων δημιουργήθηκαν ομάδες οι οποίες συσχετίστηκαν με τις παραμέτρους. Ακόμα σημειώθηκαν οι διαφορές των αντιδιαμετρικών ομάδων, δίνοντας έτσι μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τη συμπεριφορά των δειγμάτων.

Ακόμη με την κάθετη ανάγνωση των αποτελεσμάτων των δύο πρώτων σειρών πειραμάτων διεξάγονται τα εξής συμπεράσματα και υποθέσεις: Η προσθήκη κόμμεων πριν τη διαδικασία της ξήρασης επιφέρει πολλά πλεονεκτήματα τόσο στην παραχθείσα σκόνη όσο και στις ιδιότητες ανασύστασής της. Τα κόμμεα προστιθέμενα στην κύρια μάζα του γιαουρτιού, ελαφρώς ενεργοποιημένα (στάδιο πάχυνσης), δεσμεύουν την υγρασία του γιαουρτιού για την πλήρη ενυδάτωσή τους, και έτσι έρχονται σε επαφή με τα συστατικά του γιαουρτιού. Ανάλογα με τη φύση τους και την περιεκτικότητά τους δημιουργούν ένα πλέγμα με τις πρωτεΐνες και τους υδατάνθρακες και στη συνέχεια σχηματίζουν ειδικές κοιλότητες για τα λιπαρά. Όταν αφυδατώνεται το μίγμα, εάν η περιεκτικότητα των κόμμεων είναι επαρκής, λαμβάνουν χώρα σε όλη την έκταση ίδιες μεταβολές. Έτσι η σκόνη που δημιουργείται έχει μία ταχύτητα ενυδάτωσης. Απεναντίας στα μίγματα σκόνων γιαουρτιού και υδροκολλοειδών που έχουν προστεθεί μετά την ξήραση του γιαουρτιού, ως σκόνες, δημιουργούνται προβλήματα λόγω της διαφορετικής ταχύτητας ενυδάτωσης και της κοκκομετρίας.

Ακόμη όσον αφορά τα λιπαρά/υδροφοβικά τμήματα, μπορεί να γίνει η υπόθεση ότι μέρος αυτών εγκλωβίζεται μέσα στο δημιουργούμενο πλέγμα υδροκολλοειδών-πρωτεϊνών-υδατανθράκων. Κατά την ανασύσταση ενυδατώνεται πρώτα το υδρόφιλο πλέγμα γύρω από αυτά, δημιουργεί περιβάλλον μεγαλύτερου ιξώδους και τα λιπαρά διασπείρονται τελευταία μέσα σε ένα πήγμα που τα εμποδίζει να βρεθούν στην επιφάνεια και να πραγματοποιηθεί συναίρεση. Από την άλλη, κατά την ανασύσταση μίγματος σκόνων γιαουρτιού με λιπαρά και προστιθέμενα κόμμεα, ως σκόνες, μετά την ξήραση γίνεται η υπόθεση ότι: κόκκοι με μεγαλύτερο ποσοστό λιπαρών ανεβαίνουν στην επιφάνεια του υγρού, εμποδίζοντας και ένα ποσοστό πρωτεϊνών και υδατανθράκων να ενυδατωθεί. Η ενυδάτωση των κόμμεων γίνεται πιο γρήγορα, αλλά σε απομακρυσμένα σημεία από τα συστατικά του γιαουρτιού. Κατά αυτόν τον τρόπο η αύξηση του ιξώδους είναι τυχαία. Η υψηλή ταχύτητα ομογενοποίησης βοηθά στην καλύτερη διασπορά των πρωτεϊνών -υδατανθράκων - μέσα στο πήγμα των υδροκολλοειδών, όμως η διασπορά των λιπαρών είναι δυσκολότερη και πιο τυχαία λόγω υδροφοβικότητας.

Αυτές οι διαδικασίες αποτελούν μία υπόθεση της συμπεριφοράς των συστατικών του γιαουρτιού κατά την ανασύσταση, που δικαιολογεί τα καλύτερα χαρακτηριστικά που προσέδωσε η προσθήκη υδροκολλοειδών σε γιαούρτι με λιπαρά, πριν την ξήραση. Παρόλα αυτά για την ισχυροποίηση αυτής της υπόθεσης χρειάζεται περαιτέρω πειραματική έρευνα.

7.3 Προτάσεις

7.3.α Προτάσεις Αξιοποίησης των αποτελεσμάτων

Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα, σε συνδυασμό με τις επικρατούσες τάσεις της αγοράς μπορούν, αν παραγκωνιστεί η προς το παρόν απαγορευτική οικονομική επιβάρυνση της διεργασίας της ξήρανσης με κατάψυξη, μπορούν να μεταφραστούν σε προτάσεις για νέα προϊόντα. Ο παρακάτω πίνακας αποτελεί κατευθυντήρια γραμμή και επιβάλλεται η πειραματική επιβεβαίωσή τους.

Προϊόν	Απαιτήσεις	Προδιαγραφές	Παρατηρήσεις
Γιαούρτι 2% (ready to eat)	Γρήγορη ανασύσταση Καλό πήγμα 2% λιπαρά Μεγάλη συνολική αρέσκεια	Μίγμα σκόνης γιαουρτιού με 0% λιπαρά + 1% πρωτεΐνη , προστιθέμενο πριν την ξήρανση και σκόνης γιαουρτιού με 5% λιπαρά +3% πηκτίνη/ζελατίνη προστιθέμενο πριν την ξήρανση	Καλύτερο πήγμα Με συνολικά λιπαρά 2% Καλύτερη συνολική αρέσκεια
Γιαούρτι που ανάλογα την ανασύσταση γίνεται γιαούρτι ή ρόφημα 0% λιπαρά και 2% λιπαρά	Γρήγορη ανασύσταση Μεταβαλλόμενο πήγμα 0% και 2% λιπαρά	Για το 0% ανασυσταμένο γιαούρτι : μίγμα σκόνης γιαουρτιού με 0% λιπαρά + 3% πρωτεΐνη, προστιθέμενη πριν την ξήρανση και σκόνης γιαουρτιού 0% με λιπαρά + 1% CMC προστιθέμενο μετά την ξήρανση Για το 2% ανασυσταμένο γιαούρτι : μίγμα σκόνης γιαουρτιού με 2% λιπαρά + 3% πρωτεΐνη προστιθέμενη πριν την ξήρανση και σκόνης γιαουρτιού με 2% λιπαρά + 1% αραβικό κόμμι προστιθέμενο πριν την ξήρανση	Η χρήση shaker με περισσότερο νερό θα δώσει ένα ελαφρώς πηκτό ρόφημα, μίξερ του καφέ σε μπολάκι με λιγότερο νερό και ψύξη στο ψυγείο θα δώσει γιαούρτι
Φθηνότερο οικονομικά γιαούρτι 2%	Προσομοίωση του γιαουρτιού	Μίγμα σκόνης γιαουρτιού με 0% λιπαρά που έχει ξηρανθεί με ψεκασμό σε συνθήκες 170°C + 20% w/v αραίωση και σκόνης γιαουρτιού με 5% λιπαρά + 3% ζελατίνη που έχει προστεθεί πριν την ξήρανση με κατάψυξη (σε λιγότερη ποσότητα)	Η σκόνη γιαουρτιού από την ξήρανση με κατάψυξη προστέθηκε για να προσδώσει στο ανασυσταμένο γιαούρτι καλύτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά ενώ η προσθήκη σκόνης γιαουρτιού με ξήρανση με ψεκασμό προστέθηκε ως οικονομικότερη πρώτη ύλη.
Γιαούρτι με δημητριακά - flakes(ανασύσταση ξεχωριστά)	χαμηλού ιξώδους γιαούρτι για να είναι εύκολη η ενυδάτωση τους	Σκόνη γιαουρτιού με 2% λιπαρά + 3% CMC που έχει προστεθεί πριν την ξήρανση ή	Ανάλογα αν τα Flakes έχουν γλυκαντική επικάλυψη μπορεί να

		σκόνη γιαουρτιού με 0% λιπαρά + 1% αραβικό που έχει προστεθεί μετά Ή Σκόνη γιαουρτιού με 5% λιπαρά + 3% αραβικού κόμματος που έχει προστεθεί πριν την ξήρανση	ρυθμίζεται ανάλογα το pH για πιο ξινή γεύση.
Γιαούρτι με δημητριακά (ανασύσταση στο ίδιο μπολ)	Μεσαίο ιξώδες Δημητριακά που ενυδατώνονται αργά (πίτουρο, βρόμη σε μπάλες)	Σκόνη γιαουρτιού με 0% λιπαρά + 2% πηκτίνη που έχει προστεθεί πριν την ξήρανση ή σκόνη γιαουρτιού με 2% λιπαρά + 3% αραβικό κόμμι που έχει προστεθεί πριν την ξήρανση ή σκόνη γιαουρτιού με 5% λιπαρά + 1% πηκτίνη που έχει προστεθεί πριν την ξήρανση	Η προσθήκη φρούτων αλλάζει την επιλογή υδροκολλοειδών και pH.

7.3.β Προτάσεις περαιτέρω μελέτης

Είναι πολύ σημαντική η μελέτη παραγωγής σκόνης γιαουρτιού με ξήρανση με ψεκασμό καθώς και η μελέτη βελτιστοποίησής της με βάση τα αποτελέσματα που δίνει η ξήρανση με κατάψυξη. Προτείνεται ακόμη η μελέτη ξήρανσης με ψεκασμό γιαουρτιού δύο σταδίων, (top spray agglomeration) με τη χρήση υδροκολλοειδών υγρών για συσσωμάτωση κατά το δεύτερο στάδιο ξήρανσης. Ακόμη, ενδιαφέρον έχει η δημιουργία μιγμάτων συσσωματωμένης σκόνης γιαουρτιού, διαφορετικών ποσοστών, που έχουν προέλθει από διαφορετικούς τρόπους ξήρανσης. Οι μετρήσεις της διαβροχής, της διαλυτότητας και του πορώδους είναι πολύ σημαντικές για το χαρακτηρισμό της σκόνης και της μετέπειτα συμπεριφοράς της στην ανασύσταση. Έτσι για πιο ακριβή αποτελέσματα προτείνεται η χρήση άλλων μεθόδων και η σύγκριση των αποτελεσμάτων με εικόνες SEM ή άλλως ειδικών αναλύσεων εικόνας και τοπογραφίας της μικροδομής. Τέλος, προτείνεται περαιτέρω μελέτη για μείωση του χρόνου ανασύστασης της σκόνης γιαουρτιού και αύξηση του ιξώδους του τελικού πηγματος, με τη μεταβολή του πορώδους, με χρήση και μελέτη άλλων κόμμεων καθώς και με τη χρήση επικαλύψεων.

Βιβλιογραφία

- Adhikari, B., Howes, T., Shrestha, A. K., & Bhandari, B. R. (2007). Development of stickiness of whey protein isolate and lactose droplets during convective drying. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 420–428. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.07.014>
- Allen, L., Benoist, B. De, Dary, O., & Hurrell, R. (2006). Guidelines on Food Fortification With Micronutrients. Who, Fao Un, 341. <https://doi.org/10.1242/jeb.02490>
- Anandharamakrishnan C, (2017). Handbook of Drying for Dairy Products, John Wiley & Sons Ltd
- Anandharamakrishnan, C., Rielly, C. D., & Stapley, A. G. F. (2007). Effects of Process Variables on the Denaturation of Whey Proteins during Spray Drying. *Drying Technology*, 25(5), 799–807. <https://doi.org/10.1080/07373930701370175>
- Augustin, M. A., & Clarke, P. T. (2008). Skim milk powders with enhanced foaming and steam-frothing properties. *Dairy Science and Technology*, 88(1), 149–161. <https://doi.org/10.1051/dst:2007012>
- Beausire, R. (2015). Technical Report : Understanding the Role of Dairy Proteins in Ingredient and Product Performance Edited by :, 1–16.
- Bernard, C., Regnault, S., Gendreau, S., Charbonneau, S., & Relkin, P. (2011). Enhancement of emulsifying properties of whey proteins by controlling spray-drying parameters. *Food Hydrocolloids*, 25(4), 758–763. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.08.011>
- Bielecka, M., & Majkowska, A. (2000). Effect of spray drying temperature of yoghurt on the survival of starter cultures, moisture content and sensoric properties of yoghurt powder. *Nahrung - Food*, 44(4), 257–260. [https://doi.org/10.1002/1521-3803\(20000701\)44:4<257::AID-FOOD257>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/1521-3803(20000701)44:4<257::AID-FOOD257>3.0.CO;2-E)
- Birchal, V. S., Huang, L., Mujumdar, A. S., & Passos, M. L. (2006). Spray dryers: Modeling and simulation. *Drying Technology*, 24(3), 359–371. <https://doi.org/10.1080/07373930600564431>
- Caric, M. (2002) Milk powders: types and manufacture. In: Encyclopedia of Dairy Sciences (eds Roginski, H., Fuquay, J.W. & Fox, P.F.), pp. 1869–1874, Academic Press, London.
- Carvalho, M. J., Perez-Palacios, T., & Ruiz-Carrascal, J. (2017). Physico-chemical and sensory characteristics of freeze-dried and air-dehydrated yogurt foam. *LWT - Food Science and Technology*, 80, 328–334. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.039>
- Chanamai, R., & McClements, D. J. (2002). Comparison of Gum Arabic, Modified Starch, and Whey Protein Isolate as Emulsifiers: Influence of pH, CaCl₂ and Temperature. *Journal of Food Science*, 67(1), 120–125. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb11370.x>
- Chandan, R. C. (2007). Manufacturing Yogurt and Fermented Milks. *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks*. <https://doi.org/10.1002/9780470277812>
- Chávez, B. E., & Ledebøer, A. M. (2007). Drying of probiotics: Optimization of formulation and process to enhance storage survival. *Drying Technology*, 25(7–8), 1193–1201. <https://doi.org/10.1080/07373930701438576>

Chen, J., & Stokes, J. R. (2012). Rheology and tribology: Two distinctive regimes of food texture sensation. *Trends in Food Science and Technology*, 25(1), 4–12. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.11.006>

Chojnicka-Paszun, A., Doussinault, S., & De Jongh, H. H. J. (2014). Sensorial analysis of polysaccharide-gelled protein particle dispersions in relation to lubrication and viscosity properties. *Food Research International*, 56, 199–210. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.12.035>

Conrad, P. B., Miller, D. P., Cielenski, P. R., & De Pablo, J. J. (2000). Stabilization and preservation of *Lactobacillus acidophilus* in saccharide matrices. *Cryobiology*, 41(1), 17–24. <https://doi.org/10.1006/cryo.2000.2260>

Crittenden, R., Laitila, A., Forssell, P., Mättö, J., Saarela, M., Mattila-Sandholm, T., & Myllärinen, P. (2001). Adhesion of Bifidobacteria to Granular Starch and Its Implications in Probiotic Technologies. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(8), 3469–3475. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.8.3469-3475.2001>

Crowley, S. V., Desautel, B., Gazi, I., Kelly, A. L., Huppertz, T., & O'Mahony, J. A. (2015). Rehydration characteristics of milk protein concentrate powders. *Journal of Food Engineering*, 149, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.09.033>

De Kruif, C. G., Weinbreck, F., & De Vries, R. (2004). Complex coacervation of proteins and anionic polysaccharides. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 9(5), 340–349. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2004.09.006>

Devakate, R. V., Patil, V. V., Waje, S. S., & Thorat, B. N. (2009). Purification and drying of bromelain. *Separation and Purification Technology*, 64(3), 259–264. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2008.09.012>

Dickinson, E. (2003). Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids*, 17(1), 25–39. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00120-5](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00120-5)

Dobry, D. E., Settell, D. M., Baumann, J. M., Ray, R. J., Graham, L. J., & Beyerinck, R. A. (2009). A model-based methodology for spray-drying process development. *Journal of Pharmaceutical Innovation*, 4(3), 133–142. <https://doi.org/10.1007/s12247-009-9064-4>

Elwell M.W., Barbano D. M. (2006). Use of microfiltration to improve fluid milk quality in *Journal of Dairy Science*, Elsevier, 89, E20–E30

Fan, F., & Roos, Y. H. (2015). X-ray diffraction analysis of lactose crystallization in freeze-dried lactose-whey protein systems. *Food Research International*, 67, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.10.023>

Fang, Y., Rogers, S., Selomulya, C., & Chen, X. D. (2012). Functionality of milk protein concentrate: Effect of spray drying temperature. *Biochemical Engineering Journal*, 62, 101–105. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2011.05.007>

Farnworth, E.R. (2008). *Handbook of Fermented Functional Foods*. Functional foods and nutraceuticals series. CRC Press

Fellows, P.J. (2009). Freezing. In: *Food Processing: Technology – Principles and Practice*, 3rd edn, pp. 650–686, CRC, New York.

Fernandes, R. V. D. B., Borges, S. V., & Botrel, D. A. (2014). Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydrate Polymers*, 101(1), 524–532. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.083>

Fernandez M. A., André Marette, É liane Picard-Deland (2017), *Yogurt: Roles in Nutrition and Impacts on Health*, CRC

Fisberg, M., & Machado, R. (2015). History of yogurt and current patterns of consumption. *Nutrition Reviews*, 73, 4–7. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuv020>

Fitzpatrick, J. J., Descamps, N., O’Meara, K., Jones, C., Walsh, D., & Spitere, M. (2010). Comparing the caking behaviours of skim milk powder, amorphous maltodextrin and crystalline common salt. *Powder Technology*, 204(1), 131–137. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.07.029>

Fitzpatrick, J. J., van Lauwe, A., Coursol, M., O’Brien, A., Fitzpatrick, K. L., Ji, J., & Miao, S. (2016). Investigation of the rehydration behaviour of food powders by comparing the behaviour of twelve powders with different properties. *Powder Technology*, 297, 340–348. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.04.036>

Foust, A.S., Wenzel, L.A., Clump, C.W., Maus, L. & Andersen, L.B. (2008). Simultaneous heat and mass transfer I: Humidification. In: *Principles of Unit Operations*, 2nd edn, pp. 289–317, JohnWiley & Sons, Inc.

Fox, P. F. (2003). *The major constituents of milk* (pp. 5-41). Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

Frøst, M. B., & Janhøj, T. (2007). Understanding creaminess. *International Dairy Journal*, 17(11), 1298–1311. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.02.007>

Gaiani, C., Morand, M., Sanchez, C., Tehrany, E. A., Jacquot, M., Schuck, P., ... Scher, J. (2010). How surface composition of high milk proteins powders is influenced by spray-drying temperature. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 75(1), 377–384. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2009.09.016>

Goalard, C., Samimi, A., Galet, L., Dodds, J. A., & Ghadiri, M. (2006). Characterization of the dispersion behavior of powders in liquids. *Particle and Particle Systems Characterization*, 23(2), 154–158. <https://doi.org/10.1002/ppsc.200601024>

Handscomb, C. S., Kraft, M., & Bayly, A. E. (2009). A new model for the drying of droplets containing suspended solids. *Chemical Engineering Science*, 64(4), 628–637. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2008.04.051>

Haque, M. K., & Roos, Y. H. (2004). Water Plasticization and Crystallization of Lactose in Spray-dried Lactose/Protein Mixtures. *Journal of Food Science*, 69(1), FEP23-FEP29. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb17863.x>

Haque, M. K., & Roos, Y. H. (2005). Crystallization and X-ray diffraction of spray-dried and freeze-dried amorphous lactose. *Carbohydrate Research*, 340(2), 293–301. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2004.11.026>

Haseley, P., & Oetjen, G.-W. (2017). *Freeze-Drying*, 3rd edition, Wiley

Hematyar, N., Samarin, A. M., Poorazarang, H., & Elhamirad, A. H. (2012). Effect of gums on yogurt characteristics. *World Applied Sciences Journal*, 20(5), 661–665. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2012.20.05.2353>

Hoefler Andrew C. (2004), *Hydrocolloids Practical Guide* .,Eagen press

Hua, T., Liu, B., & Zhang, H. (2010). *Freeze-drying of pharmaceutical and food products*. Woodhead Publishing

Hui, Y. H., Meunier-Goddik, L., Josephsen, J., Nip, W. K., & Stanfield, P. S. (2004). *Handbook of Food and Beverage Fermentation Technology*. Food science and technology. Retrieved from https://books.google.com.vn/books?id=uV2Oi0g_TB4C

Institute of Medicine. (2000). *Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids* in National Academy Press, Washington

Isleten, M., & Karagul-Yuceer, Y. (2006). Effects of Dried Dairy Ingredients on Physical and Sensory Properties of Nonfat Yogurt. *Journal of Dairy Science*, 89(8), 2865–2872. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72559-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72559-0)

Ji, J., Fitzpatrick, J., Cronin, K., Maguire, P., & Zhang, H. (2016). Food Hydrocolloids Rehydration behaviours of high protein dairy powders: The influence of agglomeration on wettability, dispersibility and solubility. *Food Hydrocolloids*, 58, 194–203. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.02.030>

Jost R. (2000). *Milk and Dairy Products*. Nestle Product Technology Center, Konolfingen, Switzerland.

Kailasapathy, K. (2009). Chemical Composition, Physical and Functional Properties of Milk and Milk Ingredients. *Dairy Processing & Quality Assurance*, 75–103. <https://doi.org/10.1002/9780813804033.ch4>

Karag, Y., & Drake, M. (2006). *Sensory Analysis of Yogurt*, 265–276.

Kelly, J., Kelly, P.M. & Harrington, D. (2002). Influence of processing variables on the

Kilic, M., Muthukumarappan, K., & Gunasekaran, S. (1997). Kinetics of nonenzymatic browning in Cheddar cheese powder during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 21(5), 379–393. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1997.tb00791.x>

Kim, E. H. J., Chen, X. D., & Pearce, D. (2003). On the mechanisms of surface formation and the surface compositions of industrial milk powders. *Drying Technology*, 21(2), 265–278. <https://doi.org/10.1081/DRT-120017747>

Kim, E. H. J., Chen, X. D., & Pearce, D. (2009). Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 2. Effects of spray drying conditions on the surface composition. *Journal of Food Engineering*, 94(2), 169–181. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.10.020>

Koç, B., Sakin-Yilmazer, M., Kaymak-Ertekin, F., & Balklır, P. (2014). Physical properties of yoghurt

powder produced by spray drying. *Journal of Food Science and Technology*, 51(7), 1377–1383. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0653-8>

Koç, B., Yilmazer, M. S., Balkir, P., & Ertekin, F. K. (2010). Moisture sorption isotherms and storage stability of spray-dried yogurt powder. *Drying Technology*, 28(6), 816–822. <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.485083>

Koupantsis, T., Pavlidou, E., & Paraskevopoulou, A. (2014). Flavour encapsulation in milk proteins - CMC coacervate-type complexes. *Food Hydrocolloids*, 37, 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.10.031>

Kourkoutas, Y., Kandyli, P., Panas, P., Dooley, J. S. G., Nigam, P., & Koutinas, A. A. (2006). Evaluation of freeze-dried kefir coculture as starter in feta-type cheese production. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(9), 6124–6135. <https://doi.org/10.1128/AEM.03078-05>

Królczyk, J. B., Dawidziuk, T., Janiszewska-Turak, E., & Sołowiej, B. (2016). Use of Whey and Whey Preparations in the Food Industry - A Review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 66(3), 157–165. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2015-0052>

Kudra, T. (2003). Sticky region in drying - Definition and identification. *Drying Technology*, 21(8), 1457–1469. <https://doi.org/10.1081/DRT-120024678>

Kumar, P., & Mishra, H. N. (2004). Yoghurt Powder — a Review of Process. *Food Engineering*, 82(June), 133–142. <https://doi.org/10.1205/0960308041614918>

Kumar, P., & Mishra, H. N. (2006). Moisture sorption characteristics of mango-soy-fortified yogurt powder. *International Journal of Dairy Technology*, 59(1), 22–28. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2006.00215.x>

Laiho, S., Williams, R. P. W., Poelman, A., Appelqvist, I., & Logan, A. (2017). Effect of whey protein phase volume on the tribology, rheology and sensory properties of fat-free stirred yoghurts. *Food Hydrocolloids*, 67, 166–177. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.01.017>

Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., & Biliaderis, C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 1033–1047. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032>

Lee W.J. and Lucey J.A. (2010), Formation and Physical Properties of Yogurt, *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*

Li, J. M., & Nie, S. P. (2016). The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. *Food Hydrocolloids*, 53(2016), 46–61. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.01.035>

Liang, W., Chan, A. Y. L., Chow, M. Y. T., Lo, F. F. K., Qiu, Y., Kwok, P. C. L., & Lam, J. K. W. (2018). Spray freeze drying of small nucleic acids as inhaled powder for pulmonary delivery. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 13(2), 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.ajps.2017.10.002>

Liapis, A.I. & Bruttini, R. (2015). Freeze drying. In: Handbook of Industrial Drying, Vol. 1 (ed. Mujumdar A.), 4th edn, pp. 259–280, Marcel Dekker, New York.

Livney, Y. D., Corredig, M., & Dalgleish, D. G. (2003). Influence of thermal processing on the properties of dairy colloids. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 8(4–5), 359–364. [https://doi.org/10.1016/S1359-0294\(03\)00092-X](https://doi.org/10.1016/S1359-0294(03)00092-X)

Lloyd, M. A., Drake, M. A., & Gerard, P. D. (2009). Flavor variability and flavor stability of U.S.-produced whole milk powder. *Journal of Food Science*, 74(7), 334–343. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01299.x>

Loveday, S. M., Sarkar, A., & Singh, H. (2013). Innovative yoghurts: Novel processing technologies for improving acid milk gel texture. *Trends in Food Science and Technology*, 33(1), 5–20. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.06.007>

Mahomud, M. S., Katsuno, N., & Nishizu, T. (2017). Role of Whey Protein-Casein Complexes on Yoghurt Texture. *Reviews in Agricultural Science*, 5(0), 1–12. <https://doi.org/10.7831/RAS.5.1-12>

Mahony, J. A. O. (1997). *Advanced Dairy Chemistry Volume 3 (Vol. 1)*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4409-5>

Massoud R., Belgheisi S., Massoud A. (2016). Effect of High Pressure Homogenization on Improving the Quality of Milk and Sensory Properties of Yogurt: A Review in *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 7 (1), 66–70

McCarthy, N. A., Kelly, P. M., Maher, P. G., & Fenelon, M. A. (2014). Dissolution of milk protein concentrate (MPC) powders by ultrasonication. *Journal of Food Engineering*, 126, 142–148. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.11.002>

McSweeney Paul L. H. and O'Mahony James A. (2006), *Advanced Dairy Chemistry, Volume 2: Lipids*, 3rd Edition, Springer Science

McSweeney Paul L. H. and O'Mahony James A. (2016), *Advanced Dairy Chemistry, Volume 1B: Proteins: Applied Aspects*, 4th Edition, Springer Science

Michael and Irene Ash (2008), *Handbook of Food Additives*, 3rd Edition, Synapse Information Resources

Miller, G. D., Jarvis, J. K., & Mcbean, L. D. (2007). *Handbook of DAIRY FOODS AND nutrition* Third Edition.

Mimouni, A., Deeth, H. C., Whittaker, A. K., Gidley, M. J., & Bhandari, B. R. (2009). Rehydration process of milk protein concentrate powder monitored by static light scattering. *Food Hydrocolloids*, 23(7), 1958–1965. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.01.010>

Mitchell, W. R., Forny, L., Althaus, T. O., Niederreiter, G., Palzer, S., Hounslow, M. J., & Salman, A. D. (2015). Mapping the rate-limiting regimes of food powder reconstitution in a standard mixing vessel. *Powder Technology*, 270(PB), 520–527. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.08.014>

Molina Ortiz, S. E., Mauri, A., Monterrey-Quintero, E. S., Trindade, M. A., Santana, A. S., & Favaro-Trindade, C. S. (2009). Production and properties of casein hydrolysate microencapsulated by spray

drying with soybean protein isolate. *LWT - Food Science and Technology*, 42(5), 919–923. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.12.004>

Morell, P., Hernando, I., Llorca, E., & Fisman, S. (2015). Yogurts with an increased protein content and physically modified starch: Rheological, structural, oral digestion and sensory properties related to enhanced satiating capacity. *Food Research International*, 70, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.024>

Mudgil, D., & Barak, S. (2013). Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 61, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.06.044>

Mujumdar Arun S. (2015). *Handbook of Industrial Drying*, 4th Edition, CRC, New York.

Nakauma, M., Funami, T., Noda, S., Ishihara, S., Al-Assaf, S., Nishinari, K., & Phillips, G. O. (2008). Comparison of sugar beet pectin, soybean soluble polysaccharide, and gum arabic as food emulsifiers. 1. Effect of concentration, pH, and salts on the emulsifying properties. *Food Hydrocolloids*, 22(7), 1254–1267. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.09.004>

Nguyen, P. T. M., Kravchuk, O., Bhandari, B., & Prakash, S. (2017). Effect of different hydrocolloids on texture, rheology, tribology and sensory perception of texture and mouthfeel of low-fat pot-set yoghurt. *Food Hydrocolloids*, 72, 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.035>

Norton I. T, Spyropoulos F. and Cox P. (2011). *Practical Food Rheology: An Interpretive* Blackwell Publishing

Nussinovitch, A (2010), *Plant gum exudates of the world: Sources, distribution, properties, and applications*. CRC Press

Nussinovitch, A., & Hirashima, M. (2014). *Cooking innovations: Using hydrocolloids for thickening, gelling, and emulsification*. CRC press

Oetjen, G., & Haseley, P. (2004). *Common Fragrance and Flavor Materials Plastic Packaging Materials for Food*.

Olivas, G. I., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Edible coatings for fresh-cut fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(7–8), 657–670. <https://doi.org/10.1080/10408690490911837>

Omar, A. M. E., & Roos, Y. H. (2007). Water sorption and time-dependent crystallization behaviour of freeze-dried lactose-salt mixtures. *LWT - Food Science and Technology*, 40(3), 520–528. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.12.006>

Papavasiliou, G., Kourkoutas, Y., Rapti, A., Sipsas, V., Soupioni, M., & Koutinas, A. A. (2008). Production of freeze-dried kefir culture using whey. *International Dairy Journal*, 18(3), 247–254. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.09.005>

Permyakov, E. a, & Berliner, L. J. (2000). alpha-Lactalbumin: structure and function. *FEBS Letters*, 473(3), 269–274. [https://doi.org/10.1016/S0014-5793\(00\)01546-5](https://doi.org/10.1016/S0014-5793(00)01546-5)

Phillips, G. O., & Williams, P. A. (2009). *Handbook of Hydrocolloids: Second Edition*. Handbook of

Hydrocolloids: Second Edition. <https://doi.org/10.1533/9781845695873>

physicochemical properties of spray dried fat-based milk powders. *Le Lait*

Pierre, S., Serge, M., Anne, D., Claire, G., Schuck, P., Mejean, S., ... Jeantet, R. (2007). Water transfer during rehydration of micellar casein powders. *Lait*, 87(4–5), 425–432. <https://doi.org/10.1051/lait>

Quigley, L., O’Sullivan, O., Stanton, C., Beresford, T. P., Ross, R. P., Fitzgerald, G. F., & Cotter, P. D. (2013). The complex microbiota of raw milk. *FEMS Microbiology Reviews*, 37(5), 664–698. <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12030>

Rajagopal M., Werner B. G., Hotchkiss J. H (2005). Low Pressure CO₂ Storage of Raw Milk: Microbiological Effects in American Dairy Science Association, New York, 88 (9), 3130–3138.

Rajam. R. & Anandharamakrishnan, C. (2015). Spray freeze drying method for microencapsulation of *Lactobacillus plantarum*. *Journal of Food Engineering*, 166,95–103.

Rogers, S., Wu, W. D., Saunders, J., & Chen, X. D. (2008). Characteristics of milk powders produced by spray freeze drying. *Drying Technology*, 26(4), 404–412. <https://doi.org/10.1080/07373930801929003>

Sadek, C., Schuck, P., Fallourd, Y., Pradeau, N., Jeantet, R., & Le Floch-Fouéré, C. (2016). Buckling and collapse during drying of a single aqueous dispersion of casein micelle droplet. *Food Hydrocolloids*, 52, 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.06.016>

Saha, D., & Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 587–597. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0162-6>

Sahin, S., & Sumnu, S. G. (2006). Physical Properties of Foods. <https://doi.org/10.1146/annurev.astro.45.051806.110615>

Sanchez, C., Zuniga-Lopez, R., Schmitt, C., Despond, S., & Hardy, J. (2000). Microstructure of acid-induced skim milk-locust bean gum-xanthan gels. *International Dairy Journal*, 10(3), 199–212. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(00\)00030-3](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(00)00030-3)

Sasaki Y., Horiuchi H., Kawashima H., Mukai T., Yamamoto Y. (2014). NADH Oxidase of *Streptococcus thermophilus* 1131 is Required for the Effective Yogurt Fermentation with *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* 2038 in Bioscience of Microbiota, Food and Health. *BMFH Press*, 33 (1), 31–40

Schober, C., & Fitzpatrick, J. J. (2005). Effect of vortex formation on powder sinkability for reconstituting milk powders in water to high solids content in a stirred-tank. *Journal of Food Engineering*, 71(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.09.027>

Sfakianakis P., Tzia C. (2014). Conventional and Innovative Processing of Milk for Yogurt Manufacture; Development of Texture and Flavor: A Review in *Food Science Journal*, 3 (1),176–193

Sharma, S., Mustafiz, A., Singla-Pareek, S. L., Shankar Srivastava, P., & Sopory, S. K. (2012). Characterization of stress and methylglyoxal inducible triose phosphate isomerase (OscTPI) from rice. *Plant Signaling & Behavior*, 7(10), 1337–1345. <https://doi.org/10.4161/psb.21415>

- Shi, L. E., Li, Z. H., Zhang, Z. L., Zhang, T. T., Yu, W. M., Zhou, M. L., & Tang, Z. X. (2013). Encapsulation of *Lactobacillus bulgaricus* in carrageenan-locust bean gum coated milk microspheres with double layer structure. *LWT - Food Science and Technology*, 54(1), 147–151. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.027>
- Singh H., Boland M., Thompson A. (2014). *Milk proteins from expression to food*, 2nd edition Elsevier Inc
- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2013). Introduction to food engineering. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Smit G. (2003). *The major constituents of milk, Dairy processing improving quality*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England
- Smith Jim, Lily Hong-Shum (2003). *Food Additives Data Book*, Blackwell science
- Smith, P.G. (2011). Introduction to Food Process Engineering, pp. 329–334, Springer.
- Soultani, G., Evageliou, V., Koutelidakis, A. E., Kapsokefalou, M., & Komaitis, M. (2014). The effect of pectin and other constituents on the antioxidant activity of tea. *Food Hydrocolloids*, 35, 727–732. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.08.005>
- Stapley, A. (2008) Freeze drying. In: *Frozen Food Science and Technology* (ed. Evans J.A.), Blackwell Publishing, Oxford.
- Stewart, M. B., Gray, S. R., Vasiljevic, T., & Orbell, J. D. (2014). The role of poly-M and poly-GM sequences in the metal-mediated assembly of alginate gels. *Carbohydrate Polymers*, 112, 486–493. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.06.001>
- Stokes, J. R., Boehm, M. W., & Baier, S. K. (2013). Oral processing, texture and mouthfeel: From rheology to tribology and beyond. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 18(4), 349–359. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2013.04.010>
- Suyama, K., Sasaki, A., Oritani, T., & Hosono, A. (2011). Identification of lactose ureide, a urea derivative of lactose, in milk and milk products. *Journal of Dairy Science*, 94(12), 5857–5863.
- Tamime (2017). *Yogurt : Technology and Biochemistry*, 43(March), 939–977. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-43.12.939>
- Tamime A. Y. (2009) *Dairy Powders and Concentrated Products*, Blackwell Publishing
- Tamime A. Y., Robinson R. K. (1999). *Yogurt: science and technology* (2nd edition). Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England
- Tang, J., Feng, H. & Shen, G.Q. (2003). Drum drying. In: *Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering*, pp. 211–214, Marcel Dekker, New York.
- Laaman T.R. (2011) *.Hydrocolloids in Food Processing*, Blackwell Publishing Ltd. and Institute of Food Technologists

Truong, V., Bhandari, B. R., & Howes, T. (2005). Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods. Part I-Moisture and glass transition temperature profile during drying. *Journal of Food Engineering*, 71(1), 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.017>

Tsapis, N., Dufresne, E. R., Sinha, S. S., Riera, C. S., Hutchinson, J. W., Mahadevan, L., & Weitz, D. A. (2005). Onset of buckling in drying droplets of colloidal suspensions. *Physical Review Letters*, 94(1), 1–4. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.94.018302>

USDA - United States Department of Agriculture. (2018). Dairy: World Markets and Trades. Retrieved from <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/dairy.pdf>

Valdez, B. (2012), Food industrial processes-methods and equipment, InTech

Vollenbroek, J., Hebbink, G. A., Ziffels, S., & Steckel, H. (2010). Determination of low levels of amorphous content in inhalation grade lactose by moisture sorption isotherms. *International Journal of Pharmaceutics*, 395(1–2), 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2010.04.035>

Walstra, P. (2006). 22 Fermented Milks. *Dairy Science and Technology*, 551–573.

Wang, W., Chen, M., & Chen, G. (2012). Issues in freeze drying of aqueous solutions. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 20(3), 551–559. [https://doi.org/10.1016/S1004-9541\(11\)60218-8](https://doi.org/10.1016/S1004-9541(11)60218-8)

Westergaard, V. (2011). Milk Powder Technology Evaporation and Spray Drying GEA Process Engineering engineering for a better world Preface to Fifth Edition, 1–338. Retrieved from https://www.gea.com/en/binaries/Milk Powder Technology - Evaporation and Spray Drying_tcm11-33784.pdf

Wolfe, J., & Bryant, G. (1999). Freezing , Drying , and / or Vitrification of Membrane – Solute – Water Systems. *Most*, 129, 103–129.

Wu, Y., Cui, W., Eskin, N. A. M., & Goff, H. D. (2011). Stress relaxation in synergistically associated polysaccharides: Galactomanans and a non-pectic polysaccharide fraction from yellow mustard mucilage. *Carbohydrate Polymers*, 84(3), 984–989. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.12.053>

Xu, L., Xu, G., Liu, T., Chen, Y., & Gong, H. (2013). The comparison of rheological properties of aqueous welan gum and xanthan gum solutions. *Carbohydrate Polymers*, 92(1), 516–522. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.09.082>

Yildiz, F. (2016) Development and Manufacture of Yogurt and Other Functional Dairy Products. CRC Press

Yuan, Y. and Lee, T.R. (2013) Contact Angle and Wetting Properties. In: Bracco, G. and Holst, B., Eds., Surface Science Techniques Springer Series, Surface Sciences, Volume 51, Springer Berlin Heidelberg, Berlin and Heidelberg, 3-34.

Κώδικα Τροφίμων και Ποτών, 2009

Μάντης Α. (2000). Υγιεινή και τεχνολογία του γάλακτος και των προϊόντων του. 3^η έκδοση. Αφοί Κυριακίδη

Παράρτημα

Attribute	Reference
Color (light to dark)	Visual appearance ranging from light to dark, plain low-fat yogurt is the light reference
Dairy aroma/ flavor	Plain low-fat yogurt
Dairy/culture	Buttermilk
Acid/sharp	Lactic acid
Acetaldehyde	0.66 and 2 ppm acetaldehyde in milk
Cooked milk	2% milk heated to 90°C for 30 seconds
Caramel	Kraft caramels
Milky	2% milk
Buttery	Butter
Cheesy	Parmesan cheese
Yeasty	0.1% baking yeast in water
Fruity/sulfur	Cantaloupe
Rotten/sulfur	Boiled eggs
Creamy	Whipping cream/fat-free cream cheese
Sour cream	Sour cream
Cottage cheese	Low-fat cottage cheese
Fresh fruit strawberry (strawberry yogurt)	Fresh frozen strawberries
Jammy strawberry (strawberry yogurt)	Smuckers strawberry jam
Artificial strawberry (strawberry yogurt)	Premixed strawberry Koolaid
Fresh lemon (lemon yogurt)	Fresh wedge of lemon
Lemon juice (lemon yogurt)	Lemon juice
Artificial lemon (lemon yogurt)	Lemon jello
Metallic	Ferrous sulfate –0.1% in water
Chalky	Amount of chalk-like particulates perceived in the mouth, reference is yogurt with 7% added soy protein concentrate
Ropy	The degree to which a strand/rope forms when a spoon is dipped into the product and slowly pulled out
Thickness	Force required to push tongue up through product against palate and then back down
Sweet (sucrose)	Sucrose –7.3% in water, 5 and 10% sucrose in water
Sweet (aspartame) (APM)	APM –400 ppm in water
Bitter	Caffeine, 0.08% caffeine in water
Sour	Lactic acid, 0.32% lactic acid in water, 0.08 and 0.15% citric acid in water
Salty	0.2% NaCl in water
Astringent	Alum –0.1% in water, soak 10 tea bags in 1 qt boiling water for 1 hour
Aftertaste (after 30 seconds)	Overall aftertaste-driven by APM

Εικόνα Π4: Αναφορές στους τόνους γεύσεων του γιαουρτιού

Attribute	Definition
Visual appearance	
<i>Sheen</i>	Shininess of the surface of the sample. (low – high)
<i>Watery edge</i>	Separation of liquid from the sample, perceptible at the outer edge of the sample (low – high)
<i>Smoothness</i>	The degree to which the sample looks smooth on the top (not smooth – smooth)
<i>Granular</i>	The degree to which the sample has granular, lumpy appearance (smooth – lumpy)
<i>Thickness</i>	The degree to which the sample looks thick (thin – thick)
In-spoon	
<i>Thickness</i>	The thickness and resistance of the sample. Assessed by stirring the sample once with a spoon (thin – thick)
<i>Free flowing</i>	The degree to which the sample flows in a trailing stream. Assessed by placing a spoon into the yoghurt and lifting the spoon out of the cup (falls in lumps – falls freely)
In-mouth	
<i>Gelatinous</i>	The perceived jelly-like consistency of the sample. Assessed by pressing the sample between palate and tongue (low – high)
<i>Thickness</i>	The perceived in-mouth thickness of the sample. Assessed by pressing the sample between palate and tongue (thin – thick)
<i>Aerated</i>	The light, airy feeling in mouth. Assessed by pressing the sample between palate and tongue (not airy – airy)
<i>Adhesiveness</i>	Degree to which the sample sticks around mouth and coats the mouth surfaces (roof, cheeks, teeth). Assessed by pressing the sample between palate and tongue (low – high)
<i>Creaminess</i>	The perceived silky smoothness of the sample. Assessed by moving the tongue parallel to the palate in circles. (not creamy – creamy)
<i>Smoothness</i>	The degree to which sample feels smooth in the mouth, with an absence of lumps or granules. Assessed by swirling the sample in the mouth (low – high)
<i>Lumpy</i>	The degree to which large, soft lumps are perceived in the mouth. Assessed by swirling the sample in the mouth (not lumpy – lumpy)
<i>Crainy</i>	The presence of fine, powdery, particles that are perceptible in the yoghurt mass. Assessed by moving the tongue parallel to the palate in circles (none – many)
Afterfeel	
<i>Difficulty to swallow</i>	The degree of effort required to swallow the bulk of the sample. Assessed after swallowing (easy – difficult)
<i>Chalky</i>	The presence of a fine or powdery texture that clings to the mouth. Assessed after swallowing (none – much)
<i>Mouth drying</i>	The amount of saliva absorbed by the sample. Assessed after swallowing (none – much)
<i>Mouth coating</i>	The amount of sample remaining in mouth after swallowing (low – high)

Εικόνα Π5: Τυπικό φύλο οργανοληπτικού ελέγχου

Ανοva

Effect	Univariate Tests of Significance for Πήγμα/Ρευστότητα (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2572,816	1	2572,816	1745,534	0,000000
Λιπαρά	56,067	2	28,033	19,019	0,000000
Κόμμα	48,890	4	12,222	8,292	0,000012
% στερεά/κόμμα	3,992	2	1,996	1,354	0,264009
Πριν/Μετά	38,940	1	38,940	26,419	0,000002
Error	117,915	80	1,474		

Duncan test; variable Πήγμα/Ρευστότητα (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 1,4739, df = 80,000					
Cell No.	Κόμμα	Πήγμα/Ρευστότητα Mean	1	2	
2	2	4,505556	****		
1	1	5,061111	****		
4	4	5,177778	****		
3	3	5,266667	****		
5	5	6,722222		****	

Duncan test; variable Πήγμα/Ρευστότητα (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 1,4739, df = 80,000					
Cell No.	Λιπαρά	Πήγμα/Ρευστότητα Mean	1	2	3
2	2	4,380000	****		
3	3	5,346667		****	
1	1	6,313333			**

Duncan test; variable Πήγμα/Ρευστότητα (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 1,4739, df = 80,000					
Cell No.	Πριν/Μετά	Πήγμα/Ρευστότητα Mean	1	2	
1	1	4,688889	****		
2	2	6,004444		****	

Εικόνα Π6 Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για το πήγμα

Univariate Tests of Significance for Εμφάνιση : Συναίρεση (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	4131,734	1	4131,734	2101,178	0,000000
Λιπαρά	219,857	2	109,928	55,904	0,000000
Κόμμεα	114,846	4	28,712	14,601	0,000000
% στερεά/κόμμεα	3,310	2	1,655	0,842	0,434757
Πριν/Μετά	22,102	1	22,102	11,240	0,001225
Error	157,311	80	1,966		

Duncan test; variable Εμφάνιση : Συναίρεση (Sheet1 in Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 1,9664, df = 80,000				
Cell No.	Λιπαρά	Εμφάνιση : Συναίρεση Mean	1	2
3	3	5,533333	****	
2	2	5,813333	****	
1	1	8,980000		****

Duncan test; variable Εμφάνιση : Συναίρεση (Sheet1 in Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 1,9664, df = 80,000				
Cell No.	Κόμμεα	Εμφάνιση : Συναίρεση Mean	1	2
2	2	5,311111		****
1	1	5,477778		****
5	5	7,622222	****	
4	4	7,733333	****	
3	3	7,733333	****	

Duncan test; variable Εμφάνιση : Συναίρεση (Sheet1 in Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 1,9664, df = 80,000				
Cell No.	Πριν/Μετά	Εμφάνιση : Συναίρεση Mean	1	2
1	1	6,280000	****	
2	2	7,271111		***

Εικόνα Π7: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για την συναίρεση

Univariate Tests of Significance for Φινέτσα (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2419,062	1	2419,062	1141,929	0,000000
Λιπαρά	91,268	2	45,634	21,542	0,000000
Κόμμεα	114,229	4	28,557	13,481	0,000000
% στερεά/κόμμεα	3,281	2	1,640	0,774	0,464414
Πριν/Μετά	167,008	1	167,008	78,837	0,000000
Error	169,472	80	2,118		

Duncan test; variable Φινέτσα (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 2,1184, df = 80,000				
Cell No.	Λιπαρά	Φινέτσα Mean	1	2
2	2	4,300000	****	
3	3	4,660000	****	
1	1	6,593333		****

Duncan test; variable Φινέτσα (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 2,1184, df = 80,000				
Cell No.	Κόμμεα	Φινέτσα Mean	1	2
1	1	3,800000		****
2	2	3,811111		****
4	4	6,066667	****	
3	3	6,066667	****	
5	5	6,177778	****	

Duncan test; variable Φινέτσα (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 2,1184, df = 80,000				
Cell No.	Πριν/Μετά	Φινέτσα Mean	1	2
1	1	3,822222	****	
2	2	6,546667		****

Εικόνα Π8: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για την φινέτσα

Univariate Tests of Significance for Κοκκώδης (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	3635,378	1	3635,378	893,2010	0,000000
Λιπαρά	2,785	2	1,392	0,3421	0,711298
Κόμμεα	16,476	4	4,119	1,0120	0,406309
% στερεά/κόμμεα	0,470	2	0,235	0,0578	0,943910
Πριν/Μετά	178,647	1	178,647	43,8930	0,000000
Error	325,604	80	4,070		

Duncan test; variable Κοκκώδης (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 4,0701, df = 80,000				
Cell No.	Πριν/Μετά	Κοκκώδης Mean	1	2
1	1	4,946667	****	
2	2	7,764444		****

Εικόνα Π9: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για το κοκκώδες

Univariate Tests of Significance for Αδιάλυτα στερεά (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	3789,511	1	3789,511	5320,852	0,000000
Λιπαρά	87,068	2	43,534	61,126	0,000000
Κόμμεα	114,498	4	28,624	40,192	0,000000
% στερεά/κόμμεα	0,924	2	0,462	0,648	0,525617
Πριν/Μετά	29,584	1	29,584	41,539	0,000000
Error	56,976	80	0,712		

Duncan test; variable Αδιάλυτα στερεά (Sheet1 in anov Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,71220, df = 80,000					
Cell No.	Λιπαρά	Αδιάλυτα στερεά Mean	1	2	
3	3	5,680000	****		
2	2	5,913333	****		
1	1	7,873333		****	

Duncan test; variable Αδιάλυτα στερεά (Sheet1 in anov Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,71220, df = 80,000					
Cell No.	Κόμμεα	Αδιάλυτα στερεά Mean	1	2	3
2	2	4,933333	****		
1	1	5,388889	****		
4	4	7,122222		****	
3	3	7,122222		****	
5	5	7,877778			****

Duncan test; variable Αδιάλυτα στερεά (Sheet1 in anov Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,71220, df = 80,000					
Cell No.	Πριν/Μετά	Αδιάλυτα στερεά Mean	1	2	
1	1	5,915556	****		
2	2	7,062222		****	

Εικόνα Π10: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για τα αδιάλυτα στερεά

Univariate Tests of Significance for Συσσωματώματα/Κοκκώδης (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	4260,096	1	4260,096	2248,243	0,000000
Λιπαρά	23,912	2	11,956	6,310	0,002854
Κόμμεα	103,153	4	25,788	13,610	0,000000
% στερεά/κόμμεα	0,355	2	0,177	0,094	0,910759
Πριν/Μετά	46,656	1	46,656	24,622	0,000004
Error	151,588	80	1,895		

Duncan test; variable Συσσωματώματα/Κοκκώδης (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000
Error: Between MS = 1,8949, df = 80,000

Ce	Λιπαρά	Συσσωματώματα/Κοκκώδης Mean	1	2
3	3	6,466667	****	
2	2	6,566667	****	
1	1	7,606667		****

Duncan test; variable Συσσωματώματα/Κοκκώδης (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000
Error: Between MS = 1,8949, df = 80,000

Ce	Κόμμεα	Συσσωματώματα/Κοκκώδης Mean	1	2
2	2	5,200000		****
1	1	6,044444		****
4	4	7,588889	****	
3	3	7,588889	****	
5	5	7,977778	****	

Duncan test; variable Συσσωματώματα/Κοκκώδης (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000
Error: Between MS = 1,8949, df = 80,000

Ce	Πριν/Μετά	Συσσωματώματα/Κοκκώδης Mean	1	2
1	1	6,160000	****	
2	2	7,600000		****

Εικόνα Π11: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για τα συσσωματώματα

Univariate Tests of Significance for Λιπαρότητα (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	4260,096	1	4260,096	2839,244	0,000000
Λιπαρά	10,899	2	5,449	3,632	0,030921
Κόμμεα	28,566	4	7,142	4,760	0,001700
% στερεά/κόμμεα	0,643	2	0,321	0,214	0,807680
Πριν/Μετά	32,882	1	32,882	21,915	0,000011
Error	120,035	80	1,500		

Duncan test; variable Λιπαρότητα (Sheet1 in anova)
Homogenous Groups, alpha = ,05000
Error: Between MS = 1,5004, df = 80,000

Ci	Λιπαρά	Λιπαρότητα Mean	1	2
1	1	6,406667	****	
3	3	7,000000	****	****
2	2	7,233333		****

Duncan test; variable Λιπαρότητα (Sheet1 in anova)
Homogenous Groups, alpha = ,05000
Error: Between MS = 1,5004, df = 80,000

Ce	Κόμμεα	Λιπαρότητα Mean	1	2
3	3	6,444444	****	
4	4	6,444444	****	
2	2	6,655556	****	
1	1	6,900000	****	
5	5	7,955556		****

Duncan test; variable Λιπαρότητα (Sheet1 in anova)
Homogenous Groups, alpha = ,05000
Error: Between MS = 1,5004, df = 80,000

Ce	Πριν/Μετά	Λιπαρότητα Mean	1	2
1	1	6,275556	****	
2	2	7,484444		****

Εικόνα Π12: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για τη λιπαρότητα

Univariate Tests of Significance for Λευκό (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	4749,494	1	4749,494	5560,311	0,000000
Λιπαρά	37,414	2	18,707	21,901	0,000000
Κόμμεα	117,135	4	29,284	34,283	0,000000
% στερεά/κόμμεα	0,281	2	0,140	0,164	0,848671
Πριν/Μετά	22,902	1	22,902	26,811	0,000002
Error	68,334	80	0,854		

Duncan test; variable Λευκό (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,85418, df = 80,000				
Cell No.	Λιπαρά	Λευκό Mean	1	2
2	2	6,746667	****	
3	3	6,873333	****	
1	1	8,173333		****

Duncan test; variable Λευκό (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,85418, df = 80,000					
Cell No.	Κόμμεα	Λευκό Mean	1	2	3
2	2	5,555556		****	
1	1	6,244444			****
5	5	7,966667	****		
4	4	8,277778	****		
3	3	8,277778	****		

Duncan test; variable Λευκό (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,85418, df = 80,000				
Cell No.	Πριν/Μετά	Λευκό Mean	1	2
1	1	6,760000	****	
2	2	7,768889		****

Εικόνα Π13: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για το χρώμα

Univariate Tests of Significance for Γεύση Όξινη του Γιαουρτιού (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	4379,254	1	4379,254	2537,717	0,000000
Λιπαρά	0,241	2	0,120	0,070	0,932641
Κόμμεα	26,064	4	6,516	3,776	0,007280
% στερεά/κόμμεα	1,548	2	0,774	0,448	0,640248
Πριν/Μετά	89,600	1	89,600	51,922	0,000000
Error	138,053	80	1,726		

Duncan test; variable Γεύση Όξινη του Γιαουρτιού (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 1,7257, df = 80,000				
Category	Κόμμεα	Γεύση Όξινη του Γιαουρτιού Mean	1	2
2	2	6,400000	****	
1	1	6,400000	****	
4	4	7,022222	****	****
3	3	7,233333	****	****
5	5	7,822222		****

Duncan test; variable Γεύση Όξινη του Γιαουρτιού (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 1,7257, df = 80,000				
Category	Πριν/Μετά	Γεύση Όξινη του Γιαουρτιού Mean	1	2
1	1	5,977778	****	
2	2	7,973333		****

Εικόνα Π14 : Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για την όξινη γεύση του γιαουρτιού

Univariate Tests of Significance for Γεύση Άλλη (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	170,8444	1	170,8444	1040,677	0,000000
Λιπαρά	3,2889	2	1,6444	10,017	0,000131
Κόμμεα	4,6000	4	1,1500	7,005	0,000069
% στερεά/κόμμεα	0,0889	2	0,0444	0,271	0,763520
Πριν/Μετά	0,0444	1	0,0444	0,271	0,604281
Error	13,1333	80	0,1642		

Duncan test; variable Γεύση Άλλη (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,16417, df = 80,000				
Cell	Λιπαρά	Γεύση Άλλη Mean	1	2
2	2	1,133333		****
3	3	1,400000	****	
1	1	1,600000	****	

Duncan test; variable Γεύση Άλλη (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,16417, df = 80,000				
Cell	Κόμμεα	Γεύση Άλλη Mean	1	2
5	5	1,000000		****
3	3	1,333333	****	
4	4	1,333333	****	
2	2	1,611111	****	
1	1	1,611111	****	

Εικόνα Π15: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για άλλη γεύση

Univariate Tests of Significance for Άρωμα Γιαουρτιού (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	4435,236	1	4435,236	4811,205	0,000000
Λιπαρά	42,243	2	21,121	22,912	0,000000
Κόμμεα	41,188	4	10,297	11,170	0,000000
% στερεά/κόμμεα	1,064	2	0,532	0,577	0,563846
Πριν/Μετά	97,760	1	97,760	106,047	0,000000
Error	73,748	80	0,922		

Duncan test; variable Άρωμα Γιαουρτιού (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,92186, df = 80,000				
Cell No.	Λιπαρά	Άρωμα Γιαουρτιού Mean	1	2
3	3	6,426667	****	
2	2	6,653333	****	
1	1	7,980000		****

Duncan test; variable Άρωμα Γιαουρτιού (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,92186, df = 80,000				
Cel	Κόμμεα	Άρωμα Γιαουρτιού Mean	1	2
2	2	6,222222		****
1	1	6,233333		****
3	3	7,300000	****	
4	4	7,444444	****	
5	5	7,900000	****	

Duncan test; variable Άρωμα Γιαουρτιού (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,92186, df = 80,000				
Ce	Πριν/Μετά	Άρωμα Γιαουρτιού Mean	1	2
1	1	5,977778	****	
2	2	8,062222		****

Εικόνα Π16: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για το άρωμα γιαουρτιού

Univariate Tests of Significance for Άρωμα Άλλο (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	234,9018	1	234,9018	1753,871	0,000000
Λιπαρά	2,5769	2	1,2884	9,620	0,000180
Κόμμεα	8,9404	4	2,2351	16,688	0,000000
% στερεά/κόμμεα	0,0222	2	0,0111	0,083	0,920467
Πριν/Μετά	3,3640	1	3,3640	25,117	0,000003
Error	10,7147	80	0,1339		

Duncan test; variable Άρωμα Άλλο (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,13393, df = 80,000				
Ce	Λιπαρά	Άρωμα Άλλο Mean	1	2
2	2	1,400000		****
1	1	1,633333	****	
3	3	1,813333	****	

Duncan test; variable Άρωμα Άλλο (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,13393, df = 80,000				
Ce	Κόμμεα	Άρωμα Άλλο Mean	1	2
4	4	1,333333	****	
3	3	1,333333	****	
5	5	1,411111	****	
2	2	2,000000		****
1	1	2,000000		****

Duncan test; variable Άρωμα Άλλο (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,13393, df = 80,000				
Ce	Πριν/Μετά	Άρωμα Άλλο Mean	1	2
2	2	1,422222	****	
1	1	1,808889		****

Εικόνα Π17: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για άλλο άρωμα

Univariate Tests of Significance for Αρέσκεια (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	3854,678	1	3854,678	3962,909	0,000000
Λιπαρά	41,265	2	20,632	21,212	0,000000
Κόμμεα	77,476	4	19,369	19,913	0,000000
% στερεά/κόμμεα	1,372	2	0,686	0,705	0,497136
Πριν/Μετά	53,515	1	53,515	55,018	0,000000
Error	77,815	80	0,973		

Duncan test; variable Αρέσκεια (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,97269, df = 80,000				
Ce	Λιπαρά	Αρέσκεια Mean	1	2
2	2	5,860000	****	
3	3	6,306667	****	
1	1	7,466667		****

Duncan test; variable Αρέσκεια (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,97269, df = 80,000				
Ce	Κόμμεα	Αρέσκεια Mean	1	2
2	2	5,244444		****
1	1	5,588889		****
4	4	7,266667	****	
3	3	7,266667	****	
5	5	7,355556	****	

Duncan test; variable Αρέσκεια (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,97269, df = 80,000				
Ce	Πριν/Μετά	Αρέσκεια Mean	1	2
1	1	5,773333	****	
2	2	7,315556		****

Εικόνα Π18: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για την συνολική αρέσκεια

Univariate Tests of Significance for PH (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1638,400	1	1638,400	285076,8	0,000000
Λιπαρά	0,009	2	0,004	0,8	0,473800
Κόμμεα	0,048	4	0,012	2,1	0,091341
% στερεά/κόμμεα	0,002	2	0,001	0,2	0,840616
Πριν/Μετά	0,002	1	0,002	0,3	0,579645
Error	0,460	80	0,006		

Εικόνα Π19: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης για το pH

Univariate Tests of Significance for Ιξώδες (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	7,066027E+09	1	7,066027E+09	1031,283	0,000000
Λιπαρά	2,572446E+08	2	1,286223E+08	18,772	0,000000
Κόμμεα	1,476172E+08	4	3,690431E+07	5,386	0,000683
% στερεά/κόμμεα	4,370847E+06	2	2,185423E+06	0,319	0,727824
Πριν/Μετά	7,643382E+07	1	7,643382E+07	11,155	0,001275
Error	5,481348E+08	80	6,851685E+06		

Duncan test; variable Ιξώδες (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 6852E3, df = 80,000				
Cell No.	Λιπαρά	Ιξώδες Mean	1	2
3	3	7223,67	****	
2	2	8170,00	****	
1	1	11188,33		****

Duncan test; variable Ιξώδες (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 6852E3, df = 80,000				
Cell No.	Κόμμεα	Ιξώδες Mean	1	2
5	5	7578,33	****	
1	1	7916,67	****	
2	2	8019,44	****	
4	4	10038,89		****
3	3	10750,00		****

Duncan test; variable Ιξώδες (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 6852E3, df = 80,000				
Cell No.	Πριν/Μετά	Ιξώδες Mean	1	2
1	1	7939,111	****	
2	2	9782,222		****

Εικόνα Π20: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για το ιξώδες

Univariate Tests of Significance for aw (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	7,338778	1	7,338778	71948,80	0,000000
Λιπαρά	0,069236	2	0,034618	339,39	0,000000
Κόμμεα	0,000367	4	0,000092	0,90	0,468834
% στερεά/κόμμεα	0,000482	2	0,000241	2,36	0,100598
Πριν/Μετά	0,002778	1	0,002778	27,23	0,000001
Error	0,008160	80	0,000102		

Duncan test; variable aw (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00010, df = 80,000					
Cell	Λιπαρά	aw Mean	1	2	3
1	1	0,256000	****		
2	2	0,278000		****	
3	3	0,322667			****

Duncan test; variable aw (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00010, df = 80,000				
Cell	Πριν/Μετά	aw Mean	1	2
1	1	0,280000	****	
2	2	0,291111		****

Εικόνα Π21: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για την ενεργότητα νερού

Univariate Tests of Significance for ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (N) (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	6,543192	1	6,543192	1598,095	0,000000
Λιπαρά	0,165506	2	0,082753	20,211	0,000000
Κόμμεα	0,059209	4	0,014802	3,615	0,009251
% στερεά/κόμμεα	0,014712	2	0,007356	1,797	0,172481
Πριν/Μετά	0,294351	1	0,294351	71,892	0,000000
Error	0,327550	80	0,004094		

Duncan test; variable ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (N) (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00409, df = 80,000					
Cell No.	Λιπαρά	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (N) Mean	1	2	
3	3	0,225933	****		
2	2	0,255067	****		
1	1	0,327900		****	

Duncan test; variable ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (N) (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00409, df = 80,000					
Cell No.	Κόμμεα	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (N) Mean	1	2	3
2	2	0,233111		****	
5	5	0,244889		****	****
1	1	0,282333	****		****
3	3	0,292778	****		
4	4	0,295056	****		

Duncan test; variable ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (N) (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00409, df = 80,000					
Cell No.	Πριν/Μετά	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (N) Mean	1	2	
1	1	0,212444	****		
2	2	0,326822		****	

Εικόνα Π22: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για την σκληρότητα

Univariate Tests of Significance for ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	35,44295	1	35,44295	8754,006	0,000000
Λιπαρά	0,04145	2	0,02072	5,119	0,008094
Κόμμεα	0,05041	4	0,01260	3,113	0,019604
% στερεά/κόμμεα	0,00388	2	0,00194	0,479	0,621367
Πριν/Μετά	0,21194	1	0,21194	52,346	0,000000
Error	0,32390	80	0,00405		

Duncan test; variable ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00405, df = 80,000				
Ce	Λιπαρά	ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ Mean	1	2
1	1	0,598107		****
3	3	0,635862	****	
2	2	0,64866C	****	

Duncan test; variable ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00405, df = 80,000				
Ce	Κόμμεα	ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ Mean	1	2
1	1	0,593312		****
4	4	0,617442	****	****
2	2	0,619683	****	****
3	3	0,64645E	****	
5	5	0,660821	****	

Duncan test; variable ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00405, df = 80,000				
Ce	Πριν/Μετά	ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ Mean	1	2
2	2	0,57901E	****	
1	1	0,67607C		****

Εικόνα Π23: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για την συνεκτικότητα

Univariate Tests of Significance for ΠΡΟΣΚΟΛΛΗΣΙΜΟΤΗΤΑ (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	59153,94	1	59153,94	1676,986	0,000000
Λιπαρά	2430,98	2	1215,49	34,458	0,000000
Κόμμεα	891,85	4	222,96	6,321	0,000180
% στερεά/κόμμεα	59,25	2	29,63	0,840	0,435534
Πριν/Μετά	2555,63	1	2555,63	72,451	0,000000
Error	2821,92	80	35,27		

Duncan test; variable ΠΡΟΣΚΟΛΛΗΣΙΜΟΤΗΤΑ (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 35,274, df = 80,000				
Cell	Λιπαρά	ΠΡΟΣΚΟΛΛΗΣΙΜΟΤΗΤΑ Mean	1	2
1	1	-32,9017		****
2	2	-22,9729	****	
3	3	-21,0370	****	

Duncan test; variable ΠΡΟΣΚΟΛΛΗΣΙΜΟΤΗΤΑ (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 35,274, df = 80,000					
Cell	Κόμμεα	ΠΡΟΣΚΟΛΛΗΣΙΜΟΤΗΤΑ Mean	1	2	3
1	1	-29,5772	****		
4	4	-27,8012	****		
3	3	-26,6929	****	****	
5	5	-23,1965		****	****
2	2	-20,9182			****

Duncan test; variable ΠΡΟΣΚΟΛΛΗΣΙΜΟΤΗΤΑ (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 35,274, df = 80,000				
Cell	Πριν/Μετά	ΠΡΟΣΚΟΛΛΗΣΙΜΟΤΗΤΑ Mean	1	2
2	2	-30,9660	****	
1	1	-20,3084		****

Εικόνα Π24: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για την προσκολλησιμότητα

Univariate Tests of Significance for KOMMIΩΔΕΣ (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	686,6879	1	686,6879	606,4611	0,000000
Λιπαρά	32,1850	2	16,0925	14,2124	0,000005
Κόμμεα	14,1992	4	3,5498	3,1351	0,018964
% στερεά/κόμμεα	2,2055	2	1,1027	0,9739	0,382038
Πριν/Μετά	61,0265	1	61,0265	53,8967	0,000000
Error	90,5829	80	1,1323		

Duncan test; variable KOMMIΩΔΕΣ (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 1,1323, df = 80,000				
	Λιπαρά	KOMMIΩΔΕΣ Mean	1	2
Cel				
1	1	1,935422		****
2	2	3,021611	****	
3	3	3,329630	****	

Duncan test; variable KOMMIΩΔΕΣ (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 1,1323, df = 80,000				
	Κόμμεα	KOMMIΩΔΕΣ Mean	1	2
Cel				
1	1	2,382076	****	
4	4	2,475336	****	
3	3	2,580618	****	
2	2	2,895882	****	****
5	5	3,477194		****

Duncan test; variable KOMMIΩΔΕΣ (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 1,1323, df = 80,000				
	Πριν/Μετά	KOMMIΩΔΕΣ Mean	1	2
Cel				
2	2	1,938770	****	
1	1	3,585673		****

Εικόνα Π25: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για το κομμώδες

Univariate Tests of Significance for Διαβροχή (Sheet1 in pca) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	5174404	1	5174404	9781,098	0,000000
Λιπαρά	20896	2	10448	19,749	0,000000
Κόμμεα	28068	4	7017	13,264	0,000000
% στερεά/κόμμεα	171	2	85	0,161	0,851398
Πριν/Μετά	10890	1	10890	20,585	0,000020
Error	42322	80	529		

Duncan test; variable Διαβροχή (Sheet1 in pca) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 529,02, df = 80,000				
Cell	Λιπαρά	Διαβροχή Mean	1	2
3	3	218,3333		****
2	2	248,6667	****	
1	1	252,3333	****	

Duncan test; variable Διαβροχή (Sheet1 in pca) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 529,02, df = 80,000					
Cell	Κόμμεα	Διαβροχή Mean	1	2	3
5	5	220,8333	****		
2	2	223,6111	****		
1	1	235,2778	****		
4	4	251,3889		****	
3	3	267,7778			****

Duncan test; variable Διαβροχή (Sheet1 in pca) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 529,02, df = 80,000				
Cell No.	Πριν/Μετά	Διαβροχή Mean	1	2
2	2	228,7778	****	
1	1	250,7778		****

Εικόνα Π26: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για τη διαβροχή

Univariate Tests of Significance for Ευυδάτωση (Sheet1 in pca) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	876,4828	1	876,4828	5114,550	0,000000
Λιπαρά	3,2859	2	1,6429	9,587	0,000185
Κόμμεα	0,4171	4	0,1043	0,608	0,657732
% στερεά/κόμμεα	0,7092	2	0,3546	2,069	0,132985
Πριν/Μετά	5,1337	1	5,1337	29,957	0,000000
Error	13,7096	80	0,1714		

Duncan test; variable Ευυδάτωση (Sheet1 in pca)
Homogenous Groups, alpha = ,05000
Error: Between MS = ,17137, df = 80,000

Cell	Λιπαρά	Ευυδάτωση Mean	1	2
2	2	2,946121	****	
1	1	3,029341	****	
3	3	3,386604		****

Duncan test; variable Ευυδάτωση (Sheet1 in pca)
Homogenous Groups, alpha = ,05000
Error: Between MS = ,17137, df = 80,000

Cell	Πριν/Μετά	Ευυδάτωση Mean	1	2
1	1	2,881856	****	
2	2	3,359521		****

Εικόνα Π27: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης για την διαλυτότητα

Univariate Tests of Significance for Οξύτητα (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	279,7659	1	279,7659	9442,111	0,000000
Λιπαρά	0,4467	2	0,2233	7,538	0,001002
Κόμμεα	0,2644	4	0,0661	2,231	0,072942
% στερεά/κόμμεα	0,0062	2	0,0031	0,105	0,900181
Πριν/Μετά	2,8353	1	2,8353	95,692	0,000000
Error	2,3704	80	0,0296		

Duncan test; variable Οξύτητα (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,02963, df = 80,000				
	Λιπαρά	Οξύτητα Mean	1	2
Ce				
3	3	1,702063	****	
2	2	1,725415	****	
1	1	1,861811		****

Duncan test; variable Οξύτητα (Sheet1 in anova) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,02963, df = 80,000				
	Πριν/Μετά	Οξύτητα Mean	1	2
Ci				
2	2	1,585604	****	
1	1	1,940589		****

Εικόνα Π28: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για την οξύτητα

Univariate Tests of Significance for WHC (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	32,19692	1	32,19692	56739,62	0,000000
Λιπαρά	0,00042	2	0,00021	0,37	0,694164
Κόμμεα	0,06027	4	0,01507	26,55	0,000000
% στερεά/κόμμεα	0,00169	2	0,00085	1,49	0,230814
Πριν/Μετά	0,00817	1	0,00817	14,40	0,000286
Error	0,04540	80	0,00057		

Duncan test; variable WHC (Sheet1 in anova)
Homogenous Groups, alpha = ,05000
Error: Between MS = ,00057, df = 80,000

Cell	Κόμμεα	WHC Mean	1	2	3
2	2	0,562907	****		
5	5	0,576902	****		
1	1	0,602981		****	
4	4	0,611528		****	
3	3	0,636264			****

Duncan test; variable WHC (Sheet1 in anova)
Homogenous Groups, alpha = ,05000
Error: Between MS = ,00057, df = 80,000

Cell	Πριν/Μετά	WHC Mean	1	2
1	1	0,588587	****	
2	2	0,607646		****

Εικόνα Π29: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για την ικανότητα συγκράτησης νερού

Univariate Tests of Significance for ΔE average (Sheet1 in anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	4798,861	1	4798,861	4713,516	0,000000
Λιπαρά	307,272	2	153,636	150,903	0,000000
Κόμμεα	5,032	4	1,258	1,236	0,302465
% στερεά/κόμμεα	1,128	2	0,564	0,554	0,576900
Πριν/Μετά	3,457	1	3,457	3,395	0,069090
Error	81,449	80	1,018		

Duncan test; variable ΔE average (Sheet1 in anova)
Homogenous Groups, alpha = ,05000
Error: Between MS = 1,0181, df = 80,000

Cell	Λιπαρά	ΔE average Mean	1	2	3
1	1	5,532789	****		
2	2	6,521421		****	
3	3	9,852093			****

Εικόνα Π30: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης και ελέγχου Duncan για το χρώμα

Univariate Tests of Significance for ΔΕ (Φύλλο1 in ad anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	624,5297	1	624,5297	24,33734	0,038718
T	132,9558	2	66,4779	2,59058	0,278506
αραίωση	33,7174	1	33,7174	1,31393	0,370327
Error	51,3228	2	25,6614		

Εικόνα Π31: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης για το χρώμα σε δείγματα spray drying

Univariate Tests of Significance for Ενεργότητα νερού (Φύλλο1 in ad anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,432017	1	0,432017	3703,000	0,000270
T	0,001633	2	0,000817	7,000	0,125000
αραίωση	0,000417	1	0,000417	3,571	0,199359
Error	0,000233	2	0,000117		

Εικόνα Π32: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης για την ενεργότητα του νερού σε δείγματα spray drying

Univariate Tests of Significance for Διαβροχή (Φύλλο1 in ad anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	292604,2	1	292604,2	936,3333	0,001066
T	208,3	2	104,2	0,3333	0,750000
αραίωση	937,5	1	937,5	3,0000	0,225403
Error	625,0	2	312,5		

Εικόνα Π33: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης για την διαβροχή σε δείγματα spray drying

Univariate Tests of Significance for Ενυδάτωση (Φύλλο1 in ad anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	47,42541	1	47,42541	4047,688	0,000247
T	0,00043	2	0,00022	0,018	0,981844
αραίωση	0,01707	1	0,01707	1,457	0,350847
Error	0,02343	2	0,01172		

Εικόνα Π34: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης για την διαλυτότητα σε δείγματα spray drying

Univariate Tests of Significance for πορώδες (Φύλλο1 in ad anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1,449557	1	1,449557	2051,945	0,000487
T	0,017063	2	0,008531	12,077	0,076471
αραίωση	0,000299	1	0,000299	0,424	0,581952
Error	0,001413	2	0,000706		

Εικόνα Π35: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης για το πορώδες σε δείγματα spray drying

Univariate Tests of Significance for pH (Φύλλο1 in ad anova) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	105,8400	1	105,8400	21168,00	0,000047
T	0,0100	2	0,0050	1,00	0,500000
αραίωση	0,0000	1	0,0000	0,00	1,000000
Error	0,0100	2	0,0050		

Εικόνα Π36: Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης για το pH σε δείγματα spray drying

