



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



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επίδραση της ξανθάνης και του κόμμεος χαρουπιού στις ιδιότητες αναπληρωμάτων τυριού από πρωτεΐνες ορού γάλακτος και φοινικέλαιο.

ΠΑΝΤΑΖΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ – ΧΙΩΤΕΛΛΗ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2019

Επίδραση της ξανθάνης και του κόμμεος χαρουπιού στις ιδιότητες αναπληρωμάτων τυριού από πρωτεΐνες ορού γάλακτος και φοινικέλαιο.

ΠΑΝΤΑΖΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ – ΧΙΩΤΕΛΛΗ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ

Υποβολή πτυχιακής εργασίας που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την απονομή του πτυχίου του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων(Τεταρτοετής φοίτησης) του πρώην ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης.

Ημερομηνία: 20/09/2019

Επιβλέπων καθηγητής: Θωμάρεϊς Απόστολος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με θέμα «Επίδραση της ξανθάνης και του κόμμεος χαρουπιού στις ιδιότητες αναπληρωμάτων τυριού από πρωτεΐνη ορού γάλακτος και φοινικέλαιο» πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Ελέγχου και Διασφάλισης Ποιότητας του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2018-2019. Θα θέλαμε σε αυτό το σημείο να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Θωμάρεϊ Απόστολο, για την αμέριστη συμπαράσταση και τις πολύτιμες συμβουλές που παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης. Επίσης, ευχαριστίες απευθύνονται στον καθηγητή κ. Πετρίδη Δημήτριο, ο οποίος με απόλυτη προθυμία βοήθησε στην εκπόνηση της στατιστικής ανάλυσης της εργασίας αυτής καθώς και την κα Μαρινοπούλου Άννα για τις πολύτιμες υποδείξεις και κατευθύνσεις της κατά την διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων στον Αναλυτή Υφής.

Με εκτίμηση,

Πανταζή Βασιλική – Χιωτέλλη Αλεξάνδρα

Επίδραση της ξανθάνης και του κόμμεος χαρουπιού στις ιδιότητες αναπληρωμάτων τυριού από πρωτεΐνες ορού γάλακτος και φοινικέλαιο.

ΠΑΝΤΑΖΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ – ΧΙΩΤΕΛΛΗ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ

Διεθνές Πανεπιστήμιο Της Ελλάδος, Σχολή Γεωτεχνικών Επιστημών, Τμήμα
Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων 57400 Θεσσαλονίκη Τ.Θ. 141

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν η παρασκευή επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού με πρωτεΐνες ορού γάλακτος, φοινικέλαιο, νερό, σταθεροποιητές κόμμι ξανθάνης και κόμμι χαρουπιού, γαλακτικό οξύ και χλωριούχο νάτριο με σκοπό τη μελέτη φυσικοχημικών, ρεολογικών και μηχανικών ιδιοτήτων. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε μια προκαταρκτική μελέτη με σκοπό την επιλογή της ιδανικής σύστασης του αναπληρώματος τυριού. Η σύσταση που θεωρήθηκε καταλληλότερη ώστε όλα τα δείγματα να χαρακτηρίζονται επαλειφόμενα ήταν πρωτεΐνες ορού γάλακτος 14%, φοινικέλαιο 25%, νερό 58,2%, σταθεροποιητές 0,8%, γαλακτικό οξύ 1% και μαγειρικό αλάτι 1%. Τα έντεκα δείγματα που παρασκευάστηκαν διέφεραν στην αναλογία των σταθεροποιητών που προστέθηκαν. Οι αναλογίες αυτές ήταν ξανθάνη προς κόμμι χαρουπιού 0:100, 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10, 100:0. Η στατιστική ανάλυση έγινε με τη χρήση του στατιστικού πακέτου Minitab 17.0, χρησιμοποιώντας τα διαγράμματα μέσων όρων με όρια εμπιστοσύνης 95% (Interval Plots) της one-way ANOVA.

Στις φυσικοχημικές ιδιότητες των τυριών που μελετήθηκαν περιλαμβάνονταν το χρώμα, το pH και το μέγεθος των λιποσφαιρίων. Το χρώμα των τυριών εξετάστηκε με το χρωματόμετρο HunterLab, το pH με πεχάμετρο Hanna και το μέγεθος λιποσφαιρίων με τη συσκευή Malvern Mastersizer 2000. Η φωτεινότητα, η χρωματική παράμετρος b^* , η χρωματική παράμετρος a^* και το pH κατά την στατιστική τους αξιολόγηση εμφάνισαν μη στατιστικά σημαντικές διαφορές. Όσον αφορά το μέγεθος των λιποσφαιρίων, επιφάνεια και όγκος, παρατηρήθηκε αύξηση με την αύξηση της ξανθάνης.

Η μελέτη των μηχανικών και ρεολογικών χαρακτηριστικών πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της ανάλυσης προφίλ υφής (TPA) και τη μέθοδο της λιπαινόμενης συμπίεσής ροής, με τη βοήθεια του αναλυτή υφής TA-XT Plus. Στη δοκιμή TPA μελετήθηκαν η ευθραυστότητα, η σκληρότητα, το έργο συμπίεσης, η εκτατότητα και η κομμωδής υφή. Αντίστοιχα, για τη δοκιμή λιπαινόμενης συμπίεσής ροής, μελετήθηκε η δύναμη συμπίεσης και η δύναμη χαλάρωσης.

Καθοριστικό ρόλο έπαιξε η αναλογία της ξανθάνης στα δείγματα λόγω της συνέργειας που υπάρχει με το κόμμι χαρουπιού αλλά και ως ανεξάρτητα μόρια. Η μεγαλύτερη συνέργεια παρατηρήθηκε σε αναλογίες ξανθάνης 60-80% και χαρουπιού 40-20% αντίστοιχα. Η σκληρότητα, το έργο συμπίεσης, η κομμωδής υφή, η δύναμη συμπίεσης και η δύναμη χαλάρωσης αυξάνονται με την αύξηση της συνέργειας και αντίστοιχα μειώνονται με μείωση αυτής. Παράλληλα η συγκολλητικότητα, η ελαστικότητα, η εκτατότητα και η συνεκτικότητα μειώνονται με την αύξηση της ξανθάνης.

Effect of xanthan and locust bean gum on the properties of cheese analogues from whey proteins and palm oil

Pantazi Vasiliki – Chiotelli Alexandra

Abstract

The objective of the present study was the preparation of cheese analogues samples which were made of whey protein powder, palm oil, water, xanthan gum and locust bean gum as stabilizers, lactic acid and sodium chloride, as the main purpose the study of their physicochemical, mechanical and rheological properties. A preliminary study was first conducted in which the final concentration of the “spread” cheese analogue was chosen. At last, the ideal concentration concluded to be whey protein powder 14%, palm oil 25%, water 58,2, stabilizers 0,8%, lactic acid 1% and sodium chloride 1%. The eleven samples were then prepared with the only difference on the ratio of the two stabilizers. The ratios that were chosen were xanthan gum – locust bean gum 0:100, 10:90, 80:20, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10, 100:0. Using Interval Plots by one-way ANOVA the following results came of.

The physicochemical properties, specifically color, pH and fat globules' size were measured with a HunterLab colorimeter, a Hanna pH meter and a Malvern Mastersizer 2000 particle size meter, respectively. Lightness, color parameter b*, parameter a* and pH were not statistically significant, whereas fat globules' size and volume tended to increase when xanthan gum's ratio increased

Two methods were used for the study of the mechanical and rheological properties: Texture Profile Analysis (TPA) and lubricated squeeze flow, using a TA-XT Plus texture analyzer. TPA was used for the analysis of the hardness, compression work, stringiness and samples' gumminess, while the forces of compression and relaxation, were studied with the lubricated squeeze flow method.

The proportion of xanthan in the samples played a decisive role because of the synergy with the locust bean gum but also as independent stabilizer. The highest synergy was observed in ratios of 60-80% xanthan and locust bean gum 40-20%, respectively. Hardness, compression work, gumminess, forces of compression and relaxation increase with the increasing synergy and decrease when synergy decreased. At the same time, stringiness, elasticity, extensibility decrease with increasing xanthan.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	9
2.1 ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ	9
2.1.1 Γενικά	9
2.1.2 Βασικές αρχές παρασκευές γαλακτωμάτων	10
2.1.3 Μηχανισμοί αποσταθεροποίησης γαλακτωμάτων	11
2.1.4 Γαλακτωματοποιητές.....	13
2.2 ΑΝΑΠΛΗΡΩΜΑΤΑ ΤΥΡΙΩΝ	17
2.2.1 Γενικά	17
2.2.2 Συμμόρφωση στην αγορά.....	18
2.2.3 Γεύση.....	19
2.2.4 Πήξη	20
2.2.5 Βασικά Συστατικά Αναπληρώματα Τυριών.....	20
2.2.6 Δευτερεύοντα Συστατικά Αναπληρωμάτων τυριού	24
2.2.7 Συνθήκες επεξεργασίας	25
2.2.8 Σχέση μεταποιημένων τυριών PCPs και αναπληρωμάτων τυριού ACPs.....	27
2.2.9 Υποκατάστατα τυριά και τυριά μίμησης.....	28
2.2.10 Αναπληρώματα τυριού και χοληστερίνη.....	29
2.3 ΠΡΩΤΕΙΝΗ ΟΡΟΥ	31
2.3.1 Γενικά	31
2.3.2 Κυριότερες πρωτεΐνες ορού.....	31
2.3.3 Παραγωγή γαλακτογλοβουλίνης	34
2.3.4 Κατηγορίες και σύνθεση πρωτεΐνης ορού	35
2.3.5 Επιλογή ορού γάλακτος.....	36
2.3.6 Πρωτεΐνες ορού και υγεία	37
2.4 ΦΟΙΝΙΚΕΛΑΙΟ	39
2.4.1 Γενικά	39
2.4.2 Είδη φοινικέλαιου	39
2.4.3 Επεξεργασία φοινικέλαιου	41
2.5 ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΗ ΚΑΙ ΚΟΜΜΕΑ.....	44
2.5.1 Γενικά	44
2.5.2 Ξανθάνη.....	44
2.5.3 Κόμμι Χαρουπιού.....	46
2.5.4 Συνέργεια κόμμεων ξανθάνης – χαρουπιού	47
2.6 ΓΑΛΑΚΤΙΚΟ ΟΞΥ	49

2.6.1 Γενικά	49
2.6.2 Τύποι γαλακτικού οξέος	49
3. ΣΚΟΠΟΣ.....	51
4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	52
4.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	52
4.1.1 Περιγραφή προετοιμασίας δειγμάτων και του ομογενοποιητή – παστεριωτή Stephan.	52
4.2 ΡΕΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΑΝΑΚΑΤΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΕΠΑΛΕΙΦΟΜΕΝΩΝ ΤΥΡΙΩΝ	55
4.2.1 Αναλυτής υφής	55
4.2.2 Δοκιμή TPA: Texture Profile Analysis	56
4.2.3 Υπολογισμός μηχανικών παραμέτρων TPA.....	57
4.2.4 Δοκιμή Λιπαινόμενης συμπιεστής ροής (Squeeze flow).....	58
4.2.5 Διαδικασία λιπαινόμενης συμπιεστής ροής.....	59
4.3 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ.....	60
4.3.1. Διαδικασία Μέτρησης pH	60
4.3.2 Μέτρηση μεγέθους λιποσφαιρίων	61
4.3.3 Προσδιορισμός χρώματος	63
4.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	65
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	66
5.1 ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ.....	66
5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ ΥΦΗΣ.....	66
5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΙΠΑΙΝΟΜΕΝΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ ΡΟΗΣ (SF)	73
5.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΧΡΩΜΑΤΟΣ.....	75
5.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ pH	76
5.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΛΙΠΟΣΦΑΙΡΙΩΝ	76
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	78
7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	79
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	80
8.1 Ελληνική Βιβλιογραφία.....	80
8.2 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία	80
8.3 Ηλεκτρονική βιβλιογραφία	83

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με το Κώδικα Τροφίμων και ποτών αναπληρώματα τυριών ή τηγμένα τυριά καθώς και αναπληρώματα τυριών με αλοιφώδη υφή χαρακτηρίζονται τα προϊόντα που παρασκευάζονται με άλεση ,ανάμιξη, τήξη και γαλακτωματοποίηση διάφορων ειδών τυριών με θέρμανση και προσθήκη γαλακτωματοποιητών με ή χωρίς την προσθήκη προϊόντων γάλακτος και ή άλλων τροφίμων. Η ιδέα των αναπληρωμάτων τυριού δημιουργήθηκε έτσι ώστε να μπορέσουν να αξιοποιηθούν τυριά που αλλιώς θα ήταν δύσκολο να χρησιμοποιηθούν ή και αδύνατον, για παράδειγμα τυριά με εμφανές παραμορφώσεις, τοπικές ατέλειες μικρά κομμάτια τυριού που παράγονται κατά τη μορφοποίηση ,τη συσκευασία του κ.λ.π. Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει ραγδαία ανάπτυξη για τους εξής λόγους:

- έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής,
- παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία στη γεύση, υφή στη λειτουργικότητα και στη εμφάνιση
- το κόστος παρασκευής είναι μειωμένο
- χρησιμοποιούνται για τη επάλειψη ψωμιού για τη παρασκευή τoστ , πίτσας και άλλων τροφίμων αλλά και για αυτούσια κατανάλωση

Τα αναπληρώματα τυριού χαρακτηρίζονται κυρίως από τη σύσταση τους τη περιεκτικότητας σε υγρασία και τη συνεκτικότητα τους. Ένας σημαντικός παράγοντας για τη παρασκευή των συγκεκριμένων τυριών είναι η προσθήκη γαλακτωματοποιητών όπου προσδίδουν ομοιόμορφη δομή κατά τη διάρκεια της τήξης. Υπάρχουν και άλλες βοηθητικές ύλες όπως το νερό και άλλα διάφορα πρόσθετα. Κύριος γαλακτωματοποιητής που χρησιμοποιήθηκε για τη παρασκευή των τυριών αυτών είναι οι πρωτεΐνες ορού.

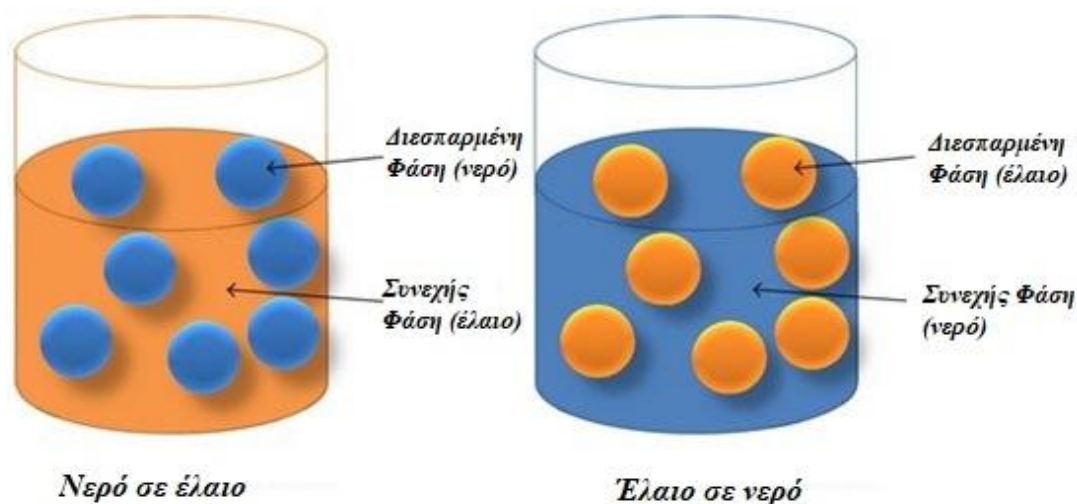
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ

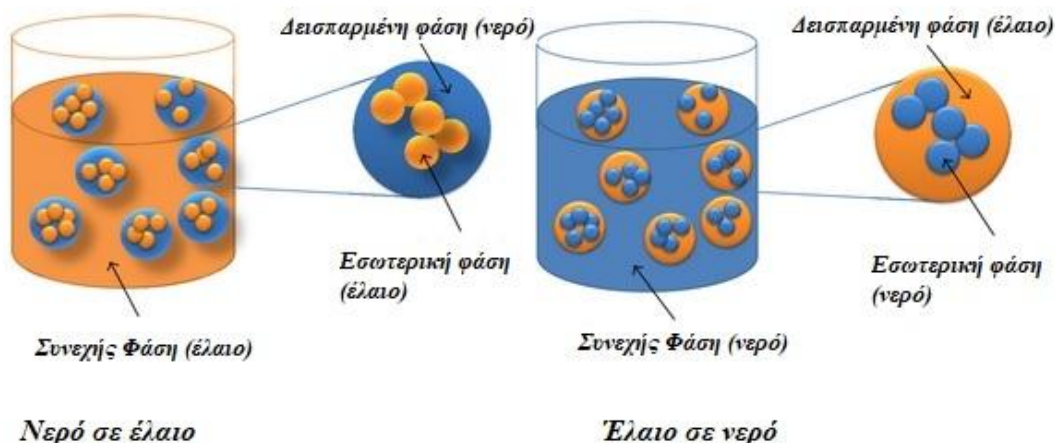
2.1.1 Γενικά

Ως γαλάκτωμα ορίζεται ένα κολλοειδές σύστημα που αποτελείται από δύο μη αναμιγνύόμενα υγρά (νερό και έλαιο) με ένα από τα δύο υγρά να διασπείρεται σε μικρά σφαιρικά σωματίδια μέσα στο άλλο. Το μέγεθος των λιποσφαιρίων συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 100μm (Friberg et al., 2004). Το υγρό που βρίσκεται σε διασπορά σε ένα γαλάκτωμα αναφέρεται ως ασυνεχή φάση ενώ το υγρό που τα περιβάλλει ονομάζεται συνεχή φάση. Τα γαλάκτωμα μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με την σχετική κατανομή της υδατικής και της λιπαρής τους φάσης σε:

- Γαλακτώματα τύπου ελαίου σε νερό όπου τα λιποσφαίρια διασπείρονται στην υδατική φάση. Παραδείγματα τέτοιων τροφίμων αποτελούν το γάλα, οι κρέμες, οι σάλτσες, η μαγιονέζα, οι σούπες και άλλα dressing (**Σχήμα 1**).
- Γαλακτώματα τύπου νερό σε έλαιο, όπου σταγονίδια νερού διασπείρονται στη λιπαρή (ασυνεχή) φάση. Παραδείγματα τέτοιων τροφίμων είναι το βούτυρο και η μαργαρίνη (**Σχήμα 1**).
- Διπλά γαλακτώματα τα οποία είναι τύπου έλαιο-σε νερό – σε έλαιο και νερό - σε έλαιο - σε νερό, όπου λιποσφαίρια ή σφαιρίδια νερού βρίσκονται σε διασπορά σε σταγονίδια νερού ή λιποσφαίρια αντίστοιχα, τα οποία βρίσκονται σε διασπορά σε λιπαρή ή υδατική φάση (**Σχήμα 2**).



Σχήμα 1: Έννοια των διφασικών γαλακτωμάτων νερού-σε-έλαιο και νερό-σε-έλαιο (Khan et al., 2014) .



Σχήμα 2: Έννοια των τριφασικών γαλακτωμάτων ελαίου-σε-νερό-σε-έλαιο και νερού-σε-έλαιο-σε-νερό (Khan et al., 2014).

Υπάρχουν διαφορετικές κατηγορίες γαλακτωμάτων οι οποίες διαχωρίζονται σύμφωνα με το μέγεθος των λιποσφαιρίων τους (**Πίνακας 1**) (McClements, 2011).

Πίνακας 1: Διαφορετικοί τύποι γαλακτωμάτων που μπορούν να δημιουργηθούν από νερό, έλαιο και γαλακτωματοποιητές (McClements, 2011).

Τύπος γαλακτώματος	Εύρος Ακτίνας	Σταθερότητα	Εμφάνιση
Γαλακτώματα	100nm – 100mm	Μετα-σταθερό	Θολό/ Αδιαφανές
Νανο-γαλακτώματα	10-100 nm	Μετα-σταθερό	Καθαρό/ θολό
Μicro-γαλακτώματα	2-50 nm	Σταθερό	Καθαρό

- Τα λιποσφαίρια των συμβατικών γαλακτωμάτων έχουν μέγεθος (μέση ακτίνα) μεταξύ 100nm – 100 mm. Αυτά τα γαλακτώματα είναι θερμοδυναμικά ασταθή λόγω της σχετικά μεγάλης διεπιφανειακής τάσης (θετική ελεύθερη ενέργεια) μεταξύ της λιπαρής και της υδατικής φάσης.
- Τα νανογαλακτώματα που μπορούν να θεωρηθούν ως συμβατικά γαλακτώματα, περιέχουν λιποσφαίρια μεταξύ 10-100 nm. Το μικρό μέγεθος των λιποσφαιρίων χαρίζει μεγαλύτερη σταθερότητα στα νανογαλακτώματα και μειώνει τον ρυθμό που εμφανίζονται τα φαινόμενα του διαχωρισμού και της συσσωμάτωσης σε σχέση με τα συμβατικά γαλακτώματα..
- Τα μικρογαλακτώματα είναι θερμοδυναμικά σταθερά συστήματα τα οποία περιέχουν σωματίδια μεγέθους 2-50nm (Tadros et al., 2004; Wooster et al., 2008).

2.1.2 Βασικές αρχές παρασκευές γαλακτωμάτων

Για τον σχηματισμό ενός γαλακτώματος σημαντική επίδραση έχει η διεπιφάνεια, δηλαδή η επιφάνεια που διαχωρίζει την υδατική φάση από την λιπαρή φάση. Στα συστήματα ελαίου σε νερό, τα μη πολικά μόρια του ελαίου δεν μπορούν

να σχηματίσουν δεσμούς υδρογόνου με τα μόρια του νερού, λόγω του υψηλού υδρόφοβου χαρακτήρα του, με αποτέλεσμα τα δύο υγρά να μην μπορούν να αναμιχθούν. Αυτό οδηγεί στη μείωση του μεγέθους των λιποσφαιρίων που είναι διασκορπισμένα στο νερό, με σκοπό να ελαττωθεί η επιφάνεια επαφής τους με το νερό, δηλαδή η διεπιφάνεια που είναι ο αριθμός των ανεπιθύμητων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μορίων των δύο φάσεων. Αυτή η τάση μείωσης του μεγέθους των λιποσφαιρίων είναι το αποτέλεσμα της διεπιφανειακής τάσης, η τιμή της οποίας καθορίζεται από την έλλειψη ισορροπίας μεταξύ των μοριακών δυνάμεων. Εκφράζει το απαραίτητο ποσό ενέργειας (ΔG) που πρέπει να προσφερθεί στο σύστημα του γαλακτώματος, ώστε να αυξηθεί το εμβαδό της διεπιφάνειας μεταξύ των δύο μη αναμίξιμων φάσεων και το σύστημα να επέλθει σε κατάσταση ισορροπίας.

Όσο δυσκολότερα αναμιγνύονται τα δυο υγρά τόσο πιο μεγάλη είναι η διεπιφανειακή τάση και συνεπώς τόσο πιο μεγάλη είναι η απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας για την επίτευξη της κατάστασης ισορροπίας. Η ενέργεια που απαιτείται ώστε να μειωθεί το μέγεθος των λιποσφαιρίων, αυξάνοντας έτσι το εμβαδό της διεπιφάνειας ανάμεσα στις δύο φάσεις, παρέχεται από την ομογενοποίηση του συστήματος με την χρήση κατάλληλων συσκευών όπως οι ομογενοποιητές υπερήχων, υψηλής πίεσης ή από το χημικό δυναμικό των συστατικών του. Η μείωση της απαιτούμενης ενέργειας επιτυγχάνεται με την προσθήκη κατάλληλων ουσιών, των γαλακτοματοποιητών, οι οποίοι μειώνουν την επιφανειακή τάση και καθυστερούν την συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων κατά την διάρκεια της γαλακτοματοποίησης (Παπαδοπούλου, 2015).

2.1.3 Μηχανισμοί αποσταθεροποίησης γαλακτωμάτων

Ο όρος “σταθερότητα γαλακτώματος» αναφέρεται στην ικανότητα ενός γαλακτώματος να αντιστέκεται στις αλλαγές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων κατά το πέρασμα του χρόνου (McClements, 2005). Ένα γαλάκτωμα μπορεί να καταστεί ασταθής από μια σειρά αλλαγών που πιθανών να οφείλονται σε φυσικές και χημικές διεργασίες. Αποσταθεροποίηση λόγω μιας φυσικής διεργασίας οδηγεί σε μεταβολή της χωροταξικής κατανομής ή της δομικής οργάνωσης των μορίων. Ενώ η αστάθεια που προκαλείται από χημικές διεργασίες οδηγεί στη μεταβολή του είδους των μορίων που υπάρχουν στο γαλάκτωμα, όπως η οξείδωση και η υδρόλυση (Fennema, 1996). Οι μηχανισμοί που μπορούν να οδηγήσουν σε φυσική αποσταθεροποίηση μπορούν να ενταχθούν σε πέντε γενικές κατηγορίες (**Σχήμα 3**):

i. Βαρυτικός διαχωρισμός – Αποκορύφωση (creaming)

Βαρυτικός διαχωρισμός καλείται ο διαχωρισμός των δύο φάσεων ενός κολλοειδούς που συμβαίνει εξαιτίας της διαφοράς πυκνότητας μεταξύ τους. Σε ένα γαλάκτωμα ελαίου σε νερό οι σταγόνες, συνήθως μικρότερης πυκνότητας από το νερό, ανεβαίνουν προς τα πάνω. Αυτό στην τεχνολογία των γαλακτοκομικών καλείται αποκορύφωση (creaming), από το διαχωρισμό του λίπους του γάλακτος υπό την επίδραση της βαρύτητας σε δύο στιβάδες.

Η αποκορύφωση και γενικότερα οι βαρυτικοί διαχωρισμοί στην ουσία δεν καταστρέφουν ένα γαλάκτωμα, αφού ή άλλο κολλοειδές αλλά παράγουν ένα πυκνό στρώμα από σταγόνες/σωματίδια σαφώς διαχωρίσιμο από την εκκενωμένη από κολλοειδή σωματίδια συνεχή φάση (“ορός”).

Ο βαρυτικός διαχωρισμός είναι αποτέλεσμα του ανταγωνισμού μεταξύ βαρυτικής κίνησης και διάχυσης, με την τελευταία να τείνει να επαναδιασπείρει τα σταγονίδια που συσσωρεύτηκαν σε ένα συγκεκριμένο σημείο του συστήματος. Η διάχυση είναι πιο σημαντική για τις μικρές σταγόνες, ενώ οι μεγαλύτερες τείνουν να

επηρεάζονται μόνο από τις βαρυτικές δυνάμεις, με αποτέλεσμα τον πλήρη διαχωρισμό σε “κρέμα” και “ορό”.

ii. Συσσωμάτωση – Κροκίδωση

Η συσσωμάτωση (aggregation) και η κροκίδωση (flocculation) είναι όροι που μπορούν να συγχυστούν. Η συσσωμάτωση είναι ένας γενικός όρος και συσσωματώματα είναι μια ομάδα από δύο ή περισσότερα στερεά σωματίδια ή υγρά σταγονίδια ή αέριες φυσαλίδες που κρατούνται μαζί από δυνάμεις απροσδιόριστων μεγέθους και προέλευσης. Αντίστοιχα, κροκίδωση (σε γαλακτώματα και αφρούς) είναι η συσσωμάτωση των σταγονιδίων που δίνει τρισδιάστατες δομές χωρίς να συμβαίνει συγχώνευση.

Για κάθε κολλοειδές ορίζεται μια συγκέντρωση διεσπαρμένων σωματιδίων, κάτω από την οποία το σύστημα είναι σταθεροποιημένο, αλλά πάνω από το οποίο λαμβάνει χώρα κροκίδωση μέχρι την επίτευξη ισορροπίας κροκιδωμένων και μη-σωματιδίων. Για σωματίδια που αλληλεπιδρούν πολύ έντονα, αυτή η συγκέντρωση είναι πολύ χαμηλή και η κροκίδωση μπορεί να χαρακτηριστεί ως μη αντιστρέψιμη.

iii. Συγχώνευση (coalescence)

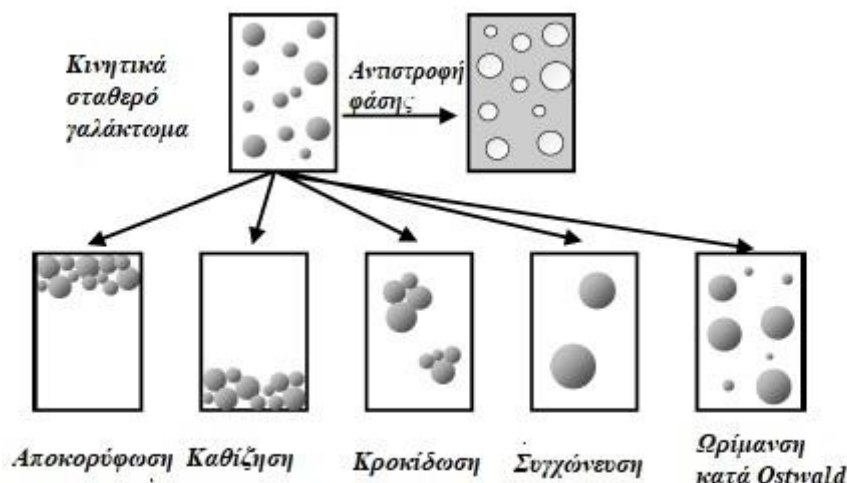
Η παροχή ενέργειας για τη δημιουργία ενός γαλακτώματος στοχεύει στη δημιουργία νέων υγρών σωματιδίων κολλοειδών διαστάσεων. Η ενέργεια παρέχει στο προς διασπορά σύστημα την ελεύθερη επιφάνεια και την απαιτούμενη καμπυλότητα για τη δημιουργία μικρών σταγονιδίων. Αυτή η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί τελικά να απελευθερωθεί με τη συγχώνευση δύο σωματιδίων σε ένα μεγαλύτερο, έτσι ώστε να μειώσει την ελεύθερη ενέργεια της διεπιφάνειας και τη σχετιζόμενη καμπυλότητα.

iv. Αναστροφή φάσεων

Κατά την αναστροφή φάσεων η διεσπαρμένη φάση ενός δυαδικού συστήματος γίνεται συνεχής και αντίστροφα. Για παράδειγμα ένα γαλάκτωμα νερού σε έλαιο γίνεται έλαιο σε νερό. Σε αυτήν την περίπτωση η αναστροφή φάσεων προαπαιτεί σχετικά παρόμοια συγκέντρωση του ελαίου και του νερού.

v. Δυσαναλογία – Ωρίμανση κατά Ostwald

Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει κυρίως σε συστήματα αφρών. Οι φυσαλίδες αυτές μειώνονται αριθμητικά ενώ αυξάνει το μέσο μέγεθός τους, χωρίς να παρατηρηθεί σημαντική συγχώνευση. Αυτό συμβαίνει αφού στα συστήματα αυτά κυριαρχεί ο μηχανισμός που είναι γνωστός ως δυσαναλογία, ο οποίος σχετίζεται με την φυσικοχημική διεργασία ωρίμανση κατά Ostwald. Η ωρίμανση κατά Ostwald είναι ένα φαινόμενο κατά το οποίο τα μόρια που απαρτίζουν τα σωματίδια της διεσπαρμένης φάσης μεταφέρονται στη συνεχή φάση, μέσα στην οποία διαχέονται ώσπου να επαναδιαλυτοποιηθούν σε ένα άλλο σωματίδιο/φυσαλίδα. Κατά τη διάρκεια της διεργασίας αυτής τα μόρια που βρίσκονται σε μικρότερα σωματίδια τείνουν να μεταφερθούν στη συνεχή φάση εντονότερα από ότι τα μόρια που περιέχονται στα μεγαλύτερα σωματίδια. Έτσι τελικά τα μεγαλύτερα σωματίδια μεγαλώνουν εις βάρος των μικρότερων (Ριτζούλης, 2011).

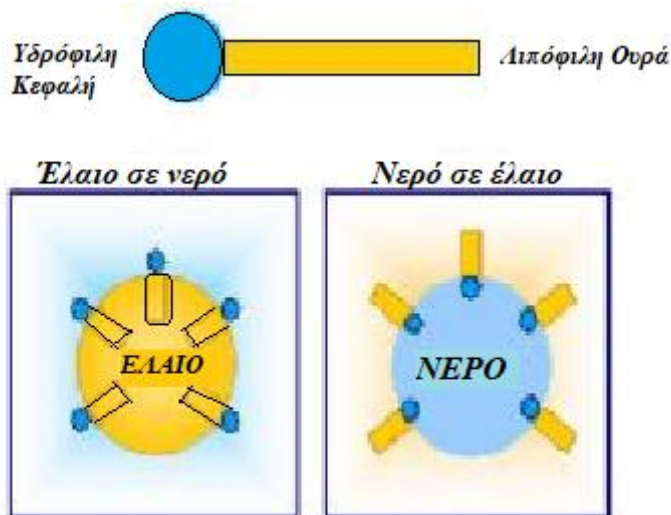


Σχήμα 3: Σχηματική απεικόνιση των πιο κοινών μηχανισμών αποσταθεροποίησης που συμβαίνουν σε γαλακτώματα τροφίμων: αποκορύφωση, καθίζηση, κροκίδωση, συσσωμάτωση, ωρίμανση κατά Ostwald και αντιστροφή φάσης (McClements, 2007).

2.1.4 Γαλακτωματοποιητές

Ένας γαλακτωματοποιητής είναι μια ουσία που σταθεροποιεί ένα γαλάκτωμα αυξάνοντας την κινητική του σταθερότητα. Μία κατηγορία γαλακτωματοποιητών είναι γνωστή ως "επιφανειοδραστικοί παράγοντες" ή επιφανειοδραστικές ουσίες. Οι γαλακτωματοποιητές είναι ενώσεις που τυπικά έχουν ένα πολικό ή υδρόφιλο (δηλαδή υδροδιαλυτό) τμήμα και ένα μη πολικό (δηλ. Υδρόφοβο ή λιπόφιλο) τμήμα (**Σχήμα 4**). Εξαιτίας αυτού, οι γαλακτωματοποιητές τείνουν να έχουν περισσότερο ή λιγότερο διαλυτότητα είτε σε νερό είτε σε έλαιο. Γαλακτωματοποιητές που είναι περισσότερο διαλυτοί στο νερό (και αντίστροφα, λιγότερο διαλυτοί στο έλαιο) γενικά σχηματίζουν γαλακτώματα ελαίου σε νερό, ενώ οι γαλακτωματοποιητές που είναι περισσότερο διαλυτοί στο έλαιο θα σχηματίζουν γαλακτώματα νερού σε έλαιο (Cassiday, 2014). Ιδανικά, ένας γαλακτωματοποιητής πρέπει να προσροφάται γρήγορα στη διεπιφάνεια ελαίου-νερού κατά τη διαδικασία της ομογενοποίησης και να προκαλεί σημαντική μείωση της διεπιφανειακής τάσης έτσι, ώστε να αποτρέπει τη συσσωμάτωση των σταγονιδίων κατά την ομογενοποίηση. Επίσης ο ρόλος του γαλακτωματοποιητή είναι σημαντικός για τη σταθερότητα του γαλακτώματος σε συνθήκες αποθήκευσης, μεταφοράς και γενικά στις περιβαλλοντικές συνθήκες, μέσω δημιουργίας μίας «προστατευτικής» διεπιφανειακής μεμβράνης μεταξύ σταγονιδίων και μέσου διασποράς.

Στη βιομηχανία τροφίμων οι πιο κοινοί γαλακτωματοποιητές που χρησιμοποιούνται είναι αμφίφιλες πρωτεΐνες και φωσφολιπίδια. Τα συστατικά αυτά χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν το ιξώδες της συνεχούς φάσης των γαλακτωμάτων και ενισχύουν τη σταθερότητά τους με επιβράδυνση της κίνησης των σταγονιδίων. Για την αύξηση του ιξώδους της σταθερής φάσης των γαλακτωμάτων χρησιμοποιούνται πολυσακχαρίτες ως γαλακτωματοποιητές.



Σχήμα 4: Γαλάκτωμα έλαιο σε νερό (αριστερά) και νερό σε έλαιο (δεξιά) με την προσθήκη γαλακτωματοποιητή (<http://www.emulsifiers.org/ViewDocument.asp?ItemId=11&Title=What>).

2.1.4.1 Πρωτεΐνες ως γαλακτωματοποιητές

Οι πρωτεΐνες είναι μεγάλα αμφίφιλα βιομόρια τα οποία αποτελούνται από μεγάλες αλυσίδες αμινοξέων. Κατά τον σχηματισμό ενός πολυπεπτιδίου, η αλυσίδα των αμινοξέων περιελίσσεται στο χώρο ώστε οι υδρόφοβες πλευρικές ομάδες να είναι προσανατολισμένες προς το εσωτερικό του μορίου και οι υδρόφιλες προς το εξωτερικό (Lam & Nickerson, 2013).

Οι πρωτεΐνες εκτιμώνται ευρέως για τις ιδιότητες σταθεροποίησης τους στα γαλακτώματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το γάλα. Οι πρωτεΐνες, επίσης είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για την παραγωγή πηκτών γαλακτωμάτων αφού διαθέτουν ένα ευρύ φάσμα ομάδων οι οποίες συνδέονται με ομοιοπολικούς σταυροδεσμούς (Zhu et al, 2018). Η γαλακτωματοποιητική τους ιδιότητα οφείλεται στην αμφίφιλη φύση τους αλλά και στην ικανότητα τους να σχηματίζουν υμένια (Krog, 2002).

Κατά την παρουσία των πρωτεϊνών σε μια διεπιφάνεια ελαίου σε νερό, η πολυπεπτιδική αλυσίδα ξεδιπλώνεται και τα υδρόφοβα τμήματά της διεισδύουν στη λιπαρή φάση, ενώ τα υδρόφιλα τμήματά της παραμένουν στην υδατική φάση. Παράλληλα τα μόρια της πρωτεΐνης που έχουν προσροφηθεί στην διεπιφάνεια αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου, δεσμούς Van der Waals και με υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις σχηματίζοντας έτσι έναν προστατευτικό υμένα ο οποίος αυξάνει τις απωστικές δυνάμεις μεταξύ των λιποσφαιρίων. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός προσροφημένων υδρόφοβων περιοχών στην διεπιφάνεια τόσο πιο ισχυρή είναι η δέσμευση του πρωτεϊνικού μορίου στην διεπιφάνεια και συνεπώς και το υμένιο που σχηματίζεται.

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες της πρωτεΐνης διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των γαλακτωματοποιητικών ικανοτήτων που έχει. Η παρουσία της πρωτεΐνης στην συνεχή φάση ενεργεί ώστε να αυξηθεί το ιξώδες του γαλακτώματος, μειώνοντας την κινητικότητα και την διάχυση των λιποσφαιρίων στο γαλάκτωμα (Jafari, 2012). Επίσης η διαλυτότητα της πρωτεΐνης είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον σχηματισμό και την σταθερότητα του γαλακτώματος. Οι μηχανικές και ρεολογικές ιδιότητες του υμενίου που σχηματίζουν οι πρωτεΐνες επηρεάζονται από το pH, την ιοντική ισχύ, τη συγκέντρωση της πρωτεΐνης, την θερμοκρασία και από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της πρωτεΐνης, όπως το φορτίο της επιφάνειας και την

υδροφοβικότητα (McClements, 2005). Ένας άλλος παράγοντας που έχει σημαντική επίδραση στον ρόλο των πρωτεϊνών ως γαλακτωματοποιητές είναι το μέγεθος τους. Οι πρωτεΐνες υπερτερούν σε σχέση με τους γαλακτωματοποιητές μικρού μοριακού βάρους καθώς σχηματίζουν υμένα με μεγαλύτερη ιξωδοελαστικότητα και σταθερότητα. Επιπλέον διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την ταχύτητα με την οποία προσροφώνται από την επιφάνεια των λιποσφαιρίων κατά την διάρκεια της ομογενοποίησης, την συγκέντρωση που απαιτείται για την πλήρη κάλυψη των επιφανειών των λιποσφαιρίων αλλά και από την ικανότητά τους να προστατεύουν τα λιποσφαίρια από τα φαινόμενα αποσταθεροποίησης (Lam & Nickerson, 2013).

Οι πρωτεΐνες που χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία τροφίμων ως γαλακτωματοποιητές περιλαμβάνουν :

- Το πρωτεϊνικό υπερσυμπύκνωμα ορού γάλακτος
- Την καζεΐνη
- Την σόγια
- Τον ορό της αλβουμίνης

Από τις παραπάνω ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη των πρωτεϊνών ορού γάλακτος λόγω της χρήσης τους σε ένα μεγάλο αριθμό προϊόντων όπως τα γαλακτώματα και τα προϊόντα αρτοποιίας (Zhu et al, 2018).

2.1.4.2 Πρωτεΐνες ορού ως γαλακτωματοποιητές

Οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως γαλακτωματοποιητές λόγω της εξαιρετικής δραστηριότητάς τους στην διεπιφάνεια γαλακτωμάτων ελαίου σε νερό, επιβραδύνοντας κατά πολύ τα φαινόμενα της συσσωμάτωσης και της αποκορύφωσης της διεσπαρμένης φάσης. Η θερμική επεξεργασία στα γαλακτώματα επηρεάζει τις σφαιρικές πρωτεΐνες προκαλώντας τη μετουσίωση και τη συσσωμάτωσή τους, με αποτέλεσμα να προκαλείται πηκτωματοποίηση των τροφίμων. Το κύριο κλάσμα της πρωτεΐνης ορού γάλακτος, δηλαδή η β-λακτογλοβουλίνη, μετουσιώνεται εν μέρει εάν θερμανθεί για τουλάχιστον 30 λεπτά σε θερμοκρασία περίπου 60 ° C. Ωστόσο, τα διεσπαρμένα μόρια της β-λακτογλοβουλίνης που θερμαίνονται ταυτόχρονα σε θερμοκρασίες γύρω στους 95 ° C δείχνουν πλήρη ξεδίπλωση των πρωτεϊνών, η οποία αποδίδεται στην εκτεταμένη έκθεση υδρόφοβων ομάδων και σε εξαιρετικά δραστικές πυρηνόφιλες θέσεις (-SH και ε-NH³⁺). Με τον τρόπο αυτό, η μετουσίωση της πρωτεΐνης ορού γάλακτος σε διαφορετικές θερμοκρασίες, αλλά με την ίδια περίοδο έκθεσης μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικό βαθμό μετουσίωσης πρωτεϊνών, με αποτέλεσμα ποικίλες δραστικές ιδιότητες της επιφάνειάς τους (Zadow, 2003).

Τα γαλακτώματα μπορούν να σταθεροποιηθούν κινητικά με την προσθήκη γαλακτωματοποιητικών παραγόντων. Ένα μίγμα μη θερμαινόμενης μετουσιωμένης πρωτεΐνης ορού ως γαλακτωματοποιητικός παράγοντας έχει ως αποτέλεσμα τη βελτιωμένη δραστικότητα της πρωτεΐνης στην διεπιφάνεια ελαίου και νερού. Οι μη θερμαινόμενες πρωτεΐνες μπορούν να κινούνται πιο γρήγορα διευκολύνοντας την ανάκτηση των σταγονιδίων του γαλακτώματος, ενώ οι μετουσιωμένες πρωτεΐνες συμβάλλουν στο σχηματισμό ενός παχέος προστατευτικού στρώματος/υμενίου στη διεπιφάνεια ελαίου/νερού (Adjonu et al., 2014)..

Η διεργασία ομογενοποίησης σε υψηλές πιέσεις μπορεί να προκαλέσει τον σχηματισμό σταγονιδίων μικρού μεγέθους αφού προκαλεί έντονες συνθήκες διάτμησης, σπηλαιώσης και στροβιλώδους ροής. Αυτή η διαδικασία προάγει μια πιο ομοιογενή κατανομή των επιφανειοδραστικών μορίων, αυξάνοντας τη σταθερότητα

του γαλακτώματος. Ωστόσο, οι συνθήκες της διαδικασίας ομογενοποίησης μπορούν επίσης να τροποποιήσουν τη δομή της πρωτεΐνης και την επιφανειακή της δραστηριότητα. Έχει αναφερθεί ότι η ομογενοποίηση υψηλής πίεσης μπορεί επίσης να οδηγήσει σε διαφορετικούς βαθμούς ξεδίπλωσης πρωτεϊνών, προκαλώντας τον σχηματισμό συσσωματωμάτων πρωτεϊνών υψηλού μοριακού βάρους αφού δημιουργείται διάτμηση και αύξηση της θερμοκρασίας. Επιπλέον, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη ζελατινοποίηση γαλακτωμάτων λόγω της δυνατότητας παραγωγής προϊόντων διατροφής με διαφορετικές ιδιότητες υφής. Επιπλέον, η ζελατινοποίηση του σταθεροποιημένου γαλακτώματος με πρωτεΐνη ορού γάλακτος βελτιώνει την οξειδωτική σταθερότητα των λιπιδίων.

Ο συνηθέστερος τρόπος παρασκευής πηκτωματοποιημένων γαλακτωμάτων ελαίου-σε-νερό που σταθεροποιούνται με πρωτεΐνες ορού γάλακτος είναι με θερμική επεξεργασία. Μία άλλη εναλλακτική λύση για τον σχηματισμό πηκτώματος με χρήση γαλακτωματοποιητή πρωτεΐνης ορού είναι η διαδικασία ψυχρής ζελατινοποίησης, η οποία περιλαμβάνει δύο στάδια:

- i. προθέρμανση για την προώθηση της ανάπτυξης της πρωτεΐνης και της έκθεσης αντιδραστικών ομάδων
- ii. σχηματισμό δομής πηκτώματος μέσω προσθήκης οξέος (π.χ. γλυκονο-δ-λακτόνη (GDL)) ή προσθήκη δισθενών αλάτων (π.χ. χλωριούχο ασβέστιο) ή ενζύμων (π.χ. τρανσγλουταμινάση) στο σύστημα.

Ωστόσο, αυτή η διαδικασία ζελατινοποίησης είναι πιο κατάλληλη για συστήματα που περιέχουν θερμοευαίσθητα συστατικά δεδομένου ότι το αρχικό στάδιο της προθέρμανσης πρωτεΐνης περιλαμβάνει λιγότερο δραστική θέρμανση σε σύγκριση με τη ζελατινοποίηση που προκαλείται από την θερμική επεξεργασία (Araujo Mantovani et al., 2016).

2.2 ΑΝΑΠΛΗΡΩΜΑΤΑ ΤΥΡΙΩΝ

2.2.1 Γενικά

Τα αναπληρώματα τυριού συνήθως ορίζονται ως προϊόντα που παρασκευάζονται με ανάμειξη μεμονωμένων συστατικών, συμπεριλαμβανομένων μη γαλακτοκομικών λιπών ή πρωτεϊνών, για την παραγωγή τυροειδούς προϊόντος που να ανταποκρίνεται σε συγκεκριμένες απαιτήσεις. Χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο λόγω της σχέσης κόστους / αποτελεσματικότητας, που οφείλεται στην απλότητα της παρασκευής τους και στην αντικατάσταση επιλεγμένων συστατικών γάλακτος από φθηνότερα φυτικά προϊόντα. Οι πωλήσεις αναπληρωμάτων τυριού συνδέονται στενά με τις εξελίξεις στον τομέα των τροφίμων ευκολίας, όπου επεκτείνουν την προσφορά και μειώνουν το κόστος. Επιπλέον, υπάρχει ένα συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για τους καταναλωτές σε τρόφιμα που περιέχουν λιγότερο συνολικό λίπος, κορεσμένα λιπαρά, χοληστερόλη και θερμίδες (Bachmann, 2001).

Αυτά τα τυριά μπορούν να χαρακτηρισθούν αυθαίρετα ως υποκατάστατα ή απομιμήσεις, στις οποίες είτε το λίπος του γάλακτος είτε η πρωτεΐνη γάλακτος ή και τα δύο αντικαθίστανται μερικώς ή εξ ολοκλήρου από συστατικά που δεν βασίζονται στο γάλα και είναι κυρίως φυτικής προέλευσης. Τα αναπληρώματα τυριών αναπτύχθηκαν στη δεκαετία του 1970 ως φθηνότερες εναλλακτικές λύσεις αντικαθιστώντας το τυρί. Τα αναπληρώματα τυριών που είναι γνωστά ως απομίμηση τυριού ή τυρί "Μοζέλα" (MCA) ορίζεται ως ένα είδος αναπληρώματος τυριού που παράγεται από συστατικά όπως το γάλα, το λίπος γάλακτος και πρωτεΐνες ή με τη χρήση άλλων ουσιών φυτικής προέλευσης. Μπορούν να χαρακτηρισθούν αυθαίρετα ως υποκατάστατα ή απομιμήσεις, στις οποίες είτε το λίπος του γάλακτος είτε η πρωτεΐνη γάλακτος ή και τα δύο αντικαθίστανται μερικώς ή εξ ολοκλήρου από συστατικά που δεν βασίζονται στο γάλα και είναι κυρίως φυτικής προέλευσης. Τα συστατικά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή τέτοιων επεξεργασμένων τυριών αναφέρονται παρακάτω (Πίνακας 2). Τα αναπληρώματα τυριών κατατάσσονται σε τρεις ομάδες με βάση τα προϊόντα γάλακτος που περιέχουν:

- i. Χρήση μόνο προϊόντων παραγόμενων από γάλα (καζεΐνη, καζεϊνικά άλατα, λίπος γάλακτος κ.λ.π.),
- ii. Χρήση μερικών προϊόντων παραγόμενων από γάλα (καζεΐνη, καζεϊνικά άλατα, λίπος γάλακτος και έλαιο σόγιας κ.λ.π.)
- iii. Χρήση προϊόντων που δεν παράγονται από γάλα (πρωτεΐνη σόγιας, έλαιο σόγιας κ.λ.π.). (Badem & Uçar1, 2016)

Πίνακας 2: Συστατικά που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή των αναπληρωμάτων τυριού (Chavan & Jana, 2007).

Συστατικά	Κύρια λειτουργία/επίδραση	παραδείγματα
Λίπος	Δίνει επιθυμητή σύσταση, υφή και χαρακτηριστικά λιωσίματος. Το λάδι βουτύρου προσδίδει γεύση γαλακτοκομικού προϊόντος	Βούτυρο, άνυδρο λίπος γάλακτος, φυσικό ή μερικώς υδρογονοποιημένο σογιέλαιο, καλαμποκέλαιο κ.α.
Πρωτεΐνες γάλακτος	Δίνει επιθυμητή σύσταση, ημίσκληρη υφή με καλά ρεολογικά χαρακτηριστικά	Καζεΐνες, καζεϊνικά άλατα, πρωτεΐνες ορού

Φυτικές πρωτεΐνες	Δίνει επιθυμητή σύσταση και μείωση του κόστους παραγωγής	Πρωτεΐνες σόγιας, πρωτεΐνες φιστικιού, γλουτένη από σιτάρι
Άμυλο	Υποκατάστατο καζεΐνης και μειωμένο κόστος παραγωγής	Φυσικές ή τροποποιημένες μορφές καλαμποκιού, άμυλο ρυζιού ή πατάτας
Σταθεροποιητές		
Γαλακτωματοποιητικά άλατα	Βοηθούν στο σχηματισμό ενός φυσικοχημικώς σταθερού προϊόντος, τροποποιούν τις λειτουργικές ιδιότητες και τις ιδιότητες της υφής	Φωσφορικό και κιτρικό νάτριο
Υδροκolloειδή	Ενισχύουν τη σταθερότητα του προϊόντος, τροποποιούν τις λειτουργικές ιδιότητες και τις ιδιότητες της υφής	Κόμμι γκουάρ, κόμμι ξανθάνης, καραγενάνη
Παράγοντες οξίνισης	Βοηθούν στη ρύθμιση του pH στο τελικό προϊόν	Οργανικά οξέα όπως γαλακτικό, κιτρικό, φωσφορικό, οξικό οξύ
Ενισχυτικά γεύσεως	Δίνουν επιθυμητή γεύση ή την τονίζουν	Ένζυμα τροποποιημένου τυριού (EMC: Enzyme modified cheese), χλωριούχο νάτριο, μπαχαρικά, εκχυλίσματα ζύμης ή καπνού από ξύλο
Χρωστικές	Προσδίδουν επιθυμητά χρώματα	Πάπρικα, αννάττο, τεχνητά χρώματα
Συντηρητικά	Επιβραδύνει την ανάπτυξη της μούχλας, επιμηκύνει το χρόνο ζωής του προϊόντος	Νισίνη, Κ-σορβικό, προπιονικό Ca ή Na
Παρασκευάσματα βιταμινών	Βελτιώνουν τη διατροφική αξία του προϊόντος	Οξειδίο του μαγνησίου, οξειδίο του ψευδαργύρου, σίδηρος, βιταμίνη Α, ριβοφλαβίνη, θειαμίνη, φολικό οξύ.

2.2.2 Συμμόρφωση στην αγορά

Η ανάπτυξη αναπληρωμάτων τυριού οφείλεται στην ανάπτυξη του τομέα των έτοιμων γευμάτων τα τελευταία χρόνια και στην αύξηση της ζήτησης τυριού ως συστατικό τροφίμων. Τεμαχισμένο, κομμένο σε φέτες, ακόμα και σε υγρή μορφή έχει αναπτυχθεί για να ανταποκριθεί στις ανάγκες της σύγχρονης βιομηχανία τροφίμων.

Οι πωλήσεις αναπληρωμάτων τυριού συνδέονται στενά με τις εξελίξεις στην ευκολία του τομέα τροφίμων. Τα αναπληρώματα τυριών έχουν πολλά πλεονεκτήματα λόγω της σχέσης κόστους - αποτελεσματικότητάς τους, που αποδίδεται στην ευκολία της παραγωγής τους αλλά και στην αντικατάσταση επιλεγμένων συστατικών με φθηνότερα φυτικά προϊόντα. Μια άλλη ευεργετική πτυχή των αναπληρωμάτων τυριού

είναι το γεγονός ότι πολλά τέτοια προϊόντα μπορούν να παραχθούν με σχεδόν απεριόριστη διάρκεια ζωής (Badem & Uçar1, 2016)

Τα αναπληρώματα τυριών έχουν αποκτήσει μεγάλη σημασία σε διαφορετικές περιοχές.

- Πρώτον, λόγω της τεράστιας αύξησης στην κατανάλωση πίτσας σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το τυρί είναι μεταξύ των ακριβότερων συστατικών της πίτσας, η προσοχή επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη φθηνότερων υποκατάστατων τυριών. Επιπλέον, η παρασκευή μιας απομίμησης τυριού επιτρέπει ένα μεγαλύτερο εύρος στο χειρισμό συστατικών ως προς τη θρεπτική αξία
- Δεύτερον, λόγω της ταχείας αύξησης των τιμών, ένα αναπλήρωμα τυριού απευθύνεται χαμηλότερες εισοδηματικές ομάδες. Σε αυτά τα είδη τυριών, τα προϊόντα που αντικαθίστανται είναι αυτά με τα υψηλότερα τιμολογημένα συστατικά, που προέρχονται από γάλα. Τα φυτικά προϊόντα – αντικαταστάτες κοστολογούνται αρκετά χαμηλότερα και αυτό μπορεί να είναι μια πιθανή λύση για αυτό το οικονομικό πρόβλημα Πέρα από το μικρότερο κόστος των συστατικών, το κόστος παραγωγής των αναπληρωμάτων τυριού μπορεί να είναι επίσης σημαντικά μικρότερο από αυτό των φυσικών ομολόγων τους.
- Τρίτον, η βραχυπρόθεσμη παραγωγή γάλακτος σε ορισμένα μέρη του κόσμου έχει οδηγήσει σε αυξημένο ενδιαφέρον για τη χρήση υποκατάστατων συστατικών από φυτικές πηγές για την παραγωγή ορισμένων μεταποιημένων γαλακτοκομικών προϊόντων Στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου τα γαλακτοκομικά προϊόντα είναι ακριβά και ανεπαρκή σε ποσότητες, τα υποκατάστατα γαλακτοκομικών που παρασκευάζονται από όσπρια παρέχουν μια θρεπτική εναλλακτική.
- Τέταρτον, το αυξανόμενο ενδιαφέρον των καταναλωτών για προϊόντα χαμηλά σε ολικό λίπος, κορεσμένα λιπαρά, χοληστερόλη και θερμίδες. Τα προϊόντα αυτά είναι χρήσιμα στον έλεγχο του σωματικού βάρους και της μείωσης του κινδύνου καρδιακής προσβολής και αρτηριοπάθειας. Αυτά τα ευέλικτα προϊόντα χρησιμοποιούνται τόσο άμεσα για κατανάλωση όσο και κυρίως έμμεσα ως συστατικά σε διάφορα τρόφιμα (Bachmann, 2001).

Παρόλα τα πλεονεκτήματα που προαναφέρθηκαν, τα αναπληρώματα τυριών, επειδή είναι νέα προϊόντα, εξακολουθούν να μελετώνται για τη σύνθεσή τους, για αυτό έχουν ένα ευρύ φάσμα στις τεχνικές παραγωγής και διαφορές στη σύνθεση. Επίσης, επειδή είναι ένα νέο προϊόν δεν υπάρχουν νόμοι και κανονισμοί ακόμα. Εκτός αυτού, καθώς δεν είναι φυσικά προϊόντα, οι καταναλωτές παραμένουν διστακτικοί (Badem & Uçar1, 2016).

2.2.3 Γεύση

Η πιο σημαντική αρνητική ιδιότητα της απομίμησης τυριού είναι η διαφορετική γεύση. Τα συστήματα γεύσης χρησιμοποιούνται ευρέως για την αύξηση της ομοιότητας των τυριών απομίμησης στους φυσικούς ομολόγους τους. Μερικά είναι τεχνητά, ενώ άλλα μπορεί να είναι φυσικής προέλευσης όπως το φάσμα των ενζύμων που τροποποιούνται. Με την προσθήκη κατάλληλων ενζύμων ή μικροοργανισμών μετά από θερμική επεξεργασία, και επιτρέποντας την ωρίμανση σε ευνοϊκή θερμοκρασία, τα τυριά απομίμησης μπορεί να προετοιμαστεί η γεύση τους Τα τυροκομικά προϊόντα στα οποία χρησιμοποιούνται πρωτεολυτικοί μικρόκοκκοι, αυτοπεριοριζόμενη λιπάση, είναι επιθυμητά αρωματικά συστατικά των προϊόντων απομίμησης τυριού. Η γεύση μπορεί να βελτιωθεί με ωρίμανση του τυριού. Μεταξύ των διάφορων φυτικών πηγών, το λάδι και η πρωτεΐνη από φιστίκι θεωρείται καλύτερο λόγω μιας ήπιας γεύσης και χρώματος που έχουν. Αντίθετα η σόγιας είναι

πιο υποβαθμισμένη σε γεύση (Bachmann, 2001). Τα χαρακτηριστικά των αναπληρωμάτων τυριού είναι:

- Κίτρινο χρώμα
- Αρωματική και πλούσια γεύση
- Χωρίς ξένες οσμές (Kaskat,2013)

2.2.4 Πήξη

Το τυρί κατηγοριοποιείται σε πολλές πτυχές σχετικά με τα κριτήρια όπως ο παράγοντας πήξης, η κατάσταση ωρίμανσης, το ποσοστό λίπους, το ποσοστό νερού και ο βρασμός του τυροπήγματος. Η πήξη, η κύρια παραγωγή για όλους τους τύπους τυριών, είναι η μετάβαση του γάλακτος από υγρή κατάσταση σε τυρόπηγμα ως αποτέλεσμα της αποσύνθεσης των πρωτεϊνικών κλασμάτων. Η πήξη του γάλακτος επιτυγχάνεται μέσω τριών μεθόδων που είναι προσθήκη πυτιάς, προσθήκης οξέος ή θερμικής επεξεργασίας με προσθήκη οξέος (Τυρί cottage και Κουάρκ είναι τυριά με προσθήκη οξέος) (Badem & Uçar1, 2016).

2.2.5 Βασικά Συστατικά Αναπληρώματα Τυριών

2.2.5.1 Πηγές πρωτεΐνης

Οι πρωτεΐνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο ίδιο επίπεδο με το φυσικό τυρί. Εκτός από το νερό και το λίπος, οι πρωτεΐνες αντιπροσωπεύουν ένα κύριο συστατικό των αναπληρωμάτων τυριών, με τυπικά επίπεδα που κυμαίνονται από 18% έως 24%, με μέγιστα αναφερόμενα ποσοστά που αγγίζουν ακόμα και το 35%. Κατά την παρασκευή των αναπληρωμάτων τυριού, οι πρωτεΐνες είναι το κύριο συστατικό που ενυδατώνεται. Οι διαλυτοποιημένες πρωτεΐνες γαλακτωματοποιούν τα ελεύθερα έλαια και αυξάνουν το ιξώδες της υδατικής φάσης (Masotti et al., 2018).

Η βιολογική αξία της πρωτεΐνης σόγιας είναι υψηλότερη από της καζεΐνης. Οι σχετικά φτηνές φυτικές πρωτεΐνες τείνουν να μεταδίδουν χαρακτηριστικές ανεπιθύμητες γεύσεις στις απομιμήσεις προϊόντων τυριού καθώς και κάποιες δυσκολίες στη επιθυμητή υφή του. Συνήθως παράγονται με τη χρήση καζεΐνης ή καζεϊνικών αλάτων. Τα καζεϊνικά άλατα ασβεστίου χρησιμοποιούνται ευρέως στη παρασκευή των αναπληρωμάτων τυριού. Οι φωσφορικές ομάδες του καζεϊνικού βρίσκονται στο ένα άκρο της πρωτεΐνης, ενώ το άλλο άκρο φέρει τις μη-πολικές λιποδιαλυτές ομάδες. Όταν το αναλογικό τυρί παρασκευάζεται από καζεϊνικό νάτριο αντί για ασβέστιο, έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- 1) υψηλότερο pH
- 2) χαμηλότερη σταθερότητα
- 3) υψηλότερο βαθμό λίπους
- 4) γαλακτωματοποίηση
- 5) υψηλότερος βαθμός διαχωρισμού καζεΐνης (Guinee, 2002).

Η ξηρή καζεΐνη ωφελεί λόγω της σταθερότητάς της, της γεύσης και της ευκολίας στην αποθήκευση. Για αρκετά χρόνια, τα αποξηραμένα υπερδιηθήματα, το άπαχο γάλα, η λεγόμενη πρωτεΐνη γάλακτος έχει αποκτήσει αυξημένη σημασία ως εναλλακτικό προϊόν υψηλής πρωτεΐνης γάλακτος για διάφορους τύπους αναπληρωμάτων τυριού. Οι φυτικές πρωτεΐνες, όπως σόγια ή απομονωμένη πρωτεΐνη από φιστίκι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αντικατάσταση των καζεϊνών. Προϊόντα σόγιας, όπως πρωτεΐνης σόγιας διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην

γαλακτοκομικές βιομηχανίες ως υποκατάστατο χαμηλού κόστους για τις πρωτεΐνες γάλακτος. Όταν προτιμούνται οι πρωτεΐνες σόγιας στα γαλακτοκομικά προϊόντα, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι είναι σημαντικά διαφορετικές από τις πρωτεΐνες του γάλακτος, σε μοριακές και λειτουργικές ιδιότητες. Οι πρωτεΐνες σόγιας είναι πολύ μεγαλύτερες σε μοριακό μέγεθος από τις πρωτεΐνες του γάλακτος, διαθέτουν περίπλοκη καζεΐνη και δεν είναι φωσφοπρωτεΐνες. Με μελέτες διαπιστώθηκε ότι τυριά με χρήση πρωτεΐνης σόγιας σε σχέση με άλλες φυτικής προέλευσης πρωτεΐνες γίνονται πιο μαλακά και λιγότερο ελαστικά λόγω της επιρροής του βαθμού πρωτεόλυσης (Bachmann, 2001).

2.2.5.2 Πρωτεΐνες ορού

Τα παράγωγα πρωτεϊνών ορού γάλακτος χρησιμοποιούνται ως εναλλακτική λύση, αντί για την καζεΐνη, για θρεπτικούς και οικονομικούς λόγους όμως ασκούν περίπλοκες επιδράσεις στις ιδιότητες των αναπληρωμάτων τυριού. Οι πρωτεΐνες του ορού γάλακτος, που δεν είναι τόσο αμφίφιλες όσο η καζεΐνη, δεν είναι τόσο αποτελεσματικές όσο ένας γαλακτωματοποιητής για το ελεύθερο λίπους κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Επιπλέον το συμπύκνωμα πρωτεΐνης ορού γάλακτος δεν χρησιμοποιείται γενικά σε αναπληρώματα τυριών που προορίζονται για εφαρμογές μαγειρέματος λόγω της αρνητικής επίδρασης που έχει στην ρευστότητα (Masotti et al., 2018). Σε κάποια άλλη περίπτωση που οι πρωτεΐνες ορού πρέπει να προστεθούν στην παρασκευή κάποιου αναπληρώματος τυριού σε μορφή διαλύματος, σημαντικός παράγοντας είναι ο βαθμός μετουσίωσης της πρωτεΐνης. Σε υψηλά ποσοστά μετουσίωσης προκαλείται μείωση της σκληρότητας και αύξηση της ικανότητας τήξεως του προκύπτοντος αναπληρώματος τυριού. Το αποτέλεσμα αυτό αποδίδεται στο μεγάλο μέγεθος των σωματιδίων που δεν μπορούν να συμβάλλουν στη δομή της μήτρας του τυριού, διακόπτοντας έτσι το δίκτυο. Σε χαμηλά επίπεδα μετουσίωσης (έως 40%), οι πρωτεΐνες ορού έχουν την ικανότητα να ενσωματώνονται στο πλέγμα του αναπληρώματος τυριού παράγοντας μια ισχυρότερη δομή (Bachmann, 2001; Masotti et al., 2018).

2.2.5.3 Νερό

Το νερό αντιπροσωπεύει το κύριο συστατικό των αναπληρωμάτων τυριού με μέσες τιμές που κυμαίνονται από 48% έως 52%. Επίσης το νερό χρησιμοποιείται αναγκαστικά για τη διάλυση των γαλακτωματοποιητικών αλάτων, οδηγώντας σε καλύτερη χηλίωση (απομάκρυνση μετάλλων) του ασβεστίου, την ενυδάτωση των πρωτεϊνών και τη διαλυτοποίηση άλλων συστατικών. Γενικά, η επίδραση του νερού συνίσταται για τη μείωση της σκληρότητας και στην αύξηση της τήξης του αναπληρώματος τυριού. Η ενυδάτωση των γαλακτοκομικών προϊόντων σε σκόνη, υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες, είναι απαραίτητη για την παρασκευή αυτών των προϊόντων. Στο τελικό στάδιο ψύξης στην παραγωγή αναπληρωμάτων τυριού, τα παγιδευμένα μόρια νερού υποστηρίζουν την πλαστικοποίηση και την ευαισθησία της πρωτεϊνικής μήτρας για θραύση κατά τη συμπίεση. Τέλος, μια εκτεταμένη ενυδάτωση πρωτεΐνης αυξάνει την ικανότητα γαλακτωματοποίησης πρωτεϊνών, επιτρέποντας τον σχηματισμό μιας μεγαλύτερης επιφάνειας ασυνεχούς ελαιώδους φάσης και συνεπώς βελτιώνει τη σταθεροποίηση της στη μήτρα του τυριού (Masotti et al., 2018).

2.2.5.4 Λίπη και έλαια

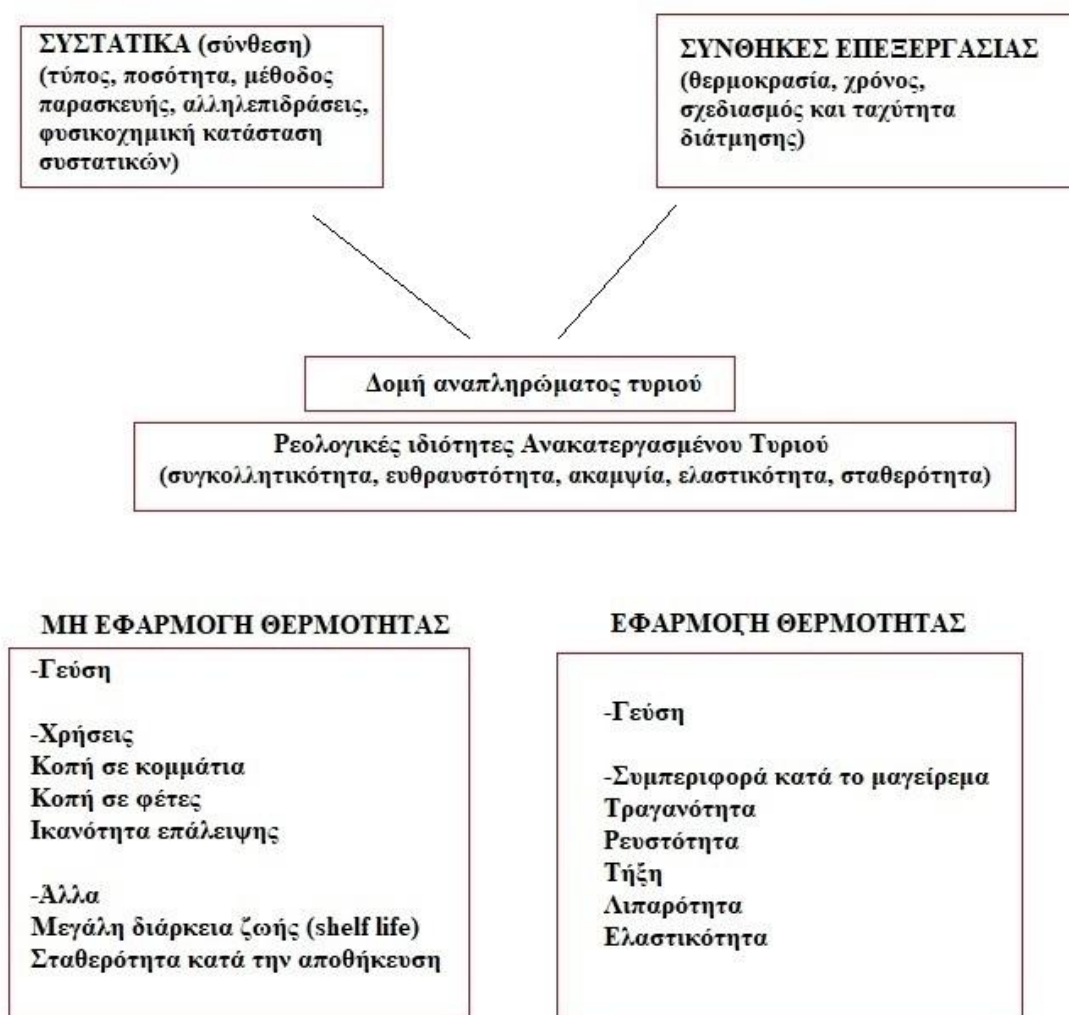
Συνήθως, η περιεκτικότητα σε λιπαρά κυμαίνεται από 22% έως 28% και συμβάλλει τόσο στη γεύση όσο και στην υφή των αναπληρωμάτων τυριού. Σε θερμοκρασία δωματίου, περίπου το 15% του λίπους γάλακτος πρέπει να είναι σε στερεή μορφή και να σχηματίζει μια εξωτερική κρυσταλλική στιβάδα, ενώ το λίπος σε υγρή κατάσταση υπάρχει στο εσωτερικό των λιπαρών σφαιριδίων. Το στερεό λίπος αποτελείται από ένα δίκτυο κρυσταλλικών τριγλυκεριδίων που συνδέονται με τις δυνάμεις έλξης του Van der Waals. Μετά την προσθήκη γαλακτωματοποιητικών αλάτων και εφαρμογή διάτμησης και θέρμανσης, κατά την παρασκευή των αναπληρωμάτων τυριού, λαμβάνει χώρα η ρήξη αυτών των δεσμών, σχηματίζοντας τετηγμένα σταγονίδια ελαίου με μεταβλητή διάμετρο τα οποία γαλακτωματοποιούνται από την πρωτεΐνη. Η κατανομή μεγέθους των γαλακτωματοποιημένων σταγονιδίων ελαίου μαζί με τον βαθμό παρα-καζεϊνικής ενυδάτωσης είναι οι μείζονες καθοριστικοί παράγοντες της ρεολογίας και της θερμικά επαγόμενης λειτουργικότητας των αναπληρωμάτων τυριού. Οι ενυδατωμένες πρωτεΐνες επικαλύπτουν την επιφάνεια του διασκορπισμένου ελεύθερου λίπους συμβάλλοντας στη γαλακτωματοποίηση της ελαιώδους φάσης. Τα σταγονίδια ελαίου που είναι επενδυμένα με καζεϊνικά άλατα αλληλεπιδρούν με την καζεΐνη και συμβάλλουν στο ομοιογενές δίκτυο. Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, η υψηλή μηχανική διάτμηση προάγει έναν υψηλό βαθμό γαλακτωματοποίησης, με αποτέλεσμα την κρεμώδη αίσθηση στο στόμα στο τελικό προϊόν. Αντίθετα, προτιμάται ένας χαμηλός βαθμός διάτμησης (π.χ., ταχύτητα αναδευτήρα 70 rpm) για την παρασκευή αναπληρωμάτων τυριού με χαμηλό βαθμό γαλακτωματοποίησης (π.χ. ημίσκληρα αναπληρωμάτων τυριού προοριζόμενα για κοπή σε φέτες ή τεμαχισμό) (Masotti et al., 2018).

Στα αναπληρώματα τυριού με βάση το γάλα (γαλακτοκομικά), το λιπαρό συστατικό είναι γαλακτοκομικής προέλευσης, όπως το άνυδρο λίπος γάλακτος, το βούτυρο και την κρέμα γάλακτος. Στην περίπτωση που το αναπλήρωμα τυριού κατηγοριοποιείται στα μερικώς γαλακτοκομικά προϊόντα, τότε ως βασική πηγή ελαίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε λίπος γάλακτος είτε κάποιο άλλο φυτικό έλαιο. Τυπικές πηγές ελαίου είναι το σογιέλαιο, το φοινικέλαιο, το κραμβέλαιο αλλά και τα υδρογονωμένα αντίστοιχα λίπη τους. Άλλα λίπη και έλαια που έχουν δοκιμαστεί και χρησιμοποιούνται λόγω της τάσης για πλήρη αντικατάσταση των προϊόντων γάλακτος. Αυτά είναι το σογιέλαιο, το λάδι φιστικιών, το φοινικέλαιο από τον πυρήνα του καρπού σόγια, το καλαμποκέλαιο και το έλαιο καρύδας.

Οι διάφοροι τύποι ελαίων έχουν διαφορετική σύνθεση λιπαρών οξέων, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του ελαίου επηρεάζοντας έτσι τις ιδιότητες της υφής του αναπληρώματος τυριού. Η αυξανόμενη αναλογία κορεσμένων λιπαρών οξέων (με υψηλότερο σημείο τήξης) στην ασυνεχή-λιπαρή φάση συνδέεται με την αύξηση των τιμών σκληρότητας της υφής των αναπληρωμάτων τυριού (φοινικέλαιο < βούτυρο < έλαιο καρύδας). Έπειτα, η υφή του τυριού επηρεάζεται από τη δομική διάταξη των συστατικών (πρωτεΐνες και έλαιο), τα οποία με τη σειρά τους σχετίζονται με παράγοντες όπως η σύνθεση και η επεξεργασία (Σχήμα 5).

Το μέγεθος των λιποσφαιρίων ασκεί σημαντικό ρόλο στη δομή του τυριού και μεταβάλλεται ανάλογα και με άλλους παράγοντες. Το μέγεθός τους λοιπόν, ποικίλει πολύ, μειώνεται καθώς η δράση διάτμησης γίνεται πιο έντονη και αυξάνεται η γαλακτωματοποίηση. Επίσης τα έλαια/λίπη επηρεάζουν τα αναπληρώματα τυριά με βάση τα λιπαρά οξέα που διαθέτουν.

Η περιεκτικότητα ελαίων, όπως προαναφέρθηκε, κυμαίνεται γενικότερα από 22,0% έως 30%. Λόγω της τάσης προς τα προϊόντα χαμηλά σε λιπαρά έγιναν προσπάθειες για την παραγωγή νέων τυροκομικών προϊόντων χαμηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά. Η μείωση του λίπους προκαλεί αύξηση του δικτύου πρωτεϊνών και μείωση της λίπανσης κατά την τήξη, με αποτέλεσμα μια σκληρή και εύθρυπτη υφή η οποία είναι ανεπιθύμητη από αισθητική άποψη. Οι δυσμενείς επιδράσεις της υψηλής συγκέντρωσης πρωτεΐνης στις ιδιότητες των αναπληρωμάτων τυριού χαμηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά έγιναν προσπάθειες να αντιμετωπιστούν, μειώνοντας τα επίπεδα των πρωτεϊνών και αυξάνοντας τα επίπεδα του νερού. Η αυξημένη ενυδάτωση της πρωτεϊνικής μήτρας έχει ένα πλαστικοποιητικό αποτέλεσμα (Bachmann, 2001; Masotti et al., 2018).



Σχήμα 5: Παράγοντες που επηρεάζουν τη ρεολογία των αναλογικών τυριών (Masotti et al., 2018).

2.2.6 Δευτερεύοντα Συστατικά Αναπληρωμάτων τυριού

2.2.6.1 Υδροκολλοειδή

Τα υδροκολλοειδή μαζί με τα γαλακτωματοποιητικά άλατα ταξινομούνται ως σταθεροποιητές. Εκτός από τα άμυλα, που χρησιμοποιούνται σε χαμηλά επίπεδα (0,3%), τα υδροκολλοειδή περιλαμβάνονται συνήθως σε αναπληρώματα τυριού που παρασκευάζονται με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία και χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες. Απαιτούνται κατάλληλοι συνδυασμοί υδροκολλοειδών και συγκεντρώσεων των υπόλοιπων συστατικών για να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη ισορροπία ιδιοτήτων τόσο σε προϊόντα μη θερμαινόμενα, όσο και θερμαινόμενα. Τα υδροκολλοειδή έχουν ιδιότητες σύνδεσης και σταθεροποίησης του νερού και συμβάλλουν στη μείωση της ενεργειακής αξίας των αναπληρωμάτων τυριού, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα λίπους. Τα υδροκολλοειδή που βασίζονται σε πολυσακχαρίτες και χρησιμοποιούνται στην παραγωγή αναπληρωμάτων τυριού, κατηγοριοποιούνται ως ουδέτερα κόμμεα και ανιονικά κόμμεα. Τυπικά, αυτά τα κόμμεα βοηθούν στη διαχείριση της υγρασίας ευνοώντας την επιθυμητή υφή και σταθερότητα του μίγματος (Masotti et al., 2018; Gao et al., 2017)

2.2.6.2 Ινουλίνη

Η ινουλίνη είναι ένα ευρέως διαδεδομένο συστατικό που χρησιμοποιείται σε γαλακτοκομικά προϊόντα με πολλαπλούς σκοπούς: διαιτητικές ίνες, γλυκαντικές ουσίες (όταν υδρολυθούν μερικώς) και για τη βελτίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (ιδιαίτερα της υφής). Στο τυρί, εφαρμόζεται ως επί το πλείστον τόσο ως υποκατάστατο λίπους, λόγω των ρεολογικών ιδιοτήτων της, όμοιων με τα επιτραπέζια λίπη, και ως τροποποιητής υφής.

2.2.6.3 Παράγοντες οξίνισης

Ο συνδυασμός πολλών παραγόντων εγγυάται τη μικροβιακή σταθερότητα των αναπληρωμάτων τυριού κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης υπό ψύξη. Η σταθερότητα των τυριών μπορεί να μειωθεί με γρήγορους ρυθμούς σε επίπεδο pH του ομογενοποιημένου θερμού τετηγμένου μείγματος (~ 8-9). Έτσι, η προσθήκη παραγόντων όξυνσης επιτρέπει τη μείωση της τιμής pH, σε μέσες τιμές 6,0-6,6 για μία γενική περίπτωση αναπληρώματος τυριού. Παρόλα αυτά αναφέρεται πως, η τελική τιμή του pH μπορεί να μεταβάλλεται σημαντικά εντός της ίδιας ποικιλίας τυριών. Εκτός από τη δράση συντήρησης, η όξυνση της μάζας του τυριού συμβάλλει επίσης και στη γεύση. Τα οργανικά οξέα στην παρασκευή τροφίμων χρησιμοποιούνται σε συγκεντρώσεις ~ 0,2-1%. Στα οξέα αυτά περιλαμβάνονται το οξικό, το αδιπικό, το κιτρικό, το γαλακτικό, το μηλικό και το φωσφορικό. Τα οξέα που χρησιμοποιούνται συχνότερα κατά την παρασκευή αναπληρωμάτων τυριού είναι το κιτρικό ή το γαλακτικό οξύ (Masotti et al., 2018).

2.2.6.4 Συντηρητικά

Μία σειρά ενώσεων προστίθεται ως συντηρητικά στην κατεργασία των αναπληρωμάτων τυριού, συμπεριλαμβανομένου του σορβικού καλίου, της νισίνης του προπιονικού ασβεστίου/νατρίου. Συνήθως, χρησιμοποιούνται για την αναστολή ή επιβράδυνση της ανάπτυξης μικροοργανισμών σε επίπεδα 0,1% και θεωρούνται μέσα επέκτασης της διάρκειας αποθήκευσης. Σε ένα σύνθετο προϊόν, όπως τα

αναπληρώματα τυριών, η συνδυασμένη χρήση συντηρητικών μπορεί να ενισχύσει την αντιμικροβιακή δράση. Έτσι, θα πρέπει να γίνει προσεκτικά η επιλογή και η ενσωμάτωση των συντηρητικών, ώστε να διασφαλιστεί η μικροβιακή σταθερότητα. Ένας αποτελεσματικός συνδυασμός συντηρητικών είναι NaCl (έως 3%), σορβικό κάλιο (έως 0,2%) και νισίνη (μέχρι 240 ppm). Το αλάτι μόνο του, σε ποσοστό έως 3% και υψηλή υγρασία του τυριού, δεν επαρκεί για να αναστείλει την ανάπτυξη του *C. sporogenes*, όμως σε μεγαλύτερα ποσοστά δεν είναι οργανοληπτικά επιθυμητό (Gustaw & Mleko, 2007).

2.2.6.5 Άλλα πρόσθετα τροφίμων

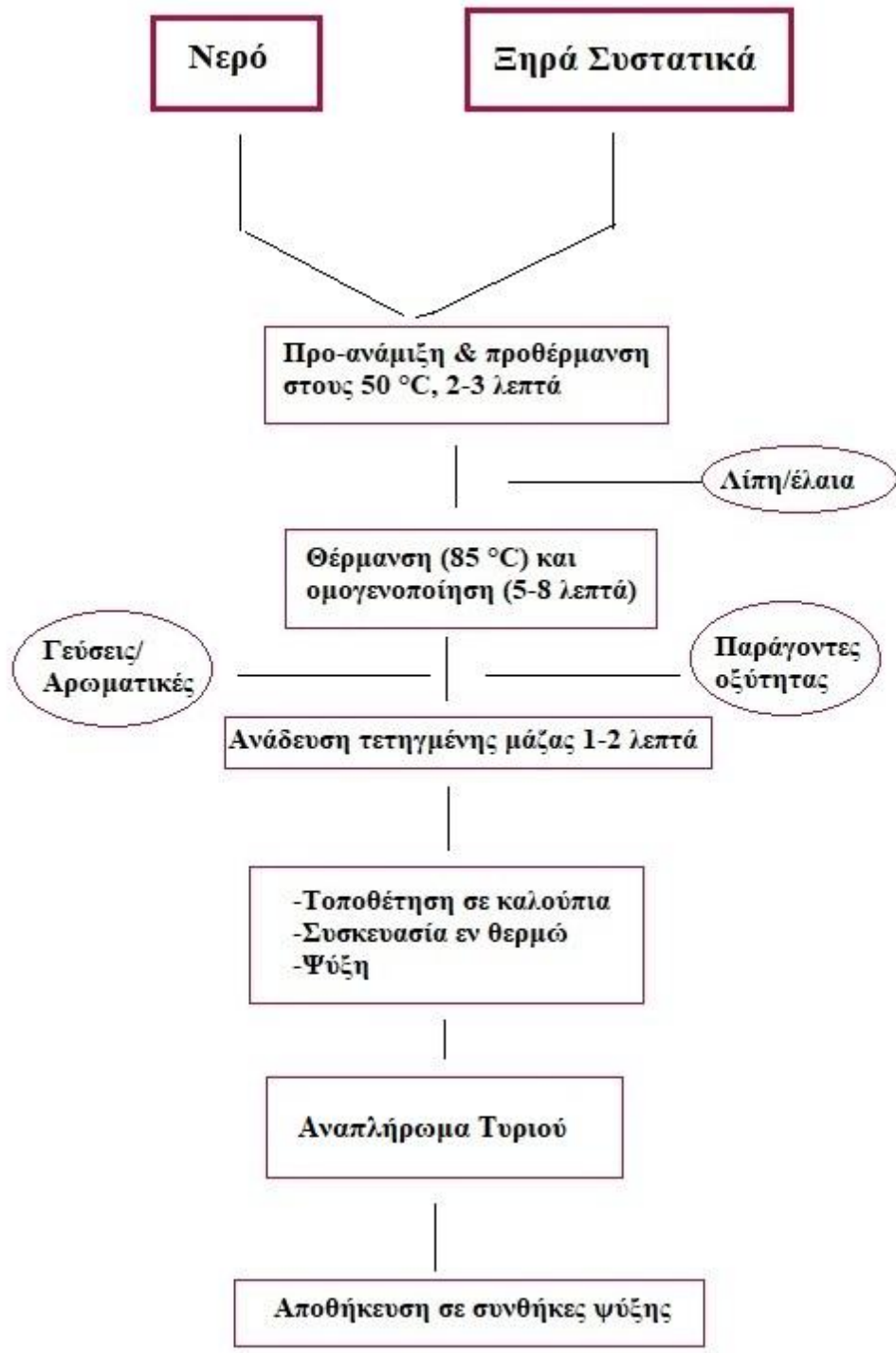
Οι ενισχυτές γεύσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σκευάσματα αναπληρωμάτων τυριού. Αυτή η ομάδα ενώσεων περιλαμβάνει γλουταμινικά και την αυτόλυση ζύμης. Στους ενισχυτές γεύσης περιλαμβάνεται ένας ολόκληρος κατάλογος, επιτρεπόμενος για τέτοια χρήση. Μερικά από τα συντηρητικά που περιλαμβάνει είναι η νισίνη, η ναταμυκίνη, ο αιθυλεστέρα λαυρικού αργινικού, τα σορβικά και το υδροξυβενζοϊκό.

Τα χρώματα που περιλαμβάνονται στη σύνθεση των αναπληρωμάτων τυριού (ανάτο, πάπρικα, τεχνητά χρώματα) είναι προαιρετικά συστατικά και συνήθως προστίθενται σε συγκεντρώσεις περίπου 0,04%. Τα μεταλλικά και βιταμινούχα παρασκευάσματα που εισάγονται ως συμπληρώματα διατροφής (0-0,5%) για την επίτευξη διατροφικής ισοδυναμίας με φυσικά τυριά, περιλαμβάνουν οξείδιο μαγνησίου, οξείδιο ψευδαργύρου, σίδηρο, βιταμίνη Α, παλμιτικό, ριβοφλαβίνη, θειαμίνη και φολικό οξύ (Masotti et al., 2018).

2.2.7 Συνθήκες επεξεργασίας

Η διαδικασία παρασκευής των αναπληρωμάτων τυριού είναι παρόμοια με αυτή των επεξεργασμένων τυριών και σχετικά απλούστερη σε σύγκριση με αυτή των φυσικών. Τα κύρια βήματα της επεξεργασίας αναπληρωμάτων τυριού είναι η διαμόρφωση, η ανάμιξη, η θέρμανση και η διάτμηση, έπειτα ακολουθεί η συσκευασία εν θερμώ, ακολουθώντας η ψύξη (**Σχήμα 6**). Η όλη διαδικασία ολοκληρώνεται εντός 8-13 λεπτών. Η σειρά προσθήκης συστατικών μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τον σχεδιασμό της γραμμής παραγωγής, τον τύπο των συστατικών, τις παραμέτρους επεξεργασίας και της αναμενόμενης απόδοσης τελικής χρήσης στο τυροκομικό προϊόν. Γενικά, σε δοχείο επεξεργασίας δοσολογούνται ξηρά συστατικά (καζεΐνη, καζεϊνικά άλατα, παράγωγα πρωτεΐνης ορού γάλακτος, γαλακτωματοποιητικά άλατα, υδροκολλοειδή, συντηρητικά) και νερό, διατηρούνται υπό ανάδευση, θερμαίνονται με απευθείας έγχυση ατμού στους ~50 ° C και αναμειγνύονται για 2-3 λεπτά. Μετά την προσθήκη λίπους το μίγμα θερμαίνεται στους ~ 85 ° C και διατηρείται υπό ανάδευση επί 5-8 λεπτά μέχρις ότου σχηματισθεί μία θερμή τετηγμένη μάζα. Μετά την προσθήκη παραγόντων οξίνισης και παραγόντων γεύσης υπό ανάδευση, το επόμενο βήμα είναι η ρύθμιση και ο σχηματισμός δομής κατά τη διάρκεια της ψύξης. Οι συνθήκες μαγειρέματος (χρόνος και θερμοκρασίες) επηρεάζουν τις λειτουργικές ιδιότητες και τη διάρκεια ζωής του τελικού προϊόντος. Συνήθως, η αύξηση της θερμοκρασίας και του χρόνου μαγειρέματος, καθώς και η ένταση της διάτμησης, προάγουν την αύξηση της σκληρότητας και την ταυτόχρονη μείωση της ικανότητας επάλειψης και της τήξης των επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού. Ο ρυθμός διάτμησης, επίσης επηρεάζει τον βαθμό γαλακτωματοποίησης των λιπιδίων στο τυποποιημένο πλέγμα.

Μία συσκευή ομογενοποίησης είναι το σκεύος με μαχαίρια μονής λεπίδας (συσκευή Stephan, γενικά υιοθετημένη για τυριά που έχουν υποστεί επεξεργασία), η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλότερες ταχύτητες (έως 1500 rpm) συγκριτικά με άλλες κοινές συσκευές που λειτουργούν με ταχύτητες 100-200 rpm.. Η αύξηση της ταχύτητας των λεπίδων του σκεύους Stephan προκαλεί τη μείωση του μεγέθους των σφαιριδίων λίπους με σημαντική αύξηση της σκληρότητας και μείωση της ικανότητας τήξης των τυριών. Συμπερασματικά, οι λειτουργικές ιδιότητες (υφή και τήξη) του τελικού προϊόντος γίνονται αποδεκτές σε συσκευή με μονή λεπίδα όταν λειτουργεί με μέτρια ταχύτητα (750 rpm.) (Masotti et al., 2018).



Σχήμα 6: Γενικευμένο πρωτόκολλο παραγωγής για το αναπλήρωμα τυριού (Masotti et al., 2018).

2.2.8 Σχέση μεταποιημένων τυριών PCPs και αναπληρωμάτων τυριού ACPs

Τα μεταποιημένα τυριά περιέχουν περισσότερη υγρασία και λιγότερο λίπος. Προαιρετικά συστατικά μπορούν να προστεθούν, συμπεριλαμβανομένου του αποξηραμένου ορού γάλακτος, του αποξηραμένου γάλακτος, της λακτόζης και των οργανικών οξέων. Η περιεκτικότητα σε υγρασία δεν πρέπει να υπερβαίνει το 44% και η περιεκτικότητα σε λιπαρές ουσίες δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 23%. Η θερμοκρασία επεξεργασίας είναι συνήθως 85 – 90 °C και το pH του επεξεργασμένου προϊόντος είναι 5,6 – 5,8. Τα μεταποιημένα παρασκευάσματα τυριού αποτελούνται από μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων στα οποία το τυρί λιώνει και γαλακτοματοποιείται, συνήθως με την προσθήκη άλλων συστατικών του γάλακτος ή τροφίμων. Τα προϊόντα κυμαίνονται από εκείνα που αποτελούνται κυρίως από τυρί σε προϊόντα όπου η περιεκτικότητα σε τυρί είναι σημαντική για τη συμβολή στη γεύση του προϊόντος, αλλά είναι παρούσα σε σχετικά μικρά ποσά. Τα συστατικά εκτός από το τυρί, είναι κρέμα, βούτυρο και βουτυρέλαιο και για τα μεταποιημένα τυριά παρασκευασμάτων άλλα γαλακτοκομικά συστατικά όπως το γάλα σε σκόνη. Η γκάμα των μεταποιημένων τυριών είναι εκτεταμένη, με κάποια προϊόντα να είναι σκληρά και να έχουν δυνατότητα επεξεργασίας και άλλα να είναι μαλακά και απλώσιμα. Ο χαρακτηρισμός ορισμένων μεταποιημένων τυριών μπορεί να εμφανίζει και τη ονομασία ως «επεξεργασμένο μεταποιημένο τυρί». Τα προϊόντα αυτά περιέχουν νάτριο από δύο πηγές:

- 1) το χλωριούχο νάτριο που υπάρχει στο φυσικό τυρί που χρησιμοποιείται στο σκεύασμα και
- 2) τα γαλακτοματοποιητικά αλάτα όπως το κιτρικό νάτριο ή τα πολυφωσφορικών αλάτων που απαιτούνται για την παραγωγή ενός ενιαίου σταθερού προϊόντος

Οι μειωμένες εκδόσεις κορεσμένων λιπαρών από αυτά τα προϊόντα μπορούν να γίνουν με τη χρήση ενός κατώτερου λίπους φυσικό τυρί ως αφετηρία, και μειώνοντας τις ποσότητες κρέμας, βουτύρου και βουτυρέλαιο, και αυξάνοντας τις ποσότητες γάλακτος σε σκόνη και νερό. Το επεξεργασμένο τυρί ως προϊόν εξελίχθηκε από τον μετασχηματισμό των φυσικών τυριών με τήξη και παστερίωση με τη βοήθεια γαλακτοματοποιητικών αλάτων (ES) πριν από τη συμπλήρωση σε καλούπια και συσκευασίες. Τα μεταποιημένα τυριά έχουν ηπιότερη γεύση από τα φυσικά τυριά, τα οποία συχνά κάνουν έκκληση στους καταναλωτές που συναντούν τη γεύση του τυριού για πρώτη φορά. Τεχνικά, τα μεταποιημένα τυριά έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής λόγω των αυστηρότερων πρωτοκόλλων διασφάλισης της ποιότητας που περιβάλλουν την παστερίωσή τους, την θερμή πλήρωση και τη συσκευασία τους. Επιπλέον, τα μεταποιημένα τυριά παράγονται σε διάφορες υφές, όπως κύβους, φέτες, και ντιπ που προσθέτουν γεύση και ευκολία στα παρασκευάσματα φαγητού. Γενικά, ή τα μεταποιημένα τυριά (PCPs) κατηγοριοποιούνται ενσωματώνοντας το υψηλότερο (έως και 80% δυνατό) επίπεδο φυσικού τυριού στις συνθέσεις τους.

Αντίθετα, τα αναπληρώματα τυροκομικά προϊόντα (ACPs) δεν περιέχουν γενικά κανένα πρόσθετο τυρί, εκτός από τις περιπτώσεις που προστίθενται μικρά ποσά για να δώσουν γεύση τυριού ή όπως απαιτείται από τις προδιαγραφές του πελάτη. Παρόμοια με τα PCPs, τα ACPs περιέχουν πρόσθετους σταθεροποιητές, ES, γεύσεις, χρώματα, συντηρητικά και νερό. Τα ACPs μπορούν να κατηγοριοποιούνται αυθαίρετα ως γαλακτοκομικά, μερικώς γαλακτοκομικά ή μη γαλακτοκομικά,

ανάλογα με το αν τα λιπαρά ή/και τα πρωτεϊνικά συστατικά προέρχονται από γαλακτοκομικές ή φυτικές πηγές. Ορισμένα αναπληρώματα γαλακτοκομικών προϊόντων που χρησιμοποιούν φυτικό έλαιο ως πηγή λίπους (π.χ. έλαιο σόγιας, φοινικέλαιο κ.α) και πρωτεΐνες με βάση το γάλα (συνήθως καζεΐνη και καζεϊνικά) είναι συνήθως σχεδιασμένα με γαλακτοματοποιητικά άλατα (ES) και νερό. Καθώς το ποσοστό του φυσικού τυριού μειώνεται σε σκευάσματα, η ευκαιρία παρουσιάζεται για να ενσωματώσει περισσότερα συστατικά πρωτεΐνης γάλακτος (π.χ., καζεΐνη ρενίνης, καζεΐνη, καζεϊνικά άλατα, πρωτεΐνες ορού γάλακτος) σε ACPs και PCPs σύμφωνα με τις προδιαγραφές του πελάτη και συμμόρφωση με την ισχύουσα νομοθεσία. Η καινοτομία των προϊόντων σε αυτές τις κατηγορίες τυριών βασίζεται σημαντικά στη διαθεσιμότητα των αναδυόμενων νέων συστατικών για τη δημιουργία νέων υφών ή απλά διευκολύνουν τους στόχους της σύνθεσης του λιγότερο κόστους λόγω της ενισχυμένης λειτουργικότητας των επιπλέον πρωτεϊνών. αυτά μπορούν να έχουν σημαντική επίδραση στις φυσικοχημικές και ρεολογικές ιδιότητες, τη σταθερότητα και τα χαρακτηριστικά της χρήσης των παστεριωμένου PCPs και των ACPs. Εδώ υπάρχουν διάφοροι τύποι PCPs (π.χ. κατεργασμένες τυρόπιτες, τυριά και τυροτροφές) που ορίζονται από την εθνική νομοθεσία. Η εν λόγω νομοθεσία ορίζει τη σύνθεση, την περιεκτικότητα σε φυσικό τυρί (που κυμαίνεται από 51 έως περίπου το 96% της τελικής ξηρής ύλης) και τα επιτρεπόμενα συστατικά για τους διάφορους τύπους. Προαιρετικά συστατικά μπορεί να περιλαμβάνουν γαλακτοκομικά συστατικά, καρκεύματα, γεύσεις, χρώματα και συντηρητικά, όπως τα φωσφορικά άλατα του νατρίου. Οι ιδιότητες των PCPs, όπως τα χαρακτηριστικά γεύσης, υφής και μαγειρικής, προσδιορίζονται από πολλούς παράγοντες, όπως η ηλικία/τύπος του φυσικού τυριού, τα χαρακτηριστικά των συστατικών, το pH και οι συνθήκες επεξεργασίας (Gouda et al., 2003).

2.2.9 Υποκατάστατα τυριά και τυριά μίμησης

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι διεργασιών για την κατασκευή υποκατάστατων τυριών (Σχήμα 7):

- 1) Το πρώτο χρησιμοποιεί ένα υγρό "γάλα", και περιλαμβάνει συμβατικές μεθόδους τυροκομικής παραγωγής, τα προϊόντα που συχνά αναφέρονται ως γεμισμένα τυριά.
- 2) Ο δεύτερος τύπος, που αναφέρεται ως αναλογικά τυριά, γίνεται με την ανάμειξη διαφόρων πρώτων υλών μαζί με τεχνικές παρόμοιες με εκείνες για την παρασκευασμένες τυροκροκέτες. (Bachmann ,2001)

Η πλειονότητα των υποκατάστατων τυριών κατασκευάζονται από τη διαδικασία ανάμειξης. Η ανάπτυξη των αναπληρωμάτων τυριού περιλαμβάνει τη χρήση λιπαρών ή/και πρωτεϊνούχων πηγών, εκτός το γάλα, μαζί με ένα σύστημα γεύσης που προσομοιώνει όσο το δυνατόν στενότερα με το φυσικό προϊόν. Είναι επίσης αναγκαία για την ανάπτυξη κατάλληλου καθεστώτος επεξεργασίας να μπορεί να συνδυάσει αυτά τα στοιχεία για να παρέχει τις απαιτούμενες υφές και λειτουργικές ιδιότητες. Τυριά αναπληρώματα, μπορούν να θεωρηθούν ως τεχνολογικά προϊόντα. Σε δύο μεγάλες τάξεις εμπορικών προϊόντων διατροφής μπορούν και διακρίνονται σε: τρόφιμα που συνήθως αποτελούν μέρος μεικτής διαίτας και σε προϊόντα που μπορεί να αποτελούν μοναδική πηγή θρεπτικών συστατικών για ορισμένους ασθενείς ή ορισμένα καταναλωτικά τμήματα. Σε καθεμία από αυτές τις κατηγορίες, υπάρχουν σειρές επιστημονικών και κανονιστικών ζητημάτων. Τα αναπληρώματα τυριών ανήκουν σε τρόφιμα μεικτή διαίτα με περιορισμένη ρυθμιστική, επιστημονική και ιατρική πολυπλοκότητα. Η απομίμηση τυριού μοτσαρέλας ήταν λειτουργικά

σταθερότερη κατά την ψύξη από το φυσικό τυρί μοτσαρέλα. Η σταθερότητα αυτή καθίσταται πολύ ελκυστική για την επεξεργασία τροφίμων και την βιομηχανία. Έχουν σταθερή ποιότητα, χωρίς εποχιακές διακυμάνσεις, και μπορούν να ποικίλλουν για να ικανοποιούν τα επιθυμητά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Η παραγωγή μπορεί να προγραμματιστεί για να ανταποκριθεί στις ανάγκες πωλήσεων, την εξάλειψη ή τη σημαντική μείωση του κόστους αποθήκευσης και ψύξης. Τα αναπληρώματα τυριού αποκτούν αυξανόμενη αποδοχή με μεταποιητές τροφίμων και καταναλωτές λόγω πολλών πιθανών οφελών. Γενικά κατασκευάζονται για να έχουν διατροφική ισοδυναμία ή σε ορισμένες περιπτώσεις να έχουν διατροφικά πλεονεκτήματα πάνω από το φυσικό ισοδύναμο τυρί. Η βιταμίνη μπορεί να είναι τόσο καλά ή ανώτερα από εκείνα του φυσικού τυριού μέσω των κατάλληλων διεργασιών

Δεδομένου, ότι τόσο το λίπος και τα άλατα παίζουν σημαντικό ρόλο στη φυσική κατάσταση του προϊόντος, οι μειώσεις μπορούν να αλλάξουν την εμφάνιση, την υφή, τη γεύση, τις ιδιότητες τήξης και άλλα χαρακτηριστικά. Κατά την τελευταία δεκαετία οι καταναλωτές έχουν γίνει επίγνωση της σημασίας της διατήρησης των επαρκούς διατροφής. Αντί να προσπαθεί να αναπτύξει χαμηλές θερμίδες, είναι προτιμότερο να διατυπώνουμε τρόφιμα με συστατικά που συμβάλλουν στη μείωση των κινδύνων για την υγεία, όπως στην περίπτωση υποκατάστασης ζωικών λιπών από φυτικά λίπη και έλαια, ώστε να δοθεί στα τρόφιμα χαμηλή χοληστερόλη και κορεσμένα λίπη (Bachmann, 2001).



Σχήμα 7: Διαφορές διεργασιών για την κατασκευή υποκατάστατων τυριών (Hans-Peter Bachmann, 2001)

2.2.10 Αναπληρώματα τυριού και χοληστερίνη

Τα αναπληρώματα τυριών μπορούν να προσφέρουν μια εξαιρετική ευκαιρία για την υποκατάσταση ενός παραδοσιακού προϊόντος με ένα νέο που προσφέρει την ίδια ή καλύτερη υφή καθώς και χαρακτηριστικά, χρησιμοποιώντας τα καζεϊνικά

άλατα ως πηγές πρωτεϊνών και τη χρήση πολυακόρεστων φυτικών λιπών και ελαίων, που παράγουν ένα προϊόν χωρίς χοληστερόλη (Bachmann, 2001). Εάν χρησιμοποιούνται ακόρεστα λίπη τότε τα αναπληρώματα τυριών μπορούν να προσφέρουν κάποια πλεονεκτήματα στη υγεία ή και διαιτητικά πλεονεκτήματα που σχετίζονται συνήθως με ακόρεστα και πολυακόρεστα λιπαρά οξέα. Επίσης, αν δεν υπάρχει τυρί ή το βουτυρέλαιο, τότε τα αναπληρώματα είναι σχεδόν ελεύθερα χοληστερόλης (Bachmann, 2001). Τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA) είναι πολύ επιρρεπή στην οξείδωση, ειδικά με την παρουσία καταλυτικών μεταλλικών ιόντων, όπως σίδηρος ή χαλκός. Αυτό ονομάζεται η υπεροξείδωση των λιπιδίων και μπορεί να αποτραπεί με την προσθήκη αντιοξειδωτικών όπως η βιταμίνη E, διαφορετικά η διάρκεια ζωής είναι περιορισμένη. Επειδή δεν υπάρχουν ακριβείς πληροφορίες για τη βέλτιστη πρόσληψη του PUFA, δεν πρέπει να υπερβαίνει το όριο του 10% του συνόλου ενέργειας.

2.3 ΠΡΩΤΕΙΝΗ ΟΡΟΥ

2.3.1 Γενικά

Οι πρωτεΐνες του γάλακτος παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον γιατί απαντώνται σε υψηλή αναλογία στο γάλα και προσδιορίζουν σε μεγάλο βαθμό τις φυσικοχημικές ιδιότητες του ιδιαίτερα αυτές που σχετίζονται με τη σταθερότητα και έχουν υψηλή θρεπτική αξία. Είναι πολύπλοκα σώματα, το μόριο των οποίων αποτελείται από αμινοξέα ενωμένα μεταξύ τους με διάφορους συνδυασμούς. Βασικό τμήμα αποτελεί ο πεπτιδικός δεσμός όπου σχηματίζεται από τη αντίδραση μιας αμινομάδας και μιας καρβοξυλομάδας δύο μορίων αμινοξέων. Κατά τη αντίδραση δύο αμινοξέων παράγεται διπεπτίδιο το οποίο περιέχει άλλες καρβοξυλομάδες και αμινοομάδες που επιτρέπουν τη συνέχιση της δομής των πρωτεϊνών. Οι πρωτεΐνες έχουν υψηλό μοριακό βάρος για αυτό συμπεριφέρονται ως κολλοειδή. Οι πρωτεΐνες του γάλακτος διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: 1) καζεΐνες και 2) πρωτεΐνες ορού

Διαφορές καζεϊνών και πρωτεϊνών ορού γάλακτος:

Οι δύο αυτές μεγάλες κατηγορίες πρωτεϊνών έχουν διαφορετικές ιδιότητες. Οι καζεΐνες αποτελούν το 75-80% των πρωτεϊνών του γάλακτος, ενώ το 25-20% αποτελείται από πρωτεΐνες ορού. Έτσι οι διαφορές των δύο διαφορετικών κλασμάτων πρωτεϊνών είναι οι εξής:

- Οι καζεΐνες κατακρημνίζονται σε pH 4,6 και θερμοκρασία 20 °C, ενώ οι πρωτεΐνες ορού δεν κατακρημνίζονται.
- Η πυτιά και άλλα πρωτεολυτικά ένζυμα προκαλούν πολύ μικρές αλλά εξειδικευμένες μεταβολές στην καζεΐνη που έχει σαν αποτέλεσμα τη κατακρήμνιση της, παρουσία ιόντων ασβεστίου. Οι πρωτεΐνες ορού δεν υφίστανται τέτοιες μεταβολές, παραμένουν διαλυτές και απομακρύνονται με το τυρόγαλα κατά τη παρασκευή τυριών.
- Η καζεΐνη δεν επηρεάζεται σημαντικά από τη θέρμανση. Είναι δυνατόν να θερμανθεί στους 100°C για 24 ώρες χωρίς να πήξει. Αντίθετα όμως οι πρωτεΐνες ορού είναι πολύ ευαίσθητες στη θέρμανση και υφίσταται αλλοδομή, με εξαίρεση τις πεπτόνες και τις πρωτεόζες.
- Η καζεΐνη είναι φωσφοπρωτεΐνη και περιέχει 0,85% φώσφορο, ενώ οι πρωτεΐνες ορού δεν περιέχουν. Επίσης φέρει στο μόριό της 0,8% θείο σε μικρότερη ποσότητα από την πρωτεΐνη ορού.
- Η καζεΐνη συντίθεται στο μαστό και δεν βρίσκεται πουθενά αλλού στη φύση, ενώ οι πρωτεΐνες ορού συντίθενται μερικές φορές στο μαστό και άλλες υπάρχουν στο αίμα, όπου διαμέσου του μαστού μεταφέρονται στο γάλα (Δημητρέλη, 2009)

2.3.2 Κυριότερες πρωτεΐνες ορού

Οι κυριότερες πρωτεΐνες ορού είναι η οροαλβουμίνη, η α-γαλακταλβουμίνη και η β-γαλακτογλοβουλίνη και οι ανασοσφαιρίνες. Ένα μικρό κλάσμα από πρωτεόζες και πεπτόνες που ταυτοποιείται μαζί με τις οροπρωτεΐνες αποδείχτηκε ότι προέρχεται όπως και οι γ-καζεΐνες, από ενζυμική διάσπαση της β-καζεΐνης.

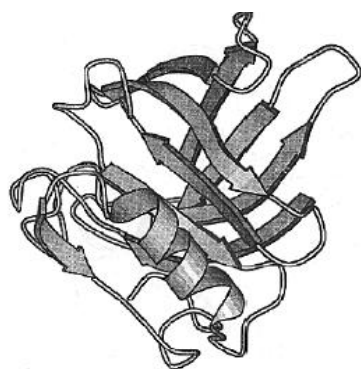
Οι πρωτεΐνες ορού σε αντίθεση με τις καζεΐνες έχουν υψηλά επίπεδα δευτεροταγούς τριτοταγούς και τεταρτοταγούς δομή. Είναι τυπικές σφαιρικές πρωτεΐνες και μετουσιώνονται με τη επίδραση της θέρμανσης. Δεν περιέχουν φώσφορο στο μόριο τους και δεν είναι ευαίσθητες στη παρουσία ιόντων ασβεστίου. Περιέχουν ενδομοριακούς δισουλφιδικούς δεσμούς, οι οποίοι σταθεροποιούν τη δομή τους (Δημητρέλη, 2009).

2.3.2.1 β-γαλακτογλοβουλίνη

Οι δύο κύριες πρωτεΐνες στον ορό γάλακτος, η α-LG και η β-LG (λακτοαλβουμίνη), φαίνεται να είναι υπεύθυνες για τις φυσικοχημικές ιδιότητες του ορού γάλακτος, όπως η διαμόρφωση της γέλης και του αφρού. Αποτελεί την κύρια πρωτεΐνη ορού και απαντά σε 7 γενετικές παραλλαγές, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως A,B,C,D,E,F,G και DR με μοριακό βάρος 18.00 περίπου (Δημητρέλη, 2009). Οι πρωτεΐνες αυτές δε περιέχουν φώσφορο στο μόριό τους, ενώ σε ελάχιστες περιπτώσεις περιέχουν σάκχαρα. Η β-γαλακτογλοβουλίνη σε θερμοκρασία δωματίου και σε εύρος pH 5-7 βρίσκεται σαν διμερές (δηλαδή δύο όμοιες μονάδες με μοριακό βάρος 18400 η κάθε μία, ενωμένες). Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 40 °C τα διμερή αρχίζουν να διασπώνται και να σχηματίζουν ξανά τα μονομερή τους. Η β-γαλακτογλοβουλίνη περιέχει δύο δεσμούς -S-S- και μια ελεύθερη ομάδα SH. Αυτή η ελεύθερη ομάδα SH είναι δυνατό να αντιδράσει κάτω από ειδικές συνθήκες και να σχηματίσει νέους δισουλφιδικούς δεσμούς (-S-S-). Ο σχηματισμός νέων -S-S- δεσμών επιτυγχάνεται σε pH μεγαλύτερο του 6,8 λόγω των αλλαγών που παρατηρούνται στη δομή των μορίων στο συγκεκριμένο pH (Κεχαγιάς & Τσάκαλη, 2017).

Οι δομές της β-γαλακτογλοβουλίνης και της α-γαλακταλβουμίνης είναι τυπικές, όπως άλλων σφαιρικών πρωτεϊνών όπως οι καζεΐνες. Επίσης έχουν καθαρό αρνητικό φορτίο στο pH του γάλακτος (Fennema, 1996). Η β-γαλακτογλοβουλίνη απαντάται κυρίως στο αγελαδινό γάλα και έχει 162 αμινοξέα στο μόριο της (Δημητρέλη, 2009).

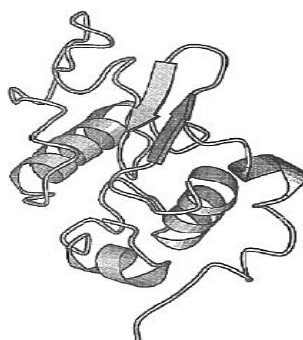
Ωστόσο, σε αντίθεση με τις καζεΐνες η κατανομή αλληλουχίας υδρόφοβων, πολικών και φορτισμένων μορίων είναι ομοιόμορφη. Κατά συνέπεια, αυτές οι πρωτεΐνες διπλώνουν ενδομοριακά, απομακρύνοντας έτσι τα περισσότερα από τα υδρόφοβα κατάλοιπα αυτών, έτσι ώστε να μην εμφανιστεί εκτεταμένη αυτοσύνδεση ή αλληλεπίδραση με άλλες πρωτεΐνες. Οι τρισδιάστατες δομές (Σχήμα 8) τους έχουν προσδιοριστεί με κρυσταλλογραφία ακτίνων X (Fennema, 1996).



Σχήμα 8: δομή β-γαλακτογλοβουλίνης (Yada, 2004)

2.3.2.2 *α-γαλακταλβουμίνη*

Αποτελεί το 0,06-0,17 % των συστατικών του γάλακτος και είναι απαραίτητη στη σύνθεση λακτόζης. Απαντάται σε 3 γενετικές παραλλαγές, τις α -LA-A, α -LA-B, α -LA-C. Όλες οι γενετικές παραλλαγές έχουν 123 αμινοξέα και μοριακό βάρος 140.000 (Δημητρέλη, 2009) (**Σχήμα 9**). Έχει συγκεντρώσει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αφού βιολογικά έχει συνδεθεί με την ενζυματική σύνθεση της λακτόζης. Στο ανθρώπινο γάλα αποτελεί την κύρια πρωτεΐνη, ενώ τα θαλάσσια θηλαστικά που παράγουν γάλα χωρίς λακτόζη, δεν περιέχει α -γαλακταλβουμίνη. Η α -γαλακταλβουμίνη, στο αγελαδινό γάλα, αποτελεί το 20% των πρωτεϊνών ορού και το 3,5% στο σύνολο των πρωτεϊνών του γάλακτος. Περιέχει τέσσερις δισουλφιδικούς δεσμούς (-S-S-) σε κάθε μόριο. Είναι μια πρωτεΐνη με χαρακτηριστική σφαιρική δομή με την λυσίνη εκτεθειμένη στην επιφάνεια. Έχει επίσης βρεθεί ότι η α -γαλακταλβουμίνη περιέχει κι ένα άτομο Ca σε κάθε μόριο της το οποίο είναι συνδεδεμένο με καρβοξυλικές ομάδες. Συνεπώς η απώλεια του Ca συνδέεται με σημαντικές μεταβολές της α -γαλακταλβουμίνης. Η α -γαλακταλβουμίνη σε αντίθεση με τη β -γαλακτογλοβουλίνη θεωρείται θερμοάντοχη πρωτεΐνη και οι τυχόν αλλαγές στη δομή του μορίου της με τη θέρμανση είναι αντιστρεπτές. Ωστόσο, η ανθεκτικότητα της στη θέρμανση χάνεται όταν απομακρυνθεί το Ca από το μόριό της (Κεχαγιάς & Τσάκαλη, 2017).



Σχήμα 9: τρισδιάστατη δομή α -γαλακτογλοβουλίνης (Yada, 2004)

2.3.2.3 *Οροαλβουμίνη*

Η οροαλβουμίνη προέρχεται από το αίμα των γαλακτοφόρων ζώων και για αυτό μοιάζει από πλευράς σύνθεσης με την αλβουμίνη του αίματος. Η οροαλβουμίνη αποτελείται από μία και μόνη πολυπεπτιδική αλυσίδα πολύ μεγάλου μήκος και με μοριακό βάρος 69000. Η οροαλβουμίνη έχει μία ελεύθερη ομάδα SH και οι δισουλφιδικοί δεσμοί -S-S- συνδέουν πάντα δύο διαφορετικές πολυπεπτιδικές αλυσίδες. Η οροαλβουμίνη του αίματος είναι γνωστό ότι μεταφέρει τα αδιάλυτα λιπαρά οξέα στο κυκλοφορικό σύστημα και για τον λόγο αυτό στην οροαλβουμίνη του γάλακτος βρίσκονται προσροφημένα λιπαρά οξέα τα οποία την προστατεύουν από τη μετουσίωση με θερμότητα.

2.3.2.4 Ανοσογλοβουλίνες

Ο όρος ανοσογλοβουλίνη (IgG) περιλαμβάνει μια ετερογενή οικογένεια πρωτεϊνών, που έχουν σαν κοινό χαρακτηριστικό τον εφοδιασμό των νεαρών ζώων με αντισώματα για την προστασία κατά των παθογόνων μικροοργανισμών. Οι ανοσογλοβουλίνες είναι ακόμη πιο ευαίσθητες και από την β-γαλακτογλοβουλίνη στη θερμοκρασία και παρουσιάζουν τεχνολογικό ενδιαφέρον, κυρίως γιατί με την ψύξη του γάλακτος βοηθούν στο σχηματισμό συσσωματωμάτων από λιποσφαίρια, ενώ με τη θέρμανση μετουσιώνονται και παρουσιάζουν δυσμενώς την αποκορυφωτική ικανότητα του γάλακτος. Όλες οι ανοσογλοβουλίνες εμφανίζονται είτε σαν μονομερή, είτε σαν πολυμερή. Η IgG αποτελείται από τέσσερις πολυπεπτιδικές αλυσίδες (τετραμερές), δύο ελαφριές και δύο βαριές που συνδέονται με δισουλφιδικούς δεσμούς. Η IgM συναντάται συνήθως σαν πενταμερές, ενώ η IgA σαν διμερές.

2.3.2.5 Πρωτεόζες - πεπτόνες

Σαν πρωτεόζες - πεπτόνες είναι γνωστές οι πρωτεΐνες ορού που δεν καθιζάνουν μετά από θέρμανση στους 95-100 °C για 20 λεπτά (δεν μετουσιώνονται) και οξίνιση στη συνέχεια σε pH 4,7. Οι πρωτεόζες – πεπτόνες καθιζάνουν όμως με 12% τριγλωροξικό οξύ. Αποτελούνται από μικρού μοριακού βάρους φωσφοπρωτεΐνες και γλυκοπρωτεΐνες (με σάκχαρα), χαρακτηριστικές ιδιότητες που συναντιούνται στις καζεΐνες και όχι στις άλλες πρωτεΐνες ορού. Πολλοί έχουν συστήσει την κατάργηση του όρου πρωτεόζες – πεπτόνες γιατί δεν περιγράφει με τρόπο ικανοποιητικό τα κλάσματα που υπάγονται στην κατηγορία αυτή των πρωτεϊνών. Τα κλάσματα αυτά, όπως χωρίζονται με ηλεκτροφόρηση, είναι «3», «5», «8-αργό», «8-γρήγορο». Από τα κλάσματα αυτά, το «3» περιέχει τις μεγαλύτερες ποσότητες σακχάρων και θεωρείται ότι αποτελεί συστατικό της μεμβράνης των λιποσφαιρίων. Η προέλευση όμως των περισσότερων κλασμάτων των πρωτεοζών και πεπτονών συνδέεται με τη διάσπαση της β-καζεΐνης από μικέλλες της καζεΐνης. Το κλάσμα 3 έχει γίνει γνωστό και με το όνομα λακτοφορίνη και έχει πολύ καλές αφοροποιητικές και γαλακτωματοποιητικές ιδιότητες. Λόγω της δομής και των ιδιοτήτων του θεωρείται ότι προστατεύει το λίπος του γάλακτος από τα λιπολυτικά ένζυμα (λιπόλυση) (Κεχαγιάς & Τσάκαλη, 2017).

2.3.3 Παραγωγή γαλακτογλοβουλίνης

Η παραγωγή της γαλακτογλοβουλίνης πραγματοποιείται με πρωτεΐνες ορού γάλακτος, οι οποίες είναι θερμικά ευαίσθητες και μπορούν να προκληθούν από θερμική επεξεργασία υπό κατάλληλες συνθήκες pH και ιοντική ισχύς. Η γαλακτογλοβουλίνη είναι το προϊόν της καθίζησης των πρωτεϊνών του ορού γάλακτος μετά από θέρμανση. Περιέχει ένα μείγμα από μετουσιωμένη α-γαλακταλβουμίνη, β-γαλακτογλοβουλίνη και άλλες πρωτεΐνες ορού γάλακτος. Η β-γαλακτογλοβουλίνη έχει στο μόριο της μια σουλφιδική ομάδα, η οποία κάτω ορισμένες συνθήκες δημιουργεί σύμπλοκα με την καζεΐνη. Το σύμπλοκο αυτό παρεμποδίζει τη πήξη του γάλακτος με τη επίδραση της πυτιάς, ενώ μεταβάλλει τη δομή της πηκτής κατά το σχηματισμό όξινων γαλακτοκομικών προϊόντων και επηρεάζει τις ρεολογικές τους ιδιότητες (Δημητρέλη, 2009).

Στην κατασκευή γαλακτοαλβουμίνης, ο ορός γάλακτος θερμαίνεται για να μετουσιώσει, να πήξει και να κατακρημνίσει τις πρωτεΐνες ορού γάλακτος. Το ίζημα ανακτάται από τη μετάγγιση (ή τη φυγοκέντρηση), δηλαδή πλένεται ώστε να

απομακρυνθούν τα υπερβολικά άλατα και η λακτόζη. Το προϊόν που ανακτάται από τη φυγοκέντρηση ή τη διήθηση πριν από την ξήρανση, οδηγεί στην αλλοίωση των πρωτεϊνών ορού γάλακτος, με συνέπεια ένα προϊόν με φτωχή λειτουργικότητα (Zadow, 2003).

2.3.4 Κατηγορίες και σύνθεση πρωτεΐνης ορού

Ορός γάλακτος είναι η υδαρής ουσία που απομένει μετά την πήξη της καζεΐνης στο γάλα, είτε μέσω της προσθήκης οξέος (όπως στην παρασκευή καζεΐνης) είτε μέσω της δράσης μιας πρωτεάσης όπως η χυμοσίνη (π.χ. στην παραγωγή τυριών). Σαφώς, η σύνθεση του ορού γάλακτος ποικίλλει σημαντικά, ανάλογα με την πηγή του γάλακτος και τη διαδικασία παρασκευής που εμπλέκεται. Ωστόσο, κατά μέσο όρο, ο ορός γάλακτος περιέχει περίπου 65 g στερεών ανά χιλιόγραμμο, που περιλαμβάνει περίπου 50 g λακτόζης, 6 g πρωτεΐνης, 6 g τέφρας, 2 g μη πρωτεϊνικού αζώτου και 0,5 g λίπους. Ο ορός γάλακτος μπορεί να ταξινομηθεί σε τρεις κύριους τύπους:

1. Γλυκοί οροί (sweet whey): τιτλοδοτημένη οξύτητα 0,10-0,2%, τυπικό pH 5,8-6,6. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει ορό γάλακτος που παράγεται από τυριά που έχουν πήξει με χυμοσίνη και έχουν χαμηλή οξύτητα (Augustin & Margetts, 2003).
2. Μέτρια όξινοι οροί γάλακτος (medium acid whey): τιτλοδοτημένη οξύτητα 0,20-0,40%, τυπικό pH 5,0-5,8. Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνεται ο ορός γάλακτος από την παραγωγή νωπού όξινου τυριού, όπως τα τυριά ricotta ή cottage.
3. Όξινοι οροί γάλακτος (acid wheys): τιτλοδοτημένη οξύτητα μεγαλύτερη από 0,40%, pH μικρότερο από 5,0. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνεται ο ορός γάλακτος καζεΐνης που παράγεται με την προσθήκη ανόργανων οξέων και μερικά φρέσκα όξινα τυριά.

Πίνακας 3: Τυπικές πρωτεΐνες στον τυρόγαλα τυριού και μερικά από τα χαρακτηριστικά τους (Yada, 2004):

Πρωτεΐνη	Ποσότητα(%)	Μοριακό βάρος	Ισοηλεκτρικό σημείο
β-γαλακτογλοβουλίνη	48	18,400-36.900	5,2
α-γαλακτοαλβουμίνη	19	14,200	5,1
Πρωτεόζες-πεπτόνες	20	4,00-80,000	5,1-6,0
Ορο-αλβουμίνες	6	69,000	4,8
Ανοσογλοβουλίνες	8	160,000	5,5-6,8

Η πρωτεΐνη ορού γάλακτος είναι η πιο άφθονη πηγή αμινοξέων και πεπτιδίων που διατίθενται στον άνθρωπο. Η φύση έχει σχεδιάσει αυτή την κατηγορία πρωτεϊνών που πρέπει να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο ως άμεση πηγή θρεπτικών συστατικών για την ανάπτυξη, αλλά και ως συσκευασία των κυτταρικών σηματοδοτών στη διάθεση του σώματος για έναν αριθμό από φυσιολογικές ανάγκες σε ποικίλα σημεία του μεταβολισμού.

Οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος προθερμαίνονται ήπια, εξατμίζονται και ξηραίνονται για την παραγωγή σκόνης ορού γάλακτος. Για να διευκολυνθεί η ξήρανση, η λακτόζη στο συμπύκνωμα ορού γάλακτος προ-κρυσταλλώνεται για την παραγωγή μη υγροσκοπικής σκόνης ορού γάλακτος. Για την παραγωγή σκόνης ορού

γάλακτος με μειωμένη λακτόζη ή με μειωμένη ποσότητα μετάλλων, ένα μέρος αυτών των συστατικών μπορεί να αφαιρεθεί επιλεκτικά από τον ορό γάλακτος. Ο ορός γάλακτος είναι ένα άφθονο υποπροϊόν της γαλακτοκομικής βιομηχανίας, που προκύπτει από την παραγωγή τυριού ή καζεύνης. Αυτό το υποπροϊόν αντιπροσωπεύει περίπου 85 – 90% του όγκου γάλακτος και διατηρεί περίπου 55% των θρεπτικών συστατικών στο γάλα. Ο ορός γάλακτος μπορεί επίσης να συγκεντρωθεί με διαχωρισμό με μεμβράνες (υπερδιήθηση ή/και αραιωτική διήθηση) (Augustin & Margetts, 2003; Δημάκου, 2010). Ο ορός γάλακτος χαρακτηρίζεται συχνά από το επίπεδο οξύτητάς του και ως εκ τούτου, μπορεί να είναι είτε χαμηλού οξέος «γλυκού» ορού γάλακτος (από σκληρό ή ημίσκληρο τυρί) ή υψηλής οξύτητας ορό γάλακτος (από μαλακό τυρί, π.χ., τυρί cottage). Ο ορός γάλακτος (περιέχει τυπικά 6% ολικά στερεά) εξατμίζεται κανονικά μετά από προεπεξεργασία για την αφαίρεση λίπους (ή/και τυριών) έως και μεταξύ 40 και 60% συνολικών στερεών. Η επιλογή των στερεών του τελικού προϊόντος γίνεται ανάλογα με τις επακόλουθες ανάγκες επεξεργασίας. Εάν το συμπύκνωμα ορού γάλακτος πρέπει να μεταφερθεί, προτιμάται το 40%, για να αποφευχθεί η κρυστάλλωση που πραγματοποιείται καθ ' οδόν και προκαλώντας δυσκολίες εκφόρτωσης (Ferguson, 2003).

Πίνακας 4: Σύνθεση διάφορων ξηρών προϊόντων ορού γάλακτος (Yada, 2004).

Προϊόν	Πρωτεΐνη(%)	Λακτόζη(%)	Λίπος(%)	Τέφρα(%)	Υγρασία(%)
Σκόνη ορού γάλακτος	11-14,5	63-75	1-1,5	8,2-8,8	3,5-5,0
Σκόνη ορού γάλακτος μειωμένη σε λακτόζη	18-24	52-58	1-4	11-22	3-4
Αφαλατωμένη πρωτεΐνη ορού	11-15	70-80	0,5-1,8	1-7	3-4
Συμπύκνωμα πρωτεΐνης ορού γάλακτος-34	34-36	48-52	3-4,5	6,5-8,0	3-4,5
Συμπύκνωμα πρωτεΐνης ορού γάλακτος-50	50-52	33-37	5-6	7,5-8,5	3,5-4,5
Συμπύκνωμα πρωτεΐνης ορού γάλακτος-80	80-82	4-8	4-8	3-4	3,5-4,5
Πρωτεΐνη ορού γάλακτος	90-92	0,5-1,0	0,5-1,0	2-3	4,5

2.3.5 Επιλογή ορού γάλακτος

Τα ακόλουθα σημεία έχουν ιδιαίτερη σημασία για την αξιολόγηση των διαθέσιμων επιλογών για την επεξεργασία ορού γάλακτος:

- Ο ορός γάλακτος έχει συνολικά στερεά περίπου 6,5%, δηλαδή είναι ένα αρκετά αραιό προϊόν. Έτσι, για την παραγωγή 1 kg σκόνης ορού γάλακτος απαιτεί απομάκρυνση περίπου διπλάσιου νερού όπως και η παραγωγή 1 kg γάλακτος σε σκόνη. Η απομάκρυνση του νερού είναι μια δαπανηρή λειτουργία μονάδας, και ο παράγοντας αυτός μόνο μετριάζει κατά πολλές επιλογές για την επεξεργασία ορού γάλακτος
- Από τα συνολικά στερεά σε ορό γάλακτος, περισσότερο από 75% είναι λακτόζη. Η αποτελεσματική αξιοποίηση του ορού γάλακτος είναι επομένως άρρηκτα συνδεδεμένη με την αποτελεσματική αξιοποίηση της λακτόζης. Δυστυχώς, η λακτόζη δεν είναι μια εμπορικά πολύτιμο σάκχαρο, καθώς δεν είναι ιδιαίτερα διαλυτή, και δεν είναι ιδιαίτερα γλυκιά.
- Οι πρωτεΐνες που υπάρχουν στον ορό γάλακτος περιλαμβάνουν περίπου 50% β-λακτοβουμίνη, 25% α-λακταλβουμίνη και 25% άλλες πρωτεΐνες. Οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος έχουν πολύ υψηλό θρεπτικό προφίλ, είναι πλούσιες σε απαραίτητα αμινοξέα και μπορούν να έχουν άριστες λειτουργικές ιδιότητες. Προφανώς, οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος είναι τα πολυτιμότερα συστατικά του ορού γάλακτος και οι περισσότερο πτητικές λειτουργίες επεξεργασίας ορού γάλακτος (π.χ. υπερδιήθηση, παραγωγή γαλακταβουμίνης) στοχεύουν συνεπώς στην αύξηση της αναλογίας των πρωτεϊνών ορού γάλακτος στο τελικό προϊόν.
- Η περιεκτικότητα σε ορυκτά και το χαμηλό pH της καζεΐνης περιορίζουν σημαντικά την εμπορική τους εκμετάλλευση. Η συντριπτική πλειονότητα των προϊόντων με βάση τον ορό γάλακτος κατασκευάζονται από προϊόντα χαμηλής ή μεσαίας οξύτητας.
- Ο ορός γάλακτος έχει πολύ υψηλή βιοχημική απαίτηση οξυγόνου, η οποία θέτει μείζονες δυσκολίες στη διάθεσή του. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι ορισμένες επιλογές για την επεξεργασία ορού γάλακτος, ιδίως εκείνες που αυξάνουν το ποσοστό των πρωτεϊνών στο προϊόν, έχουν επίσης ως αποτέλεσμα την παραγωγή ενός προϊόντος αποβλήτων, το οποίο περιέχει το μεγαλύτερο μέρος της αρχικής λακτόζης. Αυτό το ρυάκι, με τη σειρά του, απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία. Έτσι, τα προβλήματα που θέτει η βιοχημική απαίτηση σε οξυγόνο του αρχικού ορού γάλακτος συχνά επηρεάζονται ελαφρώς από πολλές από τις επιλογές επεξεργασίας ορού γάλακτος (Zadow, 2003)

2.3.6 Πρωτεΐνες ορού και υγεία

Οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος, η οποίες είναι ένα υποπροϊόν της τυροκομικής, έχει την υψηλότερη ποιότητα πρωτεΐνης και είναι υψηλή σε γλουταμίνη, η οποία βοηθά στην πρόληψη των πληγών του στόματος (στοματίτιδα) σε ασθενείς που λαμβάνουν χημειοθεραπεία. Μπορεί να είναι χρήσιμη στην πρόληψη της περιφερικής νευροπάθειας ορισμένων χημικοθεραπευτικών παραγόντων, όπως οι ταξάνες. Η γλουταμίνη είναι άφθονη σε ορό γάλακτος, και αυτός είναι ο προτιμώμενος τρόπος κατάποσης αυτού του θρεπτικού συστατικού. Τα στοιχεία δείχνουν ότι διάφορες πηγές πρωτεΐνης έχουν διαφορετικά ποσοστά πέψης και απορρόφησης, τα οποία μπορεί να επηρεάσουν τη μετα-γευματική απόκριση αμινοξέων. Οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος αναφέρονται ως "γρήγορες" πρωτεΐνες επειδή αδειάζουν γρήγορα από το στομάχι και παραδίδονται στο λεπτό έντερο ανέπαφες, μια επίδραση που πιστεύεται ότι οφείλεται στην περιεκτικότητα σε αμινοξέα διακλαδισμένης αλύσας (BCAA)

(ισολευκίνη, λευκίνη, και βαλίνη) που βρέθηκε στο σχετικά υψηλά ποσά σε β-LG.
(Pal, 2019)

2.4 ΦΟΙΝΙΚΕΛΑΙΟ

2.4.1 Γενικά

Ο σπόρος της σύγχρονης βιομηχανίας φοινικέλαιου σπάρθηκε κατά τον προηγούμενο αιώνα στο Μπόγκορ της Ινδονησίας, όταν φυτεύτηκαν τέσσερα φυτά από τη Δυτική Αφρική. Το δέντρο από το οποίο προέρχεται το φοινικέλαιο φυτεύτηκε αρχικά ως διακοσμητικό, καλλωπιστικό φυτό και έπειτα ακολούθησαν οι πρώτες καλλιέργειες με σκοπό την εμπορία. Αργότερα η Νοτιοανατολική Ασία ξεκίνησε την καλλιέργεια του φυτού το 1911. Η πολιτική διαφοροποίηση των καλλιεργειών στη Μαλαισία στα τέλη της δεκαετίας του 1950, την οποία αργότερα ακολούθησε η Ινδονησία, προκάλεσε την ταχεία επέκταση και τον εκσυγχρονισμό της βιομηχανίας ελαίων. Το φοινικέλαιο προέρχεται και παραλαμβάνεται από τον ελαιοφοίνικα, που κυρίως ευδοκίμει στην δυτική Μαλαισία και την Ινδονησία. Τα χαρακτηριστικά του καρπού του φοίνικα δίνονται παρακάτω (**Πίνακας 5**). Οι καρποί αποδίδουν δύο είδη ελαίου, από τον πολτό και από τους σπόρους (Jalani et al., 2003). Η Νοθεία του φοινικέλαιου με στεατίνη από φοίνικα αυξάνει τον λόγο των τριγλυκεριδίων PPP προς MOP, ο οποίος συνήθως κυμαίνεται από 3,5-4,5 (Belitz et al., 2015).

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά του καρπού του φοίνικα (Belitz et al., 2015)

	Ελαιοφοίνικας
Καρποί	
Μήκος (cm)	3-5
Πλάτος (cm)	2-4
Πολτός καρπού (Βάρος %)	35-85
Πυρήνας καρπού (Βάρος %)	15-65
Πολτός καρπού (Μεσοκάρπιο)	
Έλαιο (Βάρος %)	30-35
Υγρασία (Βάρος %)	35-45
Έλαιο πολτού καρπού	
Σημείο πήξης (°C)	27-38

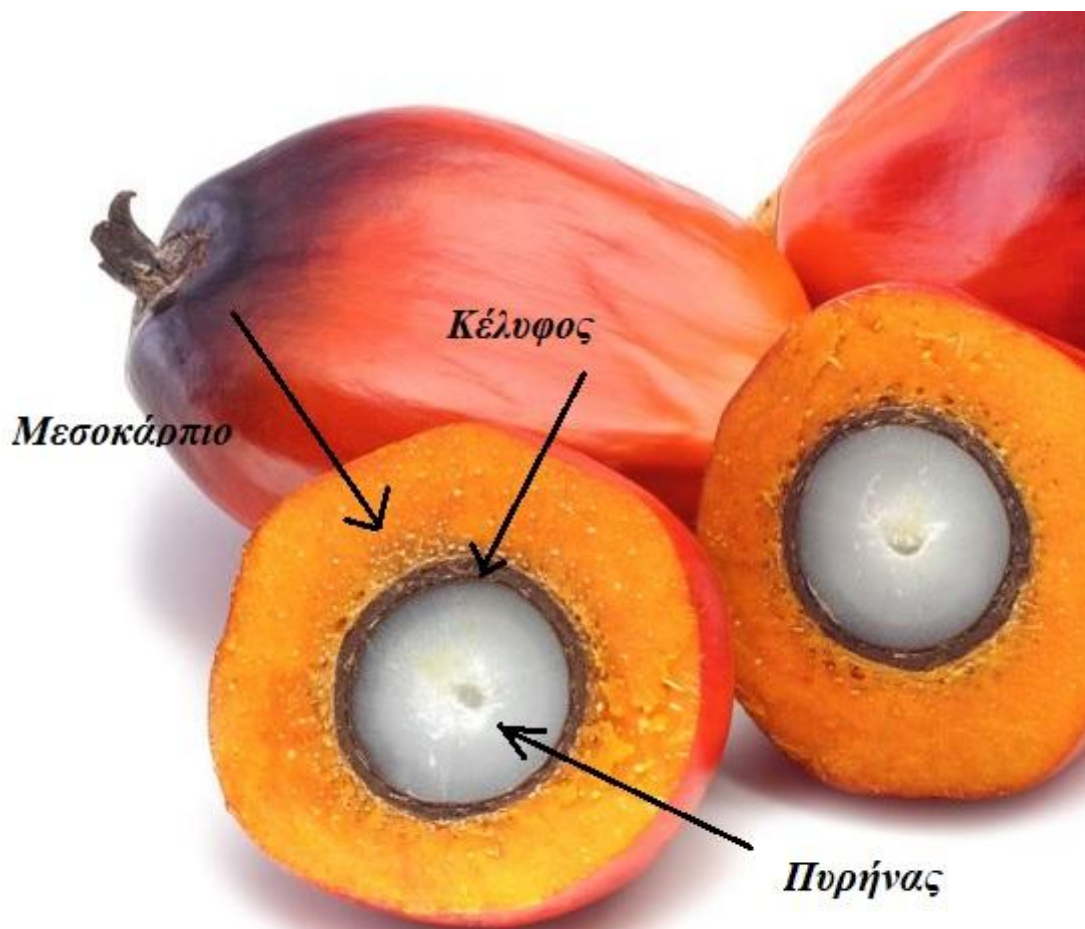
2.4.2 Είδη φοινικέλαιου

Το φοινικέλαιο είναι μοναδικό στο ότι παράγει δύο τύπους ελαίου, το φοινικέλαιο από το μεσοκάρπιο και έλαιο φοινικοπυρήνων από το ενδοσπέρμιο (πυρήνα) (**Σχήμα 10 & Σχήμα 11**). Αυτό μπορεί να προκαλέσει σύγχυση, καθώς το ευρύ κοινό πιστεύει ότι αυτά τα δύο έλαια είναι τα ίδια. Η σύνθεση λιπαρού οξέος του φοινικέλαιου είναι σημαντικά διαφορετική από εκείνη του φοινικοπυρηνέλαιου (**Πίνακας 6**) (Jalani et al., 2003).

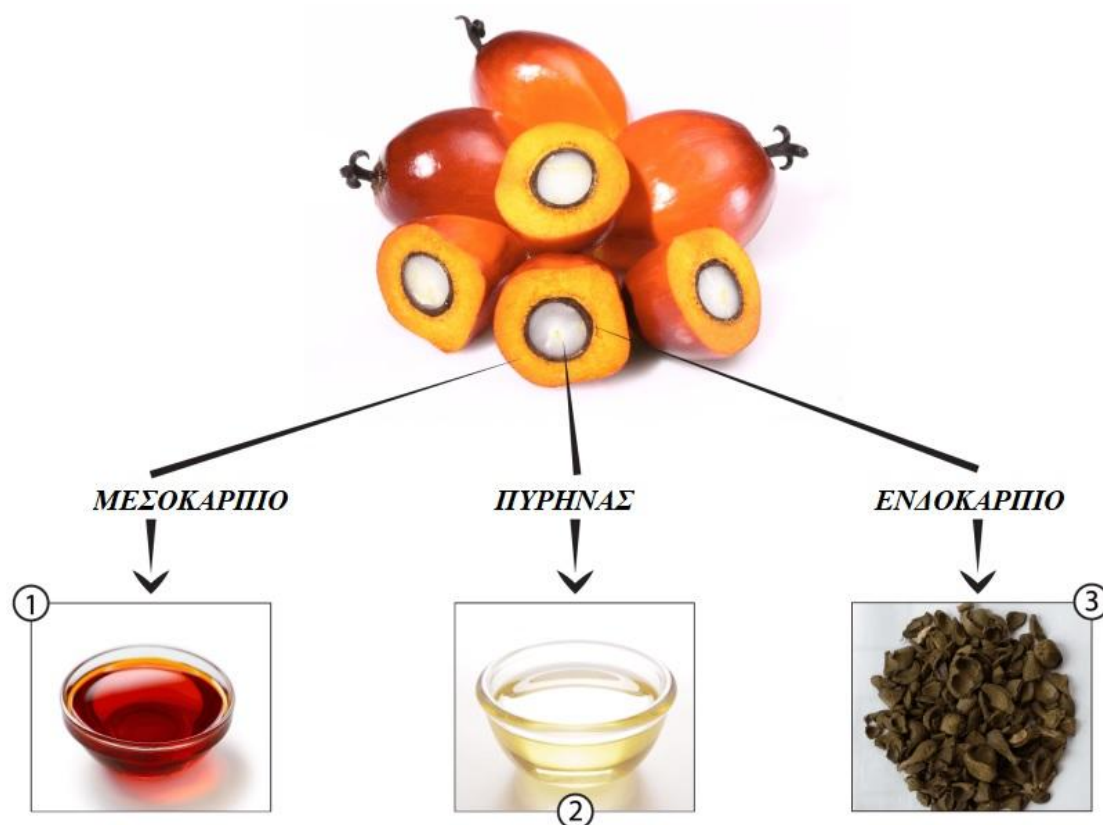
Πίνακας 6: Διαφορές στη σύνθεση του φοινικέλαιου από το μεσοκάρπιο και του φοινικοπυρηνέλαιου (Jalani et al., 2003)

Σύσταση	Φοινικέλαιο	Φοινικοπυρηνέλαιο
C6:0	-	0,3
C8:0	-	4,2

C10:0	-	3,7
C12:0	0,2	48,7
C14:0	1,1	15,6
C16:0	44,0	7,5
C16:1	0,1	-
C18:0	4,5	1,8
C18:1	39,2	14,8
C18:2	10,1	2,6
C18:3	0,4	-
C20:0	0,4	-
Άλλα	-	0,8
Τιμή Ιωδίου	53,3	17,8



Σχήμα 10: Ο καρπός του φοινικόδεντρου και τα μέρη από τα οποία αποτελείται (<https://www.mnn.com/food/healthy-eating/blogs/palm-oil-facts>).



Σχήμα 11: Ο καρπός του φοινικόδεντρου και τα προϊόντα που προκύπτουν από αυτόν (<https://amj.co.id/en/products>)

2.4.3 Επεξεργασία φοινικέλαιου

Το ακατέργαστο φοινικέλαιο μπορεί να εξευγενιστεί με την παραδοσιακή διαδικασία εξευγενισμού αλκαλίων. Λόγω του φυσικού του έντονου κόκκινου χρώματος, μπορεί να απαιτείται μια πολύ δραστική διαδικασία λεύκανσης (**Πίνακας 7**). Το ακατέργαστο φοινικέλαιο συνήθως περιέχει 3-5% ελεύθερα λιπαρά οξέα και έτσι οι απώλειες της διαδικασίας στον αλκαλικό εξευγενισμό τείνουν να είναι υψηλές. Αυτό έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη μιας άλλης διαδικασίας φυσικού καθαρισμού ή εξευγενισμού με ατμό. Η χρήση μιας κάπως υψηλότερης θερμοκρασίας σε ένα τροποποιημένο “αποσμητικό” επιτρέπει την απομάκρυνση των ελευθέρων λιπαρών οξέων με απόσταξη αντί για εξουδετέρωση (Berger, 2003), δηλαδή για να αδρανοποιηθεί η υψηλή δραστηριότητα των λιπασών και να διαχωριστεί ο πολτός από τους σπόρους (Belitz et al., 2015). Η διαδικασία αποδείχθηκε πιο οικονομική και τώρα υιοθετείται και για άλλα έλαια. Ένας πίνακας ροής για φυσικό εξευγενισμό δίνεται παρακάτω (**Πίνακας 8**) (Berger, 2003).

Πίνακας 7: Πίνακας ροής του εξευγενισμού αλκαλίων με την διαδικασία λεύκανσης (Berger 2003).

Διαδικασία	Τυπικές συνθήκες
Προεπεξεργασία Gum conditioning	0,1% φωσφορικό οξύ 80 °C - 20 λεπτά
Εξουδετέρωση	4N καυστική σόδα 20% περίσσεια
Πλύσιμο Ξήρανση	1% ενεργές γαιές 80-100 °C, κενό

Λεύκανση	
Φιλτράρισμα Καταστροφή οσμών	240 °C στα 133–667 Pa 90–110 λεπτά

Πίνακας 8: Πίνακας ροής των σταδίων του φυσικού εξευγενισμού (Berger 2003).

Διαδικασία	Τυπικές συνθήκες
Gum conditoning	0,1% φωσφορικό οξύ 80 °C - 20 λεπτά
Λεύκανση	1-2% ενεργές γαίες 90 °C – 20 λεπτά, κενό
Φιλτράρισμα Αποξίνωση Καταστροφή οσμών	260–265 °C στα 133–667 Pa

Προκειμένου να καταστεί ευρύτερα χρήσιμο στις εφαρμογές τροφίμων, το φοινικέλαιο υποβάλλεται σε περαιτέρω επεξεργασία. Οι ακόλουθες διαδικασίες διεξάγονται σε μεγάλη κλίμακα προκειμένου να τροποποιηθούν οι φυσικές του ιδιότητες:

- κλασματοποίηση
- υδρογόνωση
- εστεροποίηση

Τα κύρια συστατικά γλυκεριδίου του φοινικέλαιου κυμαίνονται από την τριελαΐνη (σημείο τήξης 5 ° C) έως την τριπαλμιτίνη (σημείο τήξης 66 ° C) με ένα αριθμό μικτών γλυκεριδίων με ενδιάμεσο σημείο τήξης.

Η κρυστάλλωση του τήγματος αυτού του μίγματος, σε ελεγχόμενη θερμοκρασία, ακολουθείται από τον διαχωρισμό της υγρής (ολεΐνη) και στερεάς φάσης (στεατίνη). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη διαδικασία φυγοκέντρησης, με διήθηση σε περιστρεφόμενο φίλτρο ή με διήθηση με πλάκες και πλαίσια. Μία τροποποίηση του τελευταίου έχει κάθε πλαίσιο τοποθετημένο με ένα φουσκωτό διάφραγμα, το οποίο καθιστά δυνατή την εφαρμογή πίεσης στα στερεά και οδηγεί σε πολύ αποτελεσματικό διαχωρισμό της ολεΐνης. Τα χαρακτηριστικά αυτών των προϊόντων εξαρτώνται από την θερμοκρασία που επιλέγεται για την κρυστάλλωση και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας διαχωρισμού.

Το επόμενο στάδιο, η υδρογόνωση είναι μια τυπική διαδικασία στην βιομηχανία βρώσιμων ελαίων. Περιλαμβάνει την επεξεργασία του ελαίου με ενεργοποιημένο καταλύτη νικελίου με υδρογόνο υπό πίεση και σε αυξημένη θερμοκρασία. Απαιτείται έντονη ανάδευση, καθώς οι φάσεις υγρού και αερίου πρέπει να έρθουν σε επαφή στην επιφάνεια του καταλύτη (Berger 2003). Όπως αναφέρουν οι Belitz, Grosch & Schieberle (2015), το έλαιο έπειτα πλένεται με ζεστό νερό το οποίο απομακρύνεται με ξήρανση και έτσι αποδίδεται ένα ακατέργαστο λάδι που έχει υψηλή περιεκτικότητα σε καροτίνη οπότε το χρώμα του είναι κίτρινο προς κόκκινο. Κατά τον εξευγενισμό (ραφινάρισμα), το χρώμα του φοινικέλαιου καταστρέφεται στο στάδιο του αποχρωματισμού. Ο Berger (2003) υποστηρίζει πως αυτά τα στάδια είναι απαραίτητα πριν από την υδρογόνωση, για να αποφευχθεί η απενεργοποίηση του καταλύτη.

Έπειτα ακολουθεί η εστεροποίηση. Όταν ένα γλυκερίδιο αναδεύεται με μεθοξείδιο νατρίου (ή άλλον αλκαλικό καταλύτη) σε θερμοκρασία περίπου 90 ° C, οι ρίζες λιπαρών οξέων αποσπώνται από τις αρχικές τους θέσεις και σχηματίζονται νέα γλυκερίδια με τυχαία κατανομή λιπαρών οξέων (Berger 2003).

2.5 ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΗ ΚΑΙ ΚΟΜΜΕΑ

2.5.1 Γενικά

Τα υδροκολλοειδή τροφίμων έχουν χρησιμοποιηθεί επί σειρά ετών σε συστήματα τροφίμων ως παχυντές, παράγοντες σχηματισμού γέλης, σταθεροποιητές, παράγοντες διογκώσεως και γαλακτωματοποιητές. Χρησιμοποιούνται σε μεγάλη ποικιλία τροφίμων, όπως ποτά (γαλακτωματοποιητές), είδη ζαχαροπλαστικής (παράγοντες επικάλυψης, υφή), προϊόντα με βάση το γάλα (σταθεροποιητές, πυκνωτικά) και αρτοσκευάσματα (Viebke et al., 2014).

Τα υδροκολλοειδή χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλά τρόφιμα για τη βελτίωση της ποιότητας και της διάρκειας ζωής. Είναι μία ετερογενής ομάδα πολυμερών μακράς αλυσίδας που χρησιμοποιούνται συνήθως για να περιγράψουν μια σειρά πολυσακχαριτών και πρωτεϊνών και χαρακτηρίζονται από την ικανότητά τους να σχηματίζουν γέλες, ιξώδη διαλύματα και να πυκνώνουν διαλύματα όταν διασκορπίζονται στο νερό. Η παρουσία ενός μεγάλου αριθμού ομάδων υδροξυλίων (-OH) αυξάνει σημαντικά τη συγγένεια των υδροκολλοειδών για τη δέσμευση των μορίων νερού καθιστώντας αυτά τα υδροκολλοειδή υδρόφιλες ενώσεις.

Τα κόμμεα είναι περίπλοκοι υδρόφιλοι υδατάνθρακες που αποτελούνται κυρίως από πολυσακχαρίτες μακράς αλυσίδας, ευθείες ή διακλαδισμένες που περιέχουν ομάδες -OH και επιτρέπουν στα μεγάλα μόρια να δεσμεύουν το νερό. Τα κόμμεα ομαδοποιούνται κυρίως με βάση τις πηγές τους και ταξινομούνται τόσο από τη δομή τους όσο και από τη λειτουργία τους. Η λειτουργικότητα των κόμμεων βασίζεται στις φυσικές τους ιδιότητες όπως είναι η πηκτωματοποίησης και η ικανότητα τους να σχηματίζουν τζελ. Αυτές οι δύο ιδιότητες τροποποιούν ή ελέγχουν τη ροή των υδατικών διαλυμάτων. Αυτές οι δύο ιδιότητες τροποποιούν ή ελέγχουν τη ροή των υδατικών διαλυμάτων. Τα κόμμεα προέρχονται κυρίως από φυτά και φυτικά προϊόντα. Άλλες πηγές από όπου προέρχονται τα κόμμεα είναι οι μικροοργανισμοί, τα ζώα, τα φύκια. Τα κόμμεα μπορεί να είναι ουδέτερα ή ανιονικά. Κάθε κόμμι εμφανίζει διαφορετικά χαρακτηριστικά με βάση τον τύπο και τον αριθμό των μονοσακχαριτών, τη διαμόρφωση και τον αριθμό και τη θέση των συνδεδεμένων ομάδων (Gyawali & Ibrahim, 2016)

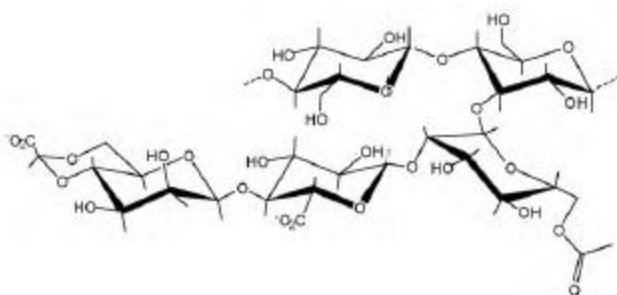
Τα υδροκολλοειδή που χρησιμοποιούνται συνήθως σε βιομηχανική κλίμακα είναι πολυάριθμα και παρουσιάζουν μεγάλο τεχνολογικό ενδιαφέρον. Συγκεκριμένα τα γνωστά πολυσακχαρίδια ξανθάνης και γαλακτομαννάνης (κόμμι γκουάρ, χαρουπιών κ.α.) παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της ικανότητας σταθεροποίησης τους και των συνεργιστικών ιδιοτήτων τους.

2.5.2 Ξανθάνη

Το κόμμι ξανθάνης όταν διασπαρθεί σε νερό παράγει γρήγορα ένα παχύρρευστο, σταθερό διάλυμα, ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Λόγω της ψευδοπλαστικότητας των κόμμεων, με τη προσθήκη ξανθάνης στα τρόφιμα αποκτούν ρευστότητα, καλή αίσθηση στο στόμα και την κατάλληλη πρόσφυση. Έτσι, η ξανθάνη θεωρείται ένα κατάλληλο πυκνωτικό μέσο και σταθεροποιητής σε πολλά τρόφιμα (Habibi et al., 2017)

2.5.2.1 Δομή

Η ξανθάνης είναι ένας ανιονικός ετεροπολυσακχαρίτης που παράγεται από τα βακτήρια *Xanthomonas campestris*. Η επαναλαμβανόμενη μονάδα του (μονομερές) είναι ένας πεντασακχαρίτης που αποτελείται από D-γλυκόζη, D-μαννόζη και D-γλυκουρονικό οξύ σε αναλογία 2:2:1. Η σύνδεση των μονομερών μεταξύ τους οδηγεί σε πολυμερές που αποτελείται από μία γραμμική αλυσίδα μορίων D-γλυκόζης συνδεδεμένες με β(1→4) γλυκοζιτικούς δεσμούς. Η κύρια αυτή αλυσίδα εμφανίζει διακλαδώσεις ανά δύο μόρια D-γλυκόζης που αποτελούνται από 6-ακετυλο-D-μαννόζη, D-γλυκουρονικό οξύ και 4,6-πυροσταφυλική-D-μαννόζη (Σχήμα 12). Η σχετική αναλογία των υποκαταστατών είναι ένα μόριο οξικού οξέος ανά μονομερές και ένα μόριο πυροσταφυλικού οξέος ανά τρία μονομερή. (Παπουτσοπούλου 1996). Παρόλα αυτά οι αναλογίες ποικίλουν αφού εξαρτώνται από το στέλεχος και της συνθήκες της καλλιέργειας. Συγκεκριμένα, το πυροσταφυλικό οξύ εμφανίζει αύξηση της συγκέντρωσης του καθώς αυξάνεται η οξυγόνωση ή με την άνοδο της θερμοκρασίας και η περιεκτικότητα του κυμαίνεται από 2,8 έως 14%, ενώ το οξικό 6,5-13% (Παπουτσοπούλου, 1996 & Gansbiller et al., 2019). Το μοριακό βάρος του πολυσακχαρίτη δεν είναι σταθερό αφού η αναλογία δεν παραμένει σταθερή και κυμαίνεται μεταξύ 2×10^6 με 5×10^7 Da (Παπουτσοπούλου, 1996).



Σχήμα 12: Επαναλαμβανόμενα μόρια ξανθάνης (Sandolo et al., 2010).

2.5.2.2 Επίδραση της θερμοκρασίας

Το ιξώδες των διαλυμάτων κόμμεων ξανθάνης συνήθως μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτή η συμπεριφορά συσχετίζεται με μεταβολές της διαμόρφωσης του μορίου ξανθάνης από μια διατεταγμένη σε μια διαταραγμένη κατάσταση. Η απώλεια ιξώδους είναι αναστρέψιμη και κατά την ψύξη το αρχικό υψηλό ιξώδες ανακτάται. Γι'αυτό το λόγο το κόμμι ξανθάνης είναι μοναδικό στην ικανότητά του να διατηρεί το ιξώδες του κατά τη διάρκεια αλλαγών θερμοκρασίας σε αντίθεση με άλλα κόμμεα .

2.5.2.3 Επίδραση του pH

Γενικά, το pH έχει μικρή επίδραση στο ιξώδες των διαλυμάτων κόμμεος ξανθάνης στην περιοχή pH που χρησιμοποιείται στα τρόφιμα. Σε pH 9 ή υψηλότερο, το κόμμι ξανθάνης αποακετυλιώνεται σταδιακά, ενώ σε pH χαμηλότερο από 3, χάνει τις ομάδες πυρουβικού οξέος – ακετυλίου.

2.5.2.4 Επίδραση των αλάτων

Οι συγκεντρώσεις αλάτων μεγαλύτερες από 1-2% (w/v) στο νερό μπορεί να επιβραδύνουν την ενυδάτωση της ξανθάνης και έτσι είναι απαραίτητο να ενυδατωθεί στο νερό πριν από την προσθήκη του αλάτος. Μετά την ενυδάτωση, η ξανθάνη έχει

πολύ καλή ανοχή σε άλατα και μπορεί να προστεθεί έως και 20-30% άλας χωρίς να επηρεάζεται αρνητικά το ιξώδες (Habibi et al., 2017).

2.5.3 Κόμμι Χαρουπιού

Το κόμμι των χαρουπιών είναι μια λευκή έως κρεμώδης λευκή σκόνη που λαμβάνεται μετά την άλεση του ενδοσπερμίου των σπόρων του χαρουπιού, που είναι μέλος της οικογένειας οσπρίων, βοτανικά γνωστής ως *Ceratonia siliqua* L. που ευδοκμεί στις μεσογειακές περιοχές.

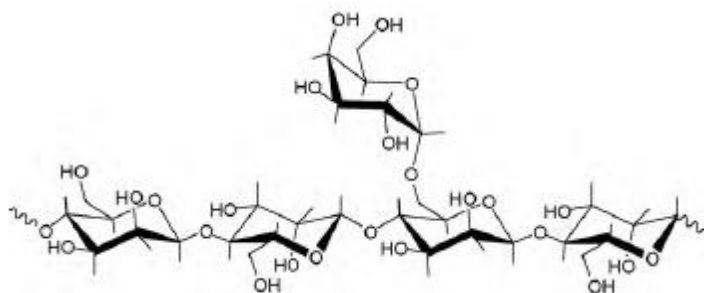
Ο σπόρος των χαρουπιών αποτελείται από τρία μέρη, τον φλοιό (30-33%), το ενδοσπέρμιο (42-46%) και το φύτρο (23-25%). Η κατεργασία του κόμμιος χαρουπιού αρχικά περιλαμβάνει την αφαίρεση του φλοιού από τους σπόρους. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω θερμομηχανικής ή χημικής επεξεργασίας. Μετά την αφαίρεση του εξωτερικού στρώματος, οι σπόροι διαιρούνται κατά μήκος και το βλαστικό τμήμα διαχωρίζεται από το ενδοσπέρμιο των σπόρων χαρουπιού. Περαιτέρω, τα απομονωμένα ενδοσπέρμια υποβάλλονται σε άλεση, κοσκίνιση, ταξινόμηση, συσκευασία και τελικά διατίθενται στο εμπόριο ως κόμμι χαρουπιών ή LBG (Barak et al., 2014).. Η τελική εμπορική σκόνη αποτελείται από 88% γαλακτομαννάνη, 5% πολυσακχαρίτες, 6% πρωτεΐνη και 1% τέφρα (Belitz et al., 2015)

Το κόμμι χαρουπιού αποτελείται από υψηλού μοριακού βάρους πολυσακχαρίτη, αποτελούμενο από μονάδες γαλακτόζης και μαννόζης σε συνδυασμό με γλυκοζιτικούς δεσμούς. Συγκριτικά με τις υπόλοιπες γαλακτομαννάνες (το κόμμι γκουάρ και το κόμμι τάρα), το κόμμι χαρουπιού έχει την μικρότερη περιεκτικότητα σε γαλακτόζη (περίπου 20%) και την υψηλότερη αναλογία μαννόζη προς γαλακτόζη (περίπου 3,5). Ο βαθμός υποκατάστασης γαλακτόζης στην αλυσίδα μαννόζης επηρεάζει την υδατοδιαλυτότητα της γαλακτομαννάνης. Αυτός είναι ο λόγος που το κόμμι γκουάρ είναι διαλυτό στο κρύο νερό ενώ το κόμμι χαρουπιού παρουσιάζει χαμηλή διαλυτότητα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Απαιτείται η εφαρμογή θερμικής επεξεργασίας ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη διαλυτότητα και να αυξηθεί η ικανότητα συγκράτησης νερού.

Το σημαντικό χαρακτηριστικό αυτού του κόμμιος είναι η ικανότητά του να σχηματίζει υδατικά διαλύματα με μεγάλο ιξώδες σε σχετικά χαμηλή συγκέντρωση, να σταθεροποιεί τα γαλακτώματα και να αντικαθιστά το λίπος σε πολλά τρόφιμα. Δεδομένου ότι είναι μη ιοντικά, τα διαλύματα χαρουπιών δεν επηρεάζονται από το pH, τα άλατα και τη θερμική επεξεργασία. Το κόμμι χαρουπιού μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλα υδροκολλοειδή όπως καρραγενάνη και κόμμι ξανθάνης καθώς παρουσιάζει συνεργιστική δράση και σχηματίζει πηκτώματα με περισσότερη ελαστικότητα και αντοχή. Συνήθως προστίθεται σε επαλειφόμενα τυριά καθώς προσδίδει καλύτερη δυνατότητα επάλειψης (Barak et al., 2014).

2.5.3.1 Δομή κόμμιος χαρουπιού

Ο κύριος πολυσακχαρίτης αποτελείται από μια γραμμική αλυσίδα β-D-μαννοπυρανοζυλικών μονάδων με 1→4 δεσμούς, συνδεδεμένων με α-D-γαλακτοπυρανοζυλικά μόρια με 1→6 δεσμούς, ως πλευρικές αλυσίδες. Η αναλογία μαννόζης/γαλακτόζης είναι 3/6, δηλαδή κάθε τέταρτο με πέμπτο μόριο μαννόζης υποκαθίσταται στη θέση C-6 με ένα όριο γαλακτόζης (**Σχήμα 13**). Το μοριακό βάρος της γαλακτομαννάνης είναι περίπου 310 kda.



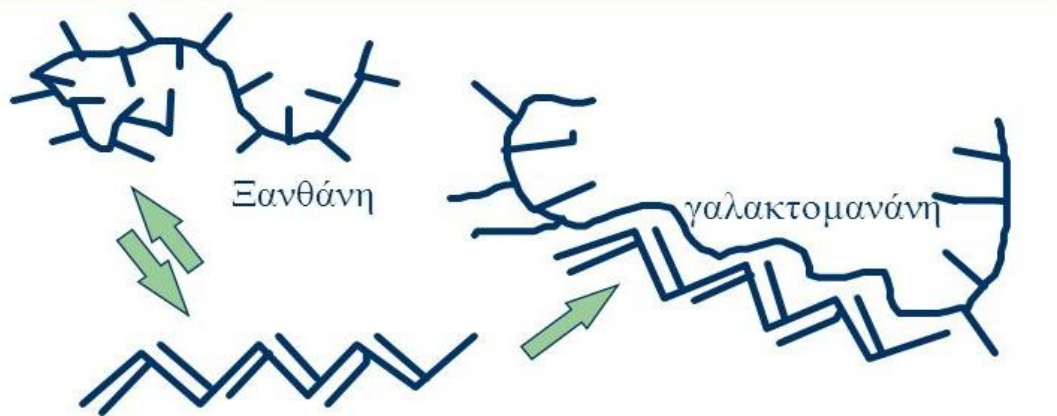
Σχήμα 13: Τμήμα μορίου κόμμεος χαρουπιού (Sandolo et al., 2010).

2.5.4 Συνέργεια κόμμεων ξανθάνης – χαρουπιού

Η δομή διακλάδωσης ξανθάνης και η άκαμπτη διαμόρφωσή της εξηγούν τις υψηλότερες ιδιότητες πάχυνσης αυτής σε σύγκριση με τους περισσότερους από τους άλλους κοινά διαθέσιμους πολυσακχαρίτες. Η κύρια αλυσίδα μιας γαλακτομαννάνης αποτελείται από μία κύρια αλυσίδα β-D-μαννόζης συνδεδεμένη με (1-4) γλυκοζυτικούς δεσμούς, η οποία μπορεί να υποκατασταθεί πλευρικές ομάδες α-D-γαλακτόζης (**Σχήμα 14**).

Η συνέργεια της ξανθάνης με τις γαλακτομαννάνες εξαρτάται από το βαθμό διακλάδωσης των γαλακτομαννανών. Σε γενικές γραμμές όσο λιγότερες είναι οι διακλαδώσεις γαλακτόζης που φέρουν, τόσο πιο έντονη η αλληλεπίδρασή τους με την ξανθάνη. Ο λόγος μαννόζης / γαλακτόζης στην περίπτωση του κόμμεος χαρουπιού είναι περίπου 3,5 και έτσι σχηματίζει πιο ισχυρούς δεσμούς με τη ξανθάνη από ότι το κόμμι γκουάρ, το οποίο έχει αναλογία μαννόζης/γαλακτόζης σχεδόν 2. Η πιο επικρατής εξήγηση είναι ότι τα μη διακλαδισμένα τμήματα είναι αυτά που εμπλέκονται στην αλληλεπίδραση σχηματίζοντας δεσμούς με το μόριο της ξανθάνης.

Όταν αναμιγνύονται και οι δύο πολυσακχαρίτες είναι πολύ γνωστό ότι αλληλεπιδρούν έντονα σε ένα υδατικό διάλυμα. Κατά συνέπεια, συμβαίνει μια έντονη αύξηση του ιξώδους ή ακόμα και σχηματισμού πηκτώματος. Μια τέτοια συνέργεια είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε βιομηχανική κλίμακα. Ο μηχανισμός που προτείνεται και εξηγεί την συνεργιστική δράση αναφέρεται σε ένα μοντέλο αλληλεπίδρασης κλειδαριάς-κλειδιού όπου οι πλευρικές αλυσίδες ξανθάνης εισάγονται στα γειτονικά, μη υποκατεστημένα τμήματα του κόμμεος χαρουπιού. Επίσης αναφέρεται πως οι αλληλεπιδράσεις αυτές συμβαίνουν μεταξύ των διαταραγμένων τμημάτων των μορίων της ξανθάνης και του χαρουπιού. Υποδεικνύεται ότι η μετουσίωση της ελικοειδούς δομής της ξανθάνης είναι απαραίτητη για την εμφάνιση της διαμοριακής συσχέτισης και συνεπώς της ζελατινοποίησης των δύο κόμμεων. Ουσιαστικά, η συνέργεια της ξανθάνης με τις γαλακτομαννάνες εξαρτάται από το βαθμό διακλάδωσης των γαλακτομαννανών. Συμπεραίνεται πως όσο λιγότερο υποκατεστημένη γαλακτομαννάνη, δηλαδή όσο λιγότερες είναι οι διακλαδώσεις γαλακτόζης που φέρουν, τόσο πιο έντονη η αλληλεπίδρασή τους με την ξανθάνη, εξηγώντας έτσι γιατί οι συνεργιστικές αλληλεπιδράσεις είναι πιο έντονες για το κόμμι χαρουπιού από ότι για το κόμμι γκουάρ. Σε γενικές γραμμές ο λόγος μαννόζης / γαλακτόζης στην περίπτωση του κόμμεος χαρουπιού είναι περίπου 3,5 και έτσι σχηματίζει πιο ισχυρούς δεσμούς με τη ξανθάνη από ότι το κόμμι γκουάρ, το οποίο έχει αναλογία μαννόζης/γαλακτόζης περίπου 1,5 (Grisel et al., 2015 & Schorsch et al., 1997).



Σχήμα 14: Απεικόνιση της αλληλεπίδρασης της ξανθίνης με μια γαλακτομανάνη.

2.6 ΓΑΛΑΚΤΙΚΟ ΟΞΥ

2.6.1 Γενικά

Το γαλακτικό οξύ είναι ένα από τα πρώτα οξέα που χρησιμοποιούνται στα τρόφιμα. Κατασκευάστηκε για πρώτη φορά πριν από 60 χρόνια, και μόνο μέσα στις τελευταίες δύο δεκαετίες έχει γίνει ένα σημαντικό συστατικό. Τα ήπια χαρακτηριστικά γεύσης του οξέος δεν καλύπτουν τις αδύναμες αρωματικές γεύσεις. Το γαλακτικό οξύ λειτουργεί σε μείωση pH, ενίσχυση γεύσης και μικροβιακή αναστολή. Δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται εμπορικά για την παραγωγή του οξέος: ζύμωση και χημική σύνθεση. Προϊόντα ζαχαροπλαστικής, αρτοσκευάσματα, μπύρα, κρασί, ποτά, γαλακτοκομικά προϊόντα, αποξηραμένα ασπράδια αυγών και προϊόντα με βάση το κρέας αποτελούν παραδείγματα των τύπων προϊόντων στα οποία χρησιμοποιείται γαλακτικό οξύ. Στην παραγωγή τυριού, προστίθεται για να ρυθμίζει το pH αλλά και ως αρωματικός παράγοντας (Dziezak, 2003). Το γαλακτικό οξύ υπάρχει σε πολλά τρόφιμα τόσο φυσικά όσο και ως προϊόν της ζύμωσης, όπως στο ξινολάχανο, στην γιαούρτη και σε πολλά άλλα τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση. Το γαλακτικό οξύ είναι επίσης ένα κύριο μεταβολικό ενδιάμεσο στους περισσότερους ζωντανούς οργανισμούς. Το γαλακτικό οξύ που χρησιμοποιείται ως πρόσθετο τροφίμων μπορεί να ληφθεί είτε με ζύμωση υδατανθράκων είτε με χημική διαδικασία που περιλαμβάνει σχηματισμό λακτονιτριλίου από ακεταλδεΐδη και κυανιούχο υδρογόνο και μετέπειτα υδρόλυση. Το συνθετικό γαλακτικό οξύ είναι απαλλαγμένο από τους μολυντές που απαντώνται κανονικά στο προϊόν το οποίο λαμβάνεται με ζύμωση και έτσι είναι εντελώς άχρωμο και πιθανών πιο σταθερό. Το γαλακτικό οξύ και τα άλατά του είναι εξαιρετικά υγροσκοπικά και συνεπώς συνήθως διακινούνται σε συμπυκνωμένα διαλύματα (60-80% κατά βάρος) παρά σε στερεά μορφή. Αυτά τα διαλύματα είναι άχρωμα και άοσμο και έχουν ήπια γεύση αλατόνευρου (Ramis-Ramos, 2003)

2.6.2 Τύποι γαλακτικού οξέος

Το γαλακτικό οξύ είναι το πρώτο συνθετικό οξύ που χρησιμοποιεί μικροοργανισμούς. Υπάρχουν δύο τύποι ζυμώσεων γαλακτικού οξέος:

- 1) Ομοιοπαθητική ζύμωση: Η ζύμωση διεξάγεται από τους μικροοργανισμούς όπως *Lactobacillus bulgaricus*, *L. plantarum*, *Lactobacillus delbrueckii* και *Streptococcus* sp., Και αυτά τα βακτήρια καλούνται συλλογικά ως βακτήρια γαλακτικού οξέος. Αυτοί οι μικροοργανισμοί μετατρέπουν σχεδόν όλα τα σάκχαρα (εξόζες) σε γαλακτικό οξύ με απόδοση 93% -95%
- 2) Ετεροθεωρητική ζύμωση: Αυτό γίνεται από τον μικροοργανισμό όπως ο *Leuconostoc mesenteroides*. Ονομάζεται έτσι επειδή παράγει επίσης αλκοόλ και διοξείδιο του άνθρακα (Bhowmik & Patil 2018).

Παράγοντες που συμβάλλουν στη μικροβιακή αναστολή από βακτήρια γαλακτικού οξέος:

- Χαμηλό pH
- Οργανικά οξέα
- Βακτηριοκίνες
- υπεροξείδιο του υδρογόνου
- αιθανόλη
- διακετύλιο

- εξάντληση θρεπτικών ουσιών
- χαμηλό δυναμικό οξειδοαναγωγής (Adams & Moss, 2000).

3. ΣΚΟΠΟΣ

Με αφορμή την όλο και αυξανόμενη τάση του καταναλωτικού κοινού να στρέφεται στην κατανάλωση αναπληρωμάτων τυριού, η βιομηχανία τροφίμων επιδιώκει την έρευνα και ανάπτυξη νέων προϊόντων τέτοιου είδους που ικανοποιούν τις γευστικές προτιμήσεις των καταναλωτών. Η αυξανόμενη τάση των προϊόντων αυτών οφείλεται στο γεγονός ότι προσφέρουν τη δυνατότητα υγιεινής διατροφής καθώς περιέχουν λιγότερο λίπος, χοληστερόλη και θερμίδες και επιπλέον είναι οικονομικότερα λόγω της φθηνότερης πρώτης ύλης, δηλαδή των φυτικών προϊόντων έναντι των γαλακτοκομικών συστατικών.

Ο σκοπός της πειραματικής μελέτης που διεξήχθη ήταν να μελετήσει την συνεργιστική δράση δύο σταθεροποιητών, του κόμμεος ξανθάνης και του κόμμεος χαρουπιού σε επαλειφόμενα αναπληρώματα τυριών από πρωτεΐνη ορού και φοινικέλαιο. Η δράση αυτή μελετήθηκε με βάση τις φυσικοχημικές, μηχανικές και ρεολογικές ιδιότητες του προϊόντος. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες που εξετάστηκαν ήταν το pH, το χρώμα και το μέγεθος των λιποσφαιρίων, ενώ για τη μελέτη των μηχανικών και ρεολογικών ιδιοτήτων εφαρμόστηκαν οι δοκιμές της ανάλυσης προφίλ υψής και της λιπαινόμενης συμπιεστής ροής, αντίστοιχα. Οι μετρήσεις όλες έγιναν σε θερμοκρασία ψύξης (4°C), δηλαδή στη θερμοκρασία που καταναλώνονται τα τυριά όταν εξαχθούν από τη συντήρηση.

4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Το πειραματικό μέρος της παρούσας μελέτης εκπονήθηκε στο εργαστήριο Ελέγχου & Διασφάλισης Ποιότητας Τροφίμων του Α.Τ.Ε.Ι.Θ. Για την παρασκευή των επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού χρησιμοποιήθηκαν πρωτεΐνη ορού γάλακτος, φοινικέλαιο, νερό, ξανθάνη, κόμμα χαρουπιού, γαλακτικό οξύ και μαγειρικό αλάτι. Ουσιαστικά παρασκευάστηκαν έντεκα δείγματα στα οποία όλες οι αναλογίες των συστατικών παρέμεναν ίδιες και μεταβάλλονταν οι αναλογίες του κάθε σταθεροποιητή στο συνολικό ποσοστό που κατείχαν στο τελικό μίγμα.

Πίνακας 9: Ποσοστά των υλικών για την παρασκευή επαλειφόμενων τυριών.

Υλικό	Ποσοστό (%)
Νερό	58,2
Φοινικέλαιο	25
Πρωτεΐνη ορού	14
Σταθεροποιητές	0,8
Γαλακτικό οξύ	1
Αλάτι	1

Τα ποσοστά αυτά επιλέχθηκαν με βάση προκαταρκτικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν. Το ποσοστό της πρωτεΐνης ορού σε χαμηλότερα επίπεδα δεν προσέδιναν στο τυρί την κατάλληλη σκληρότητα με αποτέλεσμα να είναι αρκετά ρευστό ώστε να πάρει την μορφή των καλουπιών στα οποία τελικά τοποθετήθηκε.

Έπειτα από οργανοληπτικές δοκιμές παρατηρήθηκε πως οι σταθεροποιητές σε ποσοστό τουλάχιστον 1% άφηναν μια μη αποδεκτή επίγευση στο επαλειφόμενο τυρί. Συνεπώς αυτό αποτέλεσε έναν περιορισμό στην προσθήκη σταθεροποιητών.

Το γαλακτικό οξύ και το αλάτι προστέθηκαν σε ποσοστά 1% το καθένα αφού ήταν οργανοληπτικά αποδεκτά.

Τέλος, η προσθήκη φοινικέλαιου έγινε από την αρχή των προκαταρκτικών δοκιμών με παραδοχή και το ποσοστό παρέμεινε σταθερό λόγω μεγάλης έλλειψης υλικών που δεν μας επέτρεψε τη διερεύνηση μια ιδανικότερης σύστασης.

4.1.1 Περιγραφή προετοιμασίας δειγμάτων και του ομογενοποιητή – παστεριωτή Stephan.

Τα υλικά των αναπληρωμάτων επαλειφόμενων τυριών αρχικά ζυγίζονταν σε αναλυτικό ζυγό. Οι πρωτεΐνες ορού, οι σταθεροποιητές και το αλάτι, δηλαδή τα υλικά σε μορφή σκόνης, αναδεύονταν για μια πιο ομοιόμορφη κατανομή των σωματιδίων. Παρατηρήθηκε πως χωρίς την ανάδευση κυρίως της πρωτεΐνης ορού με τους σταθεροποιητές, υπήρχαν σβώλοι στο τελικό προϊόν. Έπειτα όλα τα υλικά, αφού είχαν ζυγιστεί, τοποθετούνταν στον εργαστηριακό ομογενοποιητή Stephan Universal Machine UMC 5 (Σχήμα 15 & Σχήμα 16).

Συγκεκριμένα, αρχικά τοποθετούνταν ο κάδος ανάμιξης στη βάση της συσκευής, έπειτα ακολουθούσε το μαχαίρι, το οποίο συνδέεται με τον κινητήρα, ο

που επιτυγχάνει ταχύτητες ανάμιξης από 300 έως 3000 rpm. Ο κάδος αυτός διαθέτει διπλά τοιχώματα, ανάμεσα στα οποία κυκλοφορεί νερό το οποίο τροφοδοτείται από υδατόλουτρο με κυκλοφορητή. Η σύνδεση του κάδου με υδατόλουτρο καθιστά εύκολη την αυξομείωση της θερμοκρασίας του προϊόντος, η οποία μπορεί να κυμανθεί από 0 έως 95 °C.

Τέλος όλα τα υλικά έμπαιναν μαζί στον κάδο ανάμιξης. Το καπάκι τοποθετούνταν στη θέση του και έκλεινε ερμητικά. Σε αυτό βρίσκεται ενσωματωμένος ένας χειροκίνητος αναδευτήρας από πολυαμίδιο, ο οποίος χρησιμεύει για την αποκόλληση προϊόντος από τα τοιχώματα του κάδου, ώστε να αποφεύγεται η θερμική καταπόνησή του μίγματος. Μετά το αεροστεγές κλείσιμο, ελέγχονταν και έκλειναν οι δυο του βαλβίδες, δημιουργίας κενού και εκτόνωσης κενού, και συνδεόταν το θερμοζεύγος το οποίο υποδείκνυε την θερμοκρασία του νερού που κυκλοφορούσε μεταξύ των δύο τοιχωμάτων του κάδου ανάμιξης. Η συσκευή θέτονταν σε λειτουργία αφού ρυθμιζόταν ο χρόνος της ομογενοποίησης και η ταχύτητα ανάδευσης. Κατά το πρώτο λεπτό της διαδικασίας, η ταχύτητα ανάδευσης είναι χαμηλή, 300 rpm. Μετά το πέρας του πρώτου λεπτού, αναπτύσσονταν κενό εσωτερικά του κάδου και οι στροφές της συσκευής ανέρχονταν στις 1000. Η ομογενοποίηση διαρκούσε 40 λεπτά. Μετά το πέρας του χρόνου η ομογενοποίηση σταματούσε, ανοίγονταν η βαλβίδα εκτόνωσης του κενού, αφαιρούνταν το καπάκι του κάδου, το θερμοζεύγος καθώς και τα λάστιχα ανακυκλοφορίας του νερού από το υδατόλουτρο. Ο κάδος απομακρυνόταν τελευταίος από τη συσκευή.

Το έτοιμο ρευστό πλέον μίγμα τοποθετούνταν σε δύο ειδών καλούπια. Τα πρώτα ήταν μεταλλικοί δακτύλιοι διαστάσεων 22x22, στα οποία το τοποθετούμενο δείγμα προοριζόταν για την ανάλυση κατατομής της υφής τους (TPA). Τα δεύτερα καλούπια ήταν από τεφλόν, είχαν κυκλικό σχήμα με ύψος 5mm και διάμετρο 50mm και τα τοποθετούμενα δείγματα προορίζονταν για την δοκιμή λιπαινόμενης συμπιεστής ροής. Τα καλούπια, πριν την εισαγωγή του δείγματος, επαλείφονταν με ηλιέλαιο ώστε να γίνει ευκολότερη η εξαγωγή του δείγματος. Έπειτα τυλίγονταν με μια μεμβράνη ώστε να περιοριστεί η επαφή με τον αέρα και να αποφευχθεί η αφυδάτωση των επιφανειών των δειγμάτων. Τα δείγματα τοποθετούνταν σε θερμοκρασία ψύξης (4°C) για τρεις ημέρες πριν πραγματοποιηθούν οι αντίστοιχες μετρήσεις. Η υπόλοιπη ποσότητα των δειγμάτων αποθηκευόταν σε βάζα που έκλειναν ερμητικά και λόγω της υψηλής θερμοκρασίας των μιγμάτων δημιουργούνταν κενό. Τα βάζα αυτά αποθηκεύτηκαν επίσης σε συνθήκες ψύξης μέχρι να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις για τις οποίες προορίζονταν.



Σχήμα 15 : Συσκευή ομογενοποίησης Stephan Universal Machine UMC 5. (<https://stephan-machinery.com/ww-en/home/>).



Σχήμα 16 : Κάδος ανάδευσης και μαχαίρι συσκευής Stephan Universal Machine UMC 5 (<https://stephan-machinery.com/ww-en/home/>).

Τα δείγματα που παρασκευάστηκαν ήταν 11 με σταθερά ποσοστά υλικών που αναγράφονται στον **Πίνακα 9** με την μόνη διαφορά να είναι στις αναλογίες των σταθεροποιητών. Οι αναλογίες που δοκιμάστηκαν αναγράφονται στον **Πίνακα 10**.

Πίνακας 10: Αναλογίες των σταθεροποιητών σε κάθε δείγμα.

Δείγματα	Κόμμα ξανθάνης	Κόμμα χαρουπιού
Δ1	100%	0%
Δ2	90%	10%
Δ3	80%	20%
Δ4	70%	30%
Δ5	60%	40%
Δ6	50%	50%
Δ7	40%	60%
Δ8	30%	70%
Δ9	20%	80%
Δ10	10%	90%
Δ11	0%	100%

4.2 ΡΕΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΑΝΑΚΑΤΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΕΠΑΛΕΙΦΟΜΕΝΩΝ ΤΥΡΙΩΝ

4.2.1 Αναλυτής υφής

Ο αναλυτής υφής TA-XT Plus Universal Texture Analyser (**Σχήμα 17**) ανήκει στις συσκευές αξιολόγησης της υφής τροφίμων και μελέτης των ρεολογικών και μηχανικών ιδιοτήτων τους. Περιλαμβάνει κεφαλές φόρτισης, οι οποίες αποθηκεύουν τη βαθμονόμηση και τις πληροφορίες και συνδέεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή, κάνοντας την χρήση του ακόμα πιο εύκολη. Διαθέτει τέσσερα εξωτερικά κανάλια RS485 που χρησιμοποιούν ένα τυποποιημένο πρωτόκολλο βιομηχανίας MODBUS. Κάθε κανάλι καταγράφει ένα δείγμα ανά δέκα δευτερόλεπτα σε 16 μπιτ και είναι κατάλληλο για την αντίληψη της εξωτερικής θερμοκρασίας, υγρασίας κλπ. Επίσης, περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα τυποποιημένων προγραμμάτων ανάλυσης υφής, συμπεριλαμβανομένων των δοκιμών τάσης-παραμόρφωσης, ημιτονοειδών δοκιμών, ανάλυσης προφίλ υφής (TPA), κύκλων κόπωσης και τάσης-χαλάρωσης (Ταχματζίδου, 2015). Ακολουθεί συγκεκριμένες προδιαγραφές που αναγράφονται παρακάτω στον **Πίνακα 11**.



Σχήμα 17: Συσκευή TA-XT Plus Universal Texture Analyser (<http://www.masontechnology.ie>).

Πίνακας 11: Προδιαγραφές Texture Analyser (Ταχματζίδου, 2015).

A/A	Προδιαγραφές	Τιμές
1	Ανώτατη δύναμη	30 kg
2	Ευαισθησία Δύναμης	1,0 g
3	Εύρος ταχυτήτων	0,01-40 mm/s
	Μέγιστη ταχύτητα	20 mm/s στην κεφαλή των 30 kg
4	Ακρίβεια ταχύτητας	>0,1%
5	Ρύθμιση θέσης	0,001295mm
6	Διακριτότητα θέσης	0,001m
7	Ταχύτητα λήψης δεδομένων	μέχρι 500 σημεία ανά δευτερόλεπτο για κάθε κανάλι στοιχείων
8	Σύνδεση με Η/Υ	μέσω θύρας RS232 115200 BAUD
9	Θερμοκρασία λειτουργίας	0-40 °C
10	Γενικές διαστάσεις	665 mm ύψος×440 mm βάθος×280 mm πλάτος
11	Βάρος	16,2kg

4.2.2 .Δοκιμή TPA: Texture Profile Analysis

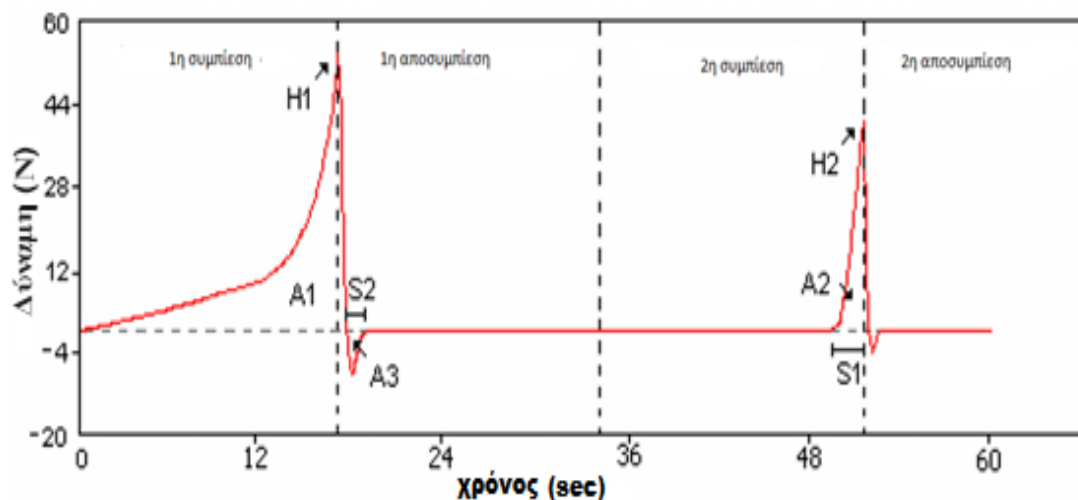
Ο αναλυτής υφής TA-XT Plus Universal Texture Analyser (Ανάλυση Προφίλ Υφής) χρησιμοποιείται για να ληφθούν καμπύλες δύναμης – χρόνου. Για να προκύψουν αυτές, η διαδικασία είναι η ακόλουθη. Τα δείγματα τοποθετούνται σε ειδικά ανοξείδωτα κυλινδρικά καλούπια διαμέτρου 2,2cm και ύψους 2,2cm αμέσως μετά την παρασκευή τους. Οι δοκιμές πραγματοποιούνται σε θερμοκρασία 4° C, δηλαδή αμέσως μετά την έξοδο των δειγμάτων από την ψύξη, δύο ημέρες από την παρασκευή τους. Τα δείγματα εξάγονται πολύ προσεκτικά από το καλούπι ώστε να

μη διαταραχθεί η δομή του προϊόντος. Αρχικά αποξέεται η επιφάνεια τους για να γίνει λεία και έπειτα αφαιρούνται οι δακτύλιοι προσεκτικά. Κατά αυτόν τον τρόπο τα προς συμπίεση δείγματα διατηρούν το κυλινδρικό τους σχήμα. Έπειτα τα δείγματα τοποθετούνται ανάμεσα στις δύο πλάκες απ' τις οποίες η άνω μόνο πλάκα είναι κινητή. Αυτή έχει διάμετρο 7,5 cm και κατέρχεται μέχρι να συναντήσει το δοκίμιο. Από εκείνο το σημείο αρχίζει η μέτρηση μέχρις ότου το δείγμα συμπιεστεί στο 80% του αρχικού του ύψους. Στη συνέχεια, η άνω πλάκα επανέρχεται στο αρχικό ύψος και επαναλαμβάνεται η συμπίεση στην ίδια παραμόρφωση. Η δοκιμή δηλαδή αποτελείται από δύο διαδοχικούς και όμοιους κύκλους συμπίεσης-αποσυμπίεσης, ως προσομοίωση της μάζησης (<http://www.masontechnology.ie>).

Η ταχύτητα κίνησης της πλάκας έχει οριστεί για το πείραμά μας να είναι 20 mm/min ή 0,00033 m/s. Καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμής, το ηλεκτρονικό καταγραφικό του οργάνου κατέγραφε τη στιγμιαία δύναμη. Για το κάθε υπό ανάλυση δείγμα πραγματοποιήθηκαν έξι επαναλήψεις.

4.2.3 Υπολογισμός μηχανικών παραμέτρων TPA

Ο υπολογισμός των ρεολογικών παραμέτρων γίνεται με βάση τη μορφή της καμπύλης δύναμης – χρόνου που προκύπτει κατά τη δοκιμή συμπίεσης για το εκάστοτε δοκίμιο. Η μορφή της καμπύλης αυτής παρατίθεται στο **Σχήμα 18**.



Σχήμα 18: Καμπύλη δύναμης – χρόνου που προκύπτει κατά τη δοκιμή TPA (<http://www.masontechnology.ie>).

Οι μηχανικές παράμετροι που εξετάζονται κατά τη μέθοδο TPA είναι:

- **H1 (N):** Σκληρότητα 1. Αντιπροσωπεύει την τιμή της δύναμης που ασκείται στο δείγμα όταν έχει ολοκληρωθεί η πρώτη συμπίεση σε αυτό, δηλαδή όταν το δείγμα έχει παραμορφωθεί κατά το 80% .
- **H2 (N):** Σκληρότητα 2. Αντιπροσωπεύει την τιμή της δύναμης που ασκείται στο δείγμα όταν έχει ολοκληρωθεί η δεύτερη συμπίεση σε αυτό.
- **A1 (J):** Έργο συμπίεσης 1. Είναι η ενέργεια που απαιτείται κατά την πρώτη συμπίεση, μέχρι να παραμορφωθεί το δείγμα κατά 80%.
- **A2 (J):** Έργο συμπίεσης 2. Είναι η ενέργεια που απαιτείται κατά τη δεύτερη συμπίεση του δείγματος.
- **A3 (J):** Συγκολλητικότητα. Είναι η ενέργεια που απαιτείται για την αποκόλληση του δείγματος από την πλάκα κατά την πρώτη αποσυμπίεση. Έχει πάντα αρνητικές τιμές.

- **C**: Συνεκτικότητα. Αντιπροσωπεύει τη συνοχή των δομικών συστατικών. Δείχνει πόσο ισχυροί είναι οι εσωτερικοί δεσμοί. Προκύπτει από το λόγο A_2/A_1 .
- **S1 (mm)**: ελαστικότητα. Είναι το ύψος που επανακτά το δοκίμιο μετά την πρώτη συμπίεση. Μετράται κατά τη δεύτερη συμπίεση.
- **S2 (mm)**: εκτατότητα. Είναι η επιμήκυνση του δείγματος μέχρι αυτό να αποκολληθεί από την πλάκα κατά την πρώτη αποσυμπίεση.
- **E (Pa)**: Μέτρο ελαστικότητας ή μέτρο του Young: $E = \sigma/\epsilon$, όπου $\sigma = F/A$. Οι παράμετροι σ , F , A και ϵ είναι η τάση συμπίεσης, η δύναμη συμπίεσης, η επιφάνεια συμπίεσης και η παραμόρφωση, αντίστοιχα. Πρέπει $\epsilon \leq 10\%$.
- **B (N)**: Ευθραυστότητα. Αντιπροσωπεύει την τιμή της δύναμης που ασκείται στο δείγμα κατά την εμφάνιση της θραύσης της δομής του σε σχέση με το χρόνο.
- **G (N)**: Κομμιώδης υφή. Αντιστοιχεί στην ενέργεια που απαιτείται στο στόμα ώστε ημίρρευστη τροφή να μετατραπεί σε βλωμό έτοιμο για κατάποση. Προκύπτει από το γινόμενο της σκληρότητας l επί τη συνεκτικότητα.
- **K (mJ)**: Μασητικότητα. Αντιστοιχεί στην ενέργεια μάσησης που απαιτείται στο στόμα ώστε στερεά τροφή να μετατραπεί σε ημίρρευστη. Προκύπτει από το γινόμενο της κομμιώδους υφής επί την ελαστικότητα (Ταχματζίδου, 2015)

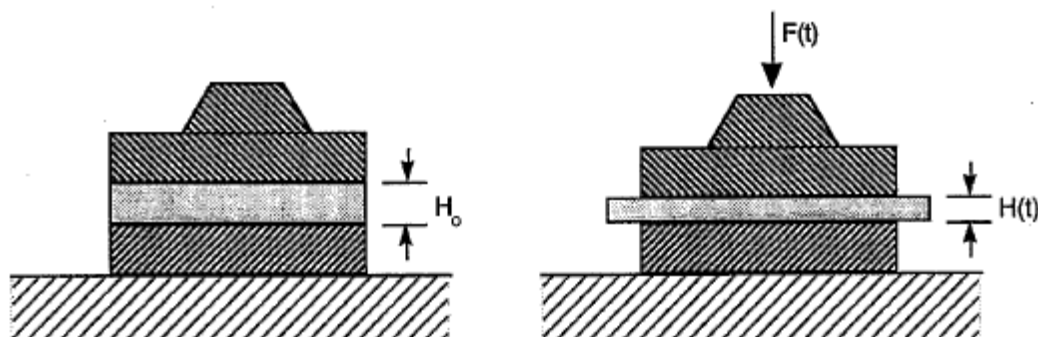
4.2.4 Δοκιμή Λιπαινόμενης συμπιεστής ροής (Squeeze flow)

Η δοκιμή της λιπαινόμενης συμπιεστής ροής βασίζεται στη συμπίεση ενός δείγματος μεταξύ δύο παράλληλων πλακών. Μπορούν να ταξινομηθούν σε δοκιμές σταθερής επιφάνειας ή σταθερού όγκου δείγματος ή εναλλακτικά, σε εκείνες που βασίζονται σε σταθερό φορτίο ή σταθερό ποσοστό παραμόρφωσης (Shukla et al., 1995). Οι συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι οι εξής:

- Ταχύτητα κεφαλής: 0,00033 m/s
- Παραμόρφωση: 70%
- Χρόνος παραμονής: 3min σε παραμόρφωση 70%.

Στο **Σχήμα 19** απεικονίζεται πώς γίνεται η συμπίεση ενός δείγματος με σταθερή επαφή μεταξύ αυτού και των δύο παράλληλων πλακών.

*Η πειραματική διαδικασία συνήθως εκτελείται σε επίπεδα παραμόρφωσης 80%. Λόγω της μεγάλης σκληρότητας κάποιων δειγμάτων, η μέγιστη δύναμη που μπορούσε να δώσει η συσκευή TA-XT Plus Universal Texture Analyser ξεπερνούσαν και δεν μπορούσε να μετρηθεί η ακριβής δύναμη που ασκούσαν.



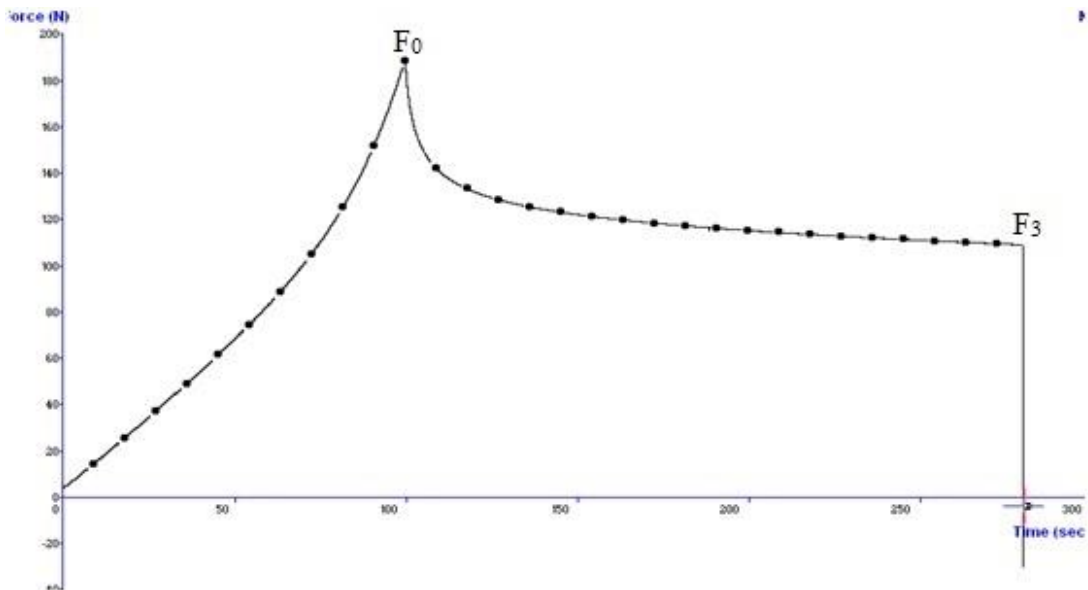
Σχήμα 19: Σχηματική απεικόνιση ενός τέλει αισθητήρα συμπιεστής ροής (Hoffner et al., 1997).

Το καθεστώς ροής προσδιορίζεται από το εάν οι πλάκες λιπαίνονται για να εξαλειφθεί η τριβή ή δεν λιπαίνονται για να προκαλέσουν διάτμηση. Και στις δύο περιπτώσεις, όταν οι δοκιμές εκτελούνται με σταθερό ρυθμό μετατόπισης, η πηγή πληροφοριών είναι η σχέση δύναμης προς ύψος. Όταν οι δοκιμές εκτελούνται υπό σταθερό φορτίο ή τάση (ερπυσμός), είναι η σχέση ύψους - χρόνου που παρέχει τις πληροφορίες. Για να είναι έγκυρες οι μετρήσεις ροής συμπίεσης, ο λόγος ακτίνας προς ύψος πρέπει να είναι μεγαλύτερος από περίπου 10. Οι κύριες διαφορές μεταξύ της λιπαινόμενης και της μη λιπαινόμενης ροής είναι το συνολικό μέγεθος των παραγόμενων δυνάμεων και η φύση της εξάρτησης τους από το ύψος του δείγματος (Hoffner et al., 1997; Estellé et al., 2006).

4.2.5 Διαδικασία λιπαινόμενης συμπίεσής ροής

Η διαδικασία που τηρήθηκε κατά τη δοκιμή αυτή είναι η ακόλουθη. Μετά την τήξη και παστερίωση των δειγμάτων, ακολουθεί πλήρωση των δακτυλίων (καλούπια) από τεφλόν, ύψους 1 cm και διαμέτρου 100 cm με την κατάλληλη ποσότητα δείγματος πάνω σε γυάλινες βάσεις, οι οποίες έχουν καλυφθεί επαρκώς με παραφινέλαιο. Οι δίσκοι από τεφλόν είχαν αλειφθεί και αυτοί με ηλιέλαιο πριν την πλήρωσή τους. Στα δείγματα μέσα στους δακτυλίους εφαρμοζόταν ελαφρά πίεση ώστε να καλυφθούν όλα τα κενά και να αποφευχθούν θύλακες αέρα. Πριν γίνει η μέτρηση γινόταν επάλειψη με ηλιέλαιο της επιφάνειας των δακτυλίων που ήταν ακάλυπτη. Με προσεκτικές κινήσεις αφαιρούνταν ο δακτύλιος από τεφλόν από τα δείγματα έτσι ώστε να μη διαταραχθεί η δομή και το σχήμα που είχαν πάρει τα δείγματα πάνω στη γυάλινη πλάκα. Με τον τρόπο αυτό τα δείγματα διατηρούσαν το κυκλικό τους σχήμα και ομοιόμορφο ύψος 10 mm. Επάλειψη με ηλιέλαιο γινόταν και στην πλάκα που ήταν προσαρμοσμένη στην κεφαλή του οργάνου πριν την έναρξη της κάθε δοκιμής. Η παρεμβολή λιπαντικού υλικού μεταξύ του δείγματος και των πλακών έχει ως σκοπό την επίτευξη καλύτερης ολίσθησης και ομοιόμορφης παραμόρφωσης του υπό ανάλυση υλικού.

Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του αναλυτή υφής στην δοκιμή της λιπαινόμενης συμπίεσής ροής, στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή καταγράφεται ένα γράφημα, που αναπαριστά την καμπύλη δύναμης - χρόνου (**Σχήμα 20**). Στο τέλος της συμπίεσης, όπου αντιστοιχεί η μέγιστη παραμόρφωση (70%), η δύναμη ονομάζεται δύναμη συμπίεσης (F_0). Επίσης, μετά από 3 min χαλάρωσης σε σταθερή παραμόρφωση (70%), προκύπτει η δύναμη χαλάρωσης (F_3). Για κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις.



Σχήμα 20: Καμπύλη δύναμης – χρόνου που προκύπτει κατά τη δοκιμή Squeeze flow.

4.3 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

4.3.1. Διαδικασία Μέτρησης pH

Η μέτρηση του pH των τυριών έγινε με τη βοήθεια φορητού πεχαμέτρου, μοντέλο HI 8424 NEW (Hannah Instruments) (**Σχήμα 20**), το οποίο είναι συνδεδεμένο με ηλεκτρόδιο βύθισης στη μάζα, μοντέλο HI 1230B (Hannah Instruments). Αρχικά ρυθμίζεται (καλιμπράρεται) το όργανο με τη βοήθεια δύο ρυθμιστικών διαλυμάτων με pH 7 και 4. Έπειτα, αφού το δείγμα έχει αφεθεί εκτός ψυγείου κι έχει φτάσει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, πραγματοποιείται η μέτρηση του pH με βύθιση του ηλεκτροδίου του στη μάζα του προϊόντος. Μετά από μερικά δευτερόλεπτα σταθεροποίησης, λαμβάνεται η ένδειξη του πεχαμέτρου. Να σημειωθεί ότι μετά από κάθε εμφάνιση σε οποιοδήποτε διάλυμα, γίνεται έκπλυση του ηλεκτροδίου με αποσταγμένο νερό και καθαρισμός με μαλακό απορροφητικό χαρτί. Μόλις ολοκληρωθούν όλες οι μετρήσεις pH για όλα τα δείγματα τυριών, καθαρίζεται το ηλεκτρόδιο και τοποθετείται σε διάλυμα KCl (www.hannacan.com).



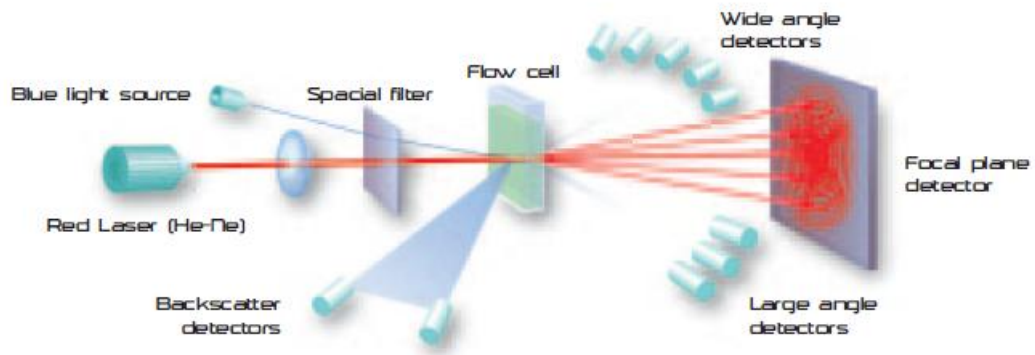
Σχήμα 20: Πεχάμετρο (www.mednutrition.gr).

4.3.2 Μέτρηση μεγέθους λιποσφαιρίων

4.3.2.1 Αρχή λειτουργίας του Mastersizer 2000

Το Mastersizer 2000 είναι μια πρακτική, αξιόπιστη λύση στις καθημερινές ανάγκες μεγέθους σωματιδίων της βιομηχανίας. Λειτουργούμενες από τις τυπικές διαδικασίες λειτουργίας (SOP), το σύστημα έχει ορίσει αυστηρά πρότυπα στο μέγεθος σωματιδίων διάθλασης λέιζερ.

Το Mastersizer 2000 ενσωματώνει μεγάλη εμπειρία. Έρχεται επίσης με τη διαβεβαίωση της μακράς ιστορίας του Malvern στο μέγεθος των σωματιδίων και της ισχυρής εταιρείας κουλτούρα καινοτομίας που βασίζεται στον πελάτη. Η αρχή λειτουργίας του οργάνου αυτού βασίζεται στην σκέδαση του φωτός όταν ακτίνες laser διέρχονται μέσα από τα σωματίδια. Η γωνία εκτροπής εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων και συγκεκριμένα όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος τόσο λογαριθμικά μικρότερη είναι η γωνία και αντίστροφα. Η ένταση της σκέδασης εξαρτάται επίσης από το μέγεθος των σωματιδίων, σε σχέση με τα σωματίδια εγκάρσιας διατομής. Τα μεγάλα σωματίδια λοιπόν έχουν την ικανότητα να σκεδάζουν το φως σε μικρές γωνίες με υψηλή ένταση, ενώ τα μικρά σε οπτικές γωνίες αλλά με χαμηλή ένταση. Το υλικό που πρόκειται να εξετασθεί τοποθετείται σε μια ειδική κυβελίδα και ακτινοβολείται από διπλή δέσμη φωτός, μιας χαμηλής συχνότητας και μιας υψηλότερης συχνότητας ώστε να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια. Οι δέσμες φωτός, εστιάζονται, φιλτράρονται και στη συνέχεια προσπίπτουν πάνω στα σωματίδια του υλικού και σκεδάζονται σε γωνίες αντιστρόφως ανάλογες του μεγέθους των σωματιδίων. Αυτές ανιχνεύονται με κατάλληλους φωτοευαίσθητους ανιχνευτές προκειμένου να υπάρξει ανάλυση σε μεγάλο εύρος μεγεθών και τελικά συσσωρεύονται σε 100 μέρη διαφορετικής κλάσης μεγέθους. Έτσι γνωρίζοντας τη γωνία σκέδασης του οργάνου και με γνωστούς τους δείκτες διάθλασης του μέσου διασποράς και των διεσπαρμένων σωματιδίων μπορεί να προσδιορίσει με ακρίβεια, ταχύτητα και αξιοπιστία το μέγεθος σωματιδίων διαμέτρου από 0,02 μm έως 2000 μm και με βάση τη θεωρία του Mie να καθορίσει το επί τις εκατό ποσοστό κατ' όγκο των σωματιδίων που ανήκουν σε καθεμία από τις κλάσεις μεγέθους. Από τη στιγμή που η συσκευή βασίζεται σε βασικές αρχές δεν χρειάζεται βαθμονόμηση και μπορεί πολύ εύκολα να ελεγχθεί ως προς την αξιοπιστία του. Το όργανο αυτό περιλαμβάνει μια πηγή φωτός, ένα θάλαμο δείγματος και έναν καταγραφέα της έντασης της σκέδασης σε διάφορες γωνίες. Το σύστημα μπορεί να αναλύσει γαλακτώματα, αιωρήματα και ξηρές σκόνες και γι αυτό το λόγο είναι κατάλληλο για πολλές εφαρμογές. Το όργανο διαθέτει δυο μονάδες εισαγωγής, τις Hydro 2000 και Scirocco 2000 για την διεξαγωγή μετρήσεων σε υγρά αλλά και στερεά δείγματα αντίστοιχα (<https://www.malvernpanalytical.com/en>).



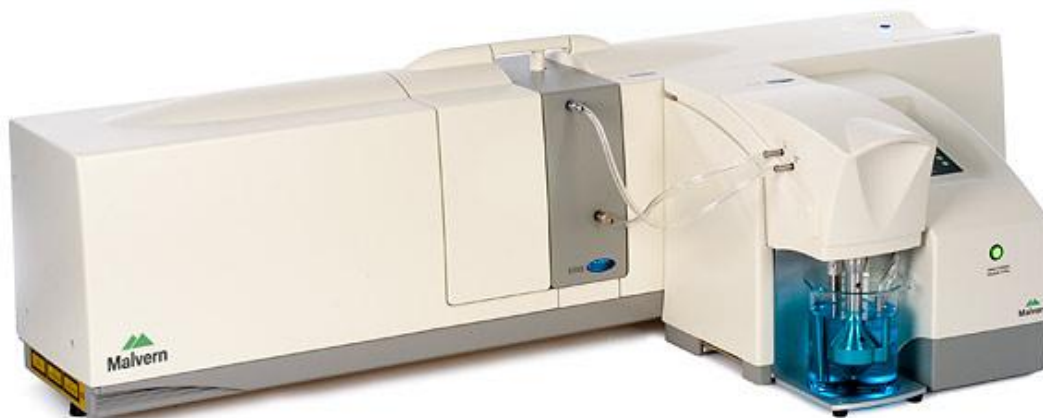
Σχήμα 21: Αρχή λειτουργίας της συσκευής Malvern Mastersizer 2000 Hydro (<https://www.malvernpanalytical.com/en>).

4.3.2.2. Διαδικασία μέτρησης λιποσφαιρίων

Για τις μετρήσεις στον αναλυτή μοριακού μεγέθους (Mastersizer 2000) (Σχήμα 22) δημιουργήθηκε μια πρότυπη μέθοδος λειτουργίας στο λογισμικό του μηχανήματος ειδική για τη μελέτη του μεγέθους των λιποσφαιρίων που περιείχαν τα δείγματα επαλειφόμενων τυριών.

Αρχικά, γίνεται πλύση των σωληνώσεων και όλου του συστήματος στο οποίο κυκλοφορεί το δείγμα. Ξεπλένεται 3 φορές με απιονισμένο νερό ή και απορρυπαντικό καθώς λειτουργεί στις 3000 στροφές. Η κάθε πλύση διαρκεί λίγο περισσότερο από 1 λεπτό.

Παράλληλα ποσότητα του δείγματος που πρόκειται να μετρηθεί προστίθεται σε απεσταγμένο νερό με 0,5-1mL Tween 20 και αφήνεται να αναδευτεί σε μαγνητικό αναδευτήρα για την καλύτερη διαλυτοποίηση του δείγματος στο απεσταγμένο νερό. Για την διενέργεια των μετρήσεων ο αναδευτήρας ορίζεται να λειτουργεί στις 1350 στροφές. Αρχικά ο αναδευτήρας τοποθετείται σε ποτήρι ζέσεως που περιέχει περίπου 450 ml απιονισμένο νερό και ενώ αναδύεται συνεχώς γίνεται μέτρηση της διαύγειας του νερού. Εάν η μέτρηση είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων τότε γίνεται εισαγωγή 10-30 ml δείγματος. Για κάθε δείγμα πραγματοποιούνται 3 μετρήσεις. Στην πορεία λειτουργεί ο υπέρηχος για 30 δευτερόλεπτα γιατί χωρίς αυτόν το μέσο μέγεθος υπερεκτιμάται. Η μέτρηση πραγματοποιείται και τα αποτελέσματα καταγράφονται αυτόματα σε πρόγραμμα εγκατεστημένο στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.



Σχήμα 22 : Συσκευή Malvern Mastersizer 2000 Hydro (<https://www.malvernpanalytical.com/en>).

4.3.3 Προσδιορισμός χρώματος

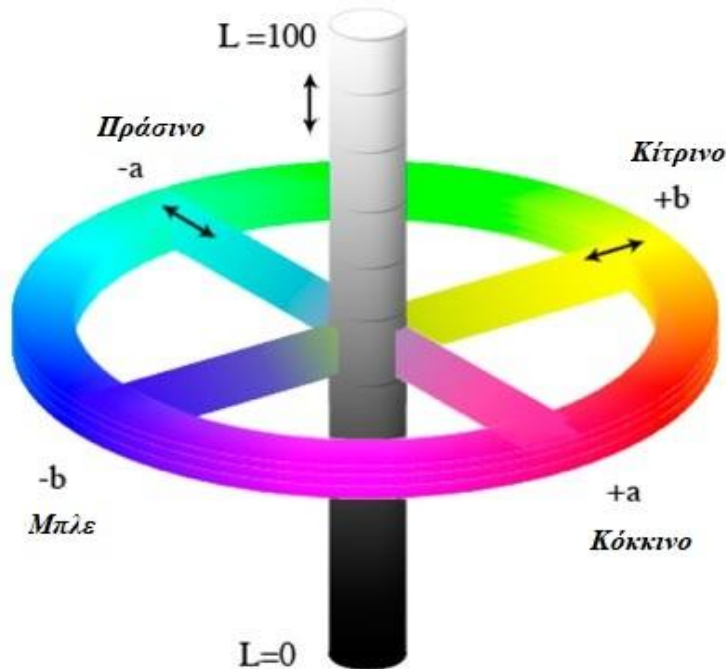
Η μέτρηση του χρώματος των δειγμάτων αναπληρωμάτων τυριού πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ενός χρωματόμετρου HunterLab που διαθέτει σύστημα οπτικού αισθητήρα D25 με επεξεργαστή DP-9000 (**Σχήμα 23**). Το σύστημα D25 παρέχει ακριβή μέτρηση χρωμάτων και ανάλυσης σε ένα ευρύ φάσμα. Στον οπτικό του αισθητήρα, φως από μια κυκλική λάμπα αλογόνου χαλαζία απευθύνεται σε δείγμα υπό γωνία 45° από την κάθετο. Το ανακλώμενο φως στη συνέχεια συλλέγεται σε έναν υποδοχέα που βρίσκεται ακριβώς πάνω από το δείγμα στις 0° από την κάθετο. Ο επεξεργαστής DP-9000 μετατρέπει τα σήματα από τον οπτικό αισθητήρα σε τιμές χρώματος σχετικές με την πηγή φωτός και 2° από τον πρότυπο παρατηρητή. Οι τιμές αυτές εμφανίζονται στην οθόνη υγρών κρυστάλλων. Όλες οι λειτουργίες του συστήματος εκτελούνται μέσω του πίνακα ελέγχου, ο οποίος περιέχει έξι πλήκτρα λειτουργιών και τέσσερα πλήκτρα με τα βέλη. Επίσης περιέχει καλυμμένο και έναν εσωτερικό εκτυπωτή για τις μετρήσεις χρώματος και άλλων δεδομένων εκτύπωσης. Οι μετρούμενες τιμές υφίστανται επεξεργασία από μικροεπεξεργαστές, αποθηκεύονται και απεικονίζονται ψηφιακά (<https://support.hunterlab.com/hc/en-us>).

Το κάθε χρώμα περιγράφεται από 3 συντεταγμένες, οι οποίες συμβολίζονται με τα γράμματα L^* , a^* και b^* (**Σχήμα 24**). Ο παράγοντας L^* (Lightness) αποθηκεύει όλη την πληροφορία φωτεινότητας ή λαμπρότητας της εικόνας παίρνοντας τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό), ενώ οι παράγοντες a^* και b^* την πληροφορία χρώματος, χωρίς να υπάρχουν για αυτά κάποια αριθμητικά όρια. Θετικές τιμές του a^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κόκκινου, ενώ αρνητικές τιμές αποχρώσεις του πράσινου. Θετικές τιμές του b^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κίτρινου, ενώ

αρνητικές τιμές αποχρώσεις του μπλε. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό αυτού του χρωματικού μοντέλου είναι η ανεξαρτησία των πληροφοριών φωτεινότητας και χρώματος, που μας δίνει πάρα πολλές δυνατότητες.



Σχήμα 23: Χρωματόμετρο HunterLab D25 DP9000 (<https://support.hunterlab.com/hc/en-us>).



Σχήμα 24: Απεικόνιση του χρωματικού μοντέλου CIE Lab (<https://www.photoscreenprint.com/>)

4.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στην παρούσα εργασία θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν σε εργαστηριακή κλίμακα, όπως είναι οι φυσικοχημικές (pH, L*, a*, b*), οι μηχανικές από τη μέθοδο ανάλυσης προφίλ υφής (H₁, H₂, A₁, A₂, A₃, C, S₁, S₂, G,), οι ρεολογικές από τη μέθοδο της λιπαινόμενης συμπιεστής ροής (F₀, F₃, F₀/A, F₃/A) και το μέγεθος λιποσφαιρίων.

Το στατιστικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων αλλά και για την δημιουργία των διαγραμμάτων ήταν το Minitab 17. Η στατιστική μέθοδος που επιλέχθηκε ήταν ANOVA ONE-WAY με διαγράμματα Interval Plots, δηλαδή διαγράμματα μέσων όρων με 95% όρια εμπιστοσύνης. Η ανάλυση της διακύμανσης ενός παράγοντα χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει εάν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων τριών ή περισσότερων ανεξάρτητων δειγμάτων. Ένα διάστημα εμπιστοσύνης 95% σημαίνει πως με 95% σιγουριά περιέχει τον πραγματικό μέσο όρο του πληθυσμού. Όσο μικρότερο το ποσοστό της σιγουριάς τόσο μικρότερα είναι τα όρια εμπιστοσύνης.

Αρχικά έγιναν οι απαραίτητες μετατροπές στις τιμές που καταγράφηκαν από το TA-XT Plus Universal Texture Analyser, και έπειτα απεικονίστηκαν σε διαγράμματα οι μεταβολές που προέκυψαν στα επαλειφόμενα τυριά με βάση την διαφορετική αναλογία των σταθεροποιητών.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Στη αρχή των πειραματικών διαδικασιών η μελέτη περιλάμβανε την επίδραση της ξανθάνης και του κόμμεος γκουάρ στις ιδιότητες αναπληρωμάτων τυριού από πρωτεΐνες ορού γάλακτος και ηλιέλαιο. Αρχικά παρασκευάστηκαν τυχαία δύο δείγματα για την απόκτηση κατεύθυνσης της σύστασης του προϊόντος με τα επιδιωκόμενα οργανοληπτικά, ρεολογικά και φυσικοχημικά χαρακτηριστικά. Η πρωτεΐνη ορού κατείχε το 25% των δειγμάτων, οι σταθεροποιητές το 0,8% αφού σε μεγαλύτερα ποσοστά είχε κάποια επίγευση που θεωρήθηκε μη οργανοληπτικά αποδεκτή. Το ηλιέλαιο βρισκόταν σε ποσοστό 25% ενώ το γαλακτικό οξύ και το NaCl κατείχαν από 1% το καθένα. Τα προβλήματα που παρατηρήθηκαν ήταν αρκετά. Το μείζων πρόβλημα παρατηρήθηκε στην υφή του επαλειφόμενου τυριού αφού απείχε πολύ από την ιδανική υφή. Συγκεκριμένα χαρακτηρίστηκε δικαίως σαν «ζυμάρι». Αμέσως το ηλιέλαιο αντικαταστάθηκε από φοινικέλαιο που αποδείχθηκε το πλέον κατάλληλο αφού προσέδιδε την πλέον κατάλληλη υφή. Το δεύτερο πρόβλημα παρουσιάστηκε με την ικανότητα του σταθεροποιητή κόμμι γκουάρ να κρατά σταθερό το μίγμα σε ποσοστό 0,8%. Η συνεκτικότητα του μίγματος δεν ήταν αρκετή με αποτέλεσμα να είναι ρευστό και να μην μπορεί να σταθεί στα ειδικά καλούπια. Συνεπώς το κόμμι γκουάρ αντικαταστάθηκε με κόμμι χαρουπιού. Σε επόμενες δοκιμές το προϊόν που προέκυψε ήταν αρκετά συνεκτικό και ελαστικό. Η σκληρότητα και η συνεκτικότητά του ήταν τόσο αυξημένες σε σημείο που το μίγμα δεν θεωρούνταν ρευστό αλλά στερεό.

Τέλος, ακολούθησε η μείωση ποσοστού πρωτεΐνης και η ανάλογη αύξηση ποσοστού νερού ώσπου όλη η σειρά των δειγμάτων να είναι αρκετά συνεκτικά και αντίστοιχα ρευστά ώστε να πλησιάζουν οπτικά ένα πρότυπο επαλειφόμενο τυρί. Η ιδανική σύσταση που βρέθηκε απεικονίζεται στον **Πίνακα 12**:

Πίνακας 12: Ποσοστά των υλικών στο επαλειφόμενο αναπλήρωμα τυριού.

Υλικό	Ποσοστό (%)
Νερό	58,2
Φοινικέλαιο	25
Πρωτεΐνες ορού	14
Σταθεροποιητές	0,8
Γαλακτικό οξύ	1
Αλάτι	1

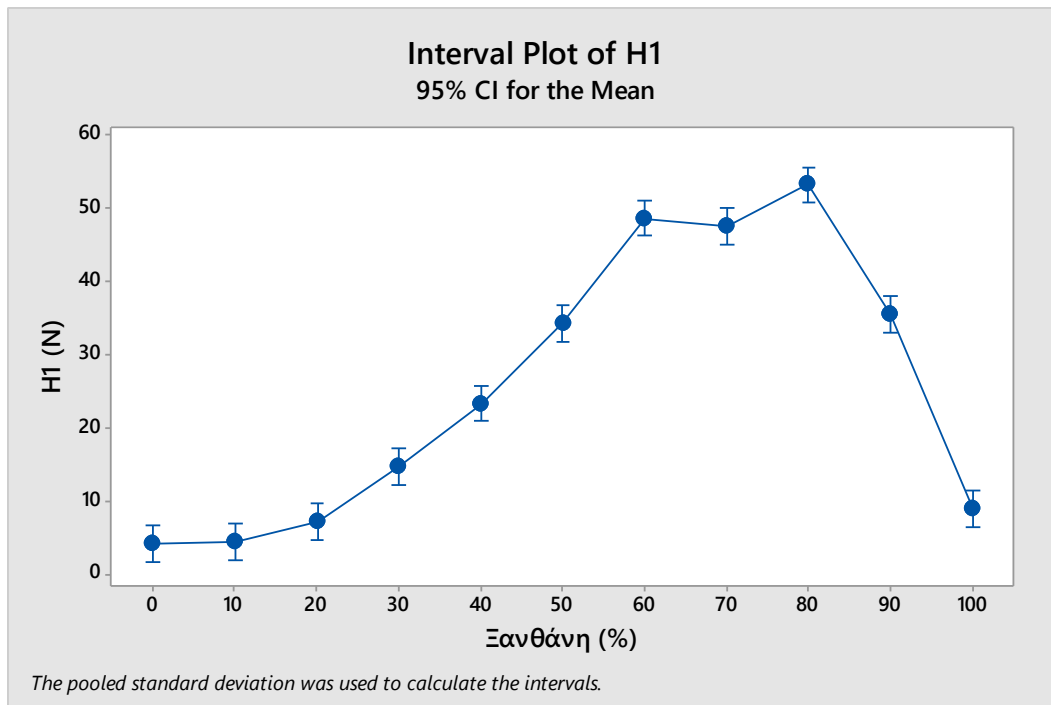
5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ ΥΦΗΣ

Οι τιμές για τις παραμέτρους A_1 , A_2 , A_3 δίνονται από το διάγραμμα ως εμβαδόν με μονάδες m^2 . Για να μετατραπούν σε ενέργεια (Joule) θα πρέπει να πολλαπλασιαστούν με την ταχύτητα που είχε η πλάκα, $0,00033m/s$. Ενώ οι τιμές S_1 και S_2 που αντιπροσωπεύουν ύψη δίνονται σε μονάδες χρόνου (s), πολλαπλασιάζοντας λοιπόν με την ταχύτητα της πλάκας γίνεται η μετατροπή σε μονάδες απόστασης.

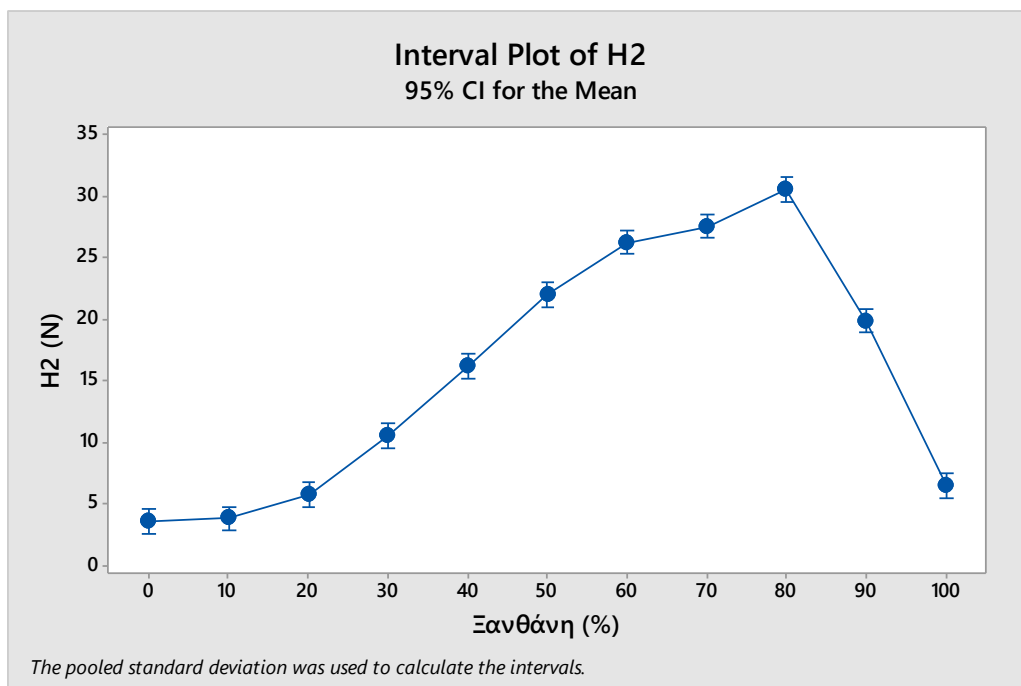
Τα διαγράμματα δημιουργήθηκαν από το στατιστικό πρόγραμμα Minitab 17.0 και απεικονίζουν πως μεταβάλλονται οι μέσοι όροι των χαρακτηριστικών με βάση τις διάφορες αναλογίες των σταθεροποιητών. Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν τα διαγράμματα Interval Plot ως μέθοδος one-way ANOVA που χρησιμοποιούνται για να συγκρίνουν τα διαστήματα εμπιστοσύνης των μέσων όρων. Ένα τέτοιο διάγραμμα απεικονίζει τα 95% όρια εμπιστοσύνης για τον μέσο όρο της κάθε ομάδας. Συνήθως, όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του δείγματος, τόσο μικρότερο και ακριβέστερο είναι το διάστημα εμπιστοσύνης (<https://support.minitab.com/en-us/minitab/18/>).

Στο **Σχήμα 25** απεικονίζεται η δύναμη που άσκησε το έμβολο στο κάθε δείγμα και η παράμετρος H_1 αντιπροσωπεύει την σκληρότητα του δείγματος αυτού κατά την πρώτη συμπίεση. Συνεπώς παρατηρείται πως με την αύξηση της ξανθάνης αυξάνεται και η σκληρότητα 1 των δειγμάτων. Η αύξηση αυτή γίνεται στατιστικά σημαντική σε αναλογία ξανθάνης - κόμμεος χαρουπιού 30:70 αφού τα 95% όρια των μέσων όρων δεν επικαλύπτονται. Κάθε επόμενο δείγμα με την αύξηση του ποσοστού της ξανθάνης έχει στατιστικά σημαντική αύξηση σκληρότητας 1 κάνοντας αισθητή την παρουσία της συνέργειας των δύο σταθεροποιητών. Όταν η αναλογία ξανθάνης - χαρουπιού αγγίζει το 60:40 τότε παρουσιάζεται μία από τις μέγιστες τιμές της σκληρότητας κατά την πρώτη συμπίεση. Έπειτα αγγίζει την οριστική μέγιστη τιμή της σε ποσοστό ξανθάνης 80%, δίχως όμως να διαφέρει σημαντικά από τις αναλογίες ξανθάνης 60 και 70%. Με περαιτέρω αύξηση του ποσοστού της ξανθάνης όμως, η συνέργεια των σταθεροποιητών μειώνεται κατά πολύ και αυτό απεικονίζεται στη στατιστικά σημαντική μείωση των μέσων όρων των δειγμάτων.

Στο **Σχήμα 26** που αντιστοιχεί στην σκληρότητα 2 που αντιπροσωπεύει την δύναμη που ασκεί το έμβολο στο δείγμα όταν ξανασυμπιέζεται, παρατηρούνται ακριβώς τα ίδια φαινόμενα με το **Σχήμα 25**, με τη διαφορά ότι σε αναλογία ξανθάνης 80% παρουσιάζεται στατιστικά σημαντικές διαφορές των μέσων όρων των δειγμάτων αφού τα όρια δεν επικαλύπτονται.



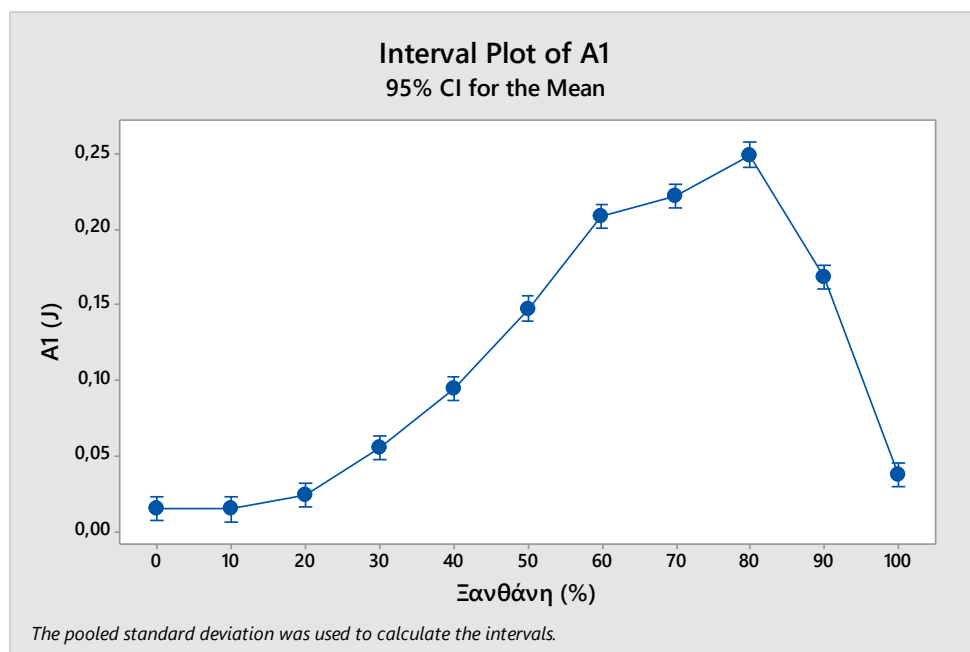
Σχήμα 25: Διάγραμμα Interval Plot για την Σκληρότητα 1 (H_1).



Σχήμα 26: Διάγραμμα Interval Plot για την Σκληρότητα 2 (H_2).

Σε παρακάτω διαγράμματα (**Σχήμα 27 & Σχήμα 31**) παρουσιάζονται οι παράγοντες A_1 και A_2 . Το A_1 αποτελεί το έργο συμπίεσης, δηλαδή την ενέργεια που απαιτείται κατά την πρώτη συμπίεση ώστε το δείγμα να παραμορφωθεί κατά 80%. Το A_2 αντίστοιχα αποτελεί την ενέργεια που απαιτείται για να συμπιεστεί το δείγμα κατά την δεύτερη συμπίεση. Στο **Σχήμα 27** παρατηρείται συνεχόμενη αύξηση της ενέργειας/έργου καθώς αυξάνεται η αναλογία σε ξανθάνη. Όπως και προηγουμένως η μεγαλύτερες τιμές ενέργειας φαίνεται να ισχύουν σε αναλογίες ξανθάνης 60, 70, 80 και κόμμεος χαρουπιού 40, 30, 20 αντίστοιχα. Επιπλέον η δράση της συνέργειας

γίνεται αντιληπτή καθώς η ξανθάνη φτάνει το ποσοστό 30% και έως το ποσοστό 60% αυξάνεται με μεγάλη στατιστική διαφορά. Τέλος παρατηρείται μεγάλη πτώση του απαραίτητου έργου όταν η ξανθάνη προστίθεται σε αναλογία 90% και ιδιαίτερα σε αναλογία 100% που η δράση της συνέργειας είναι ανύπαρκτη.

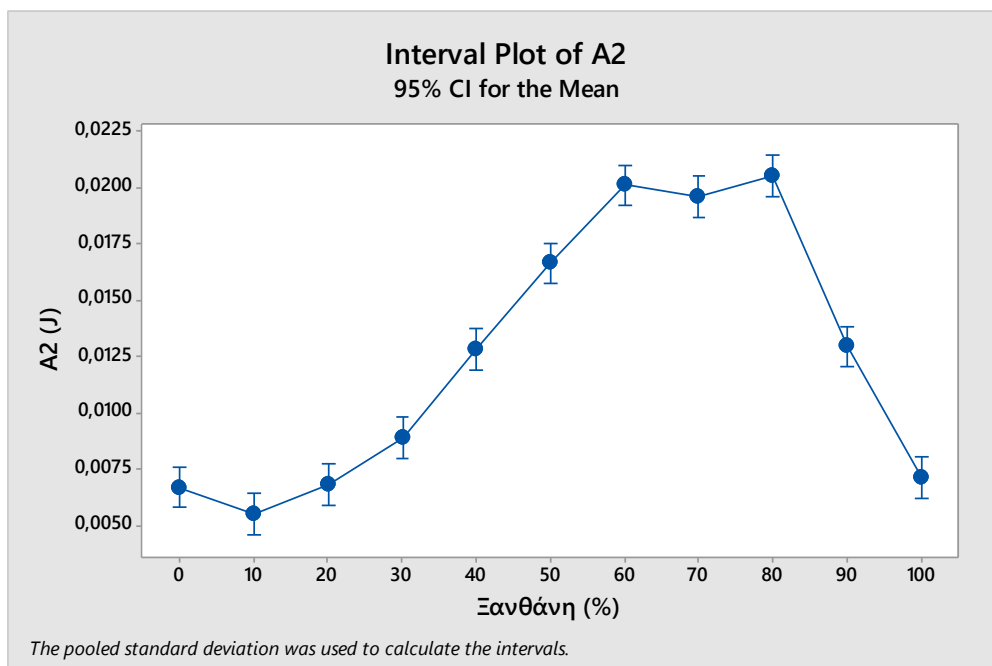


Σχήμα 27 : Διάγραμμα Interval Plot για το έργο συμπίεσης 1 (A_1).

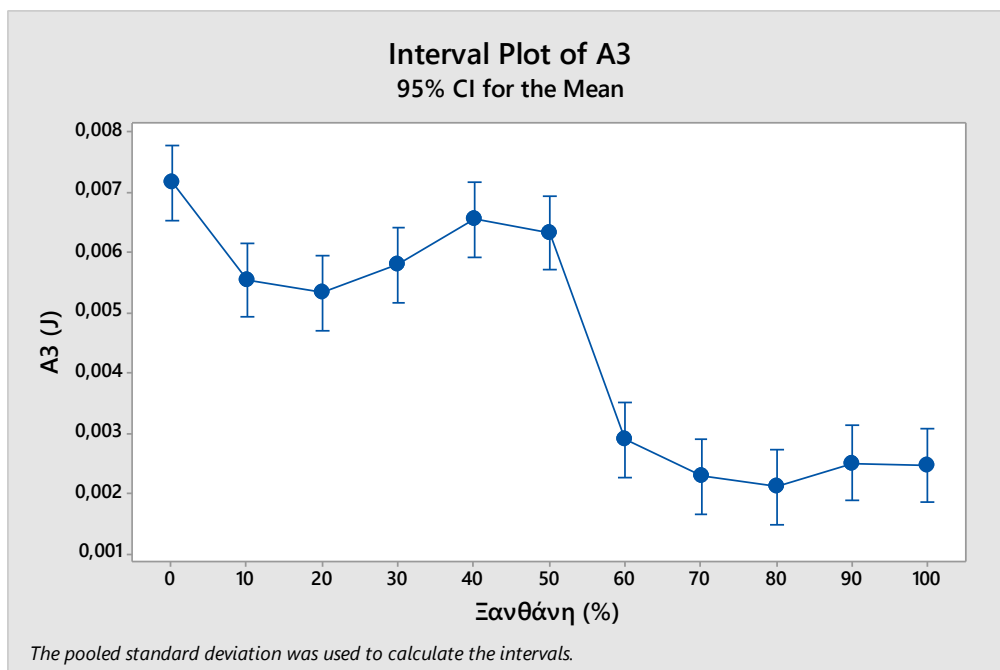
Στο **Σχήμα 28** παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση του έργου καθιστώντας την στατιστικά σημαντική μετά την αναλογία ξανθάνης – κόμμεος χαρουπιού 40:60. Όταν η ξανθάνη καταλαμβάνει την αναλογία 60 προς χαρούπι 40, το έργο ραγδαία αυξάνεται. Στη συνέχεια σε αναλογίες ξανθάνης 60, 70 και 80% δεν παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές αφού τα όρια επικαλύπτονται και ο μέσος όρος του ενός δεν βρίσκεται κάτω από το κατώτερο όριο του άλλου, ενώ σε ποσοστό 90 και 100% μειώνεται στατιστικά σημαντικά αφού δεν υπάρχει επικάλυψη των ορίων.

Στο **Σχήμα 29** παρουσιάζονται οι μέσοι όροι τις συγκολλητικότητας A_3 των δειγμάτων. Αυτός ο παράγοντας αντιπροσωπεύει το έργο (J) του δείγματος να αποκολληθεί από την πλάκα καθώς ξεκίνησε η πρώτη αποσυμπίεση. Η μεγαλύτερη συγκολλητικότητα παρατηρείται σε μεγαλύτερες αναλογίες χαρουπιού ενώ τα δείγματα που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη ενέργεια έχουν την μικρότερη συγκολλητικότητα. Συγκεκριμένα με στατιστικά σημαντική διαφορά το δείγμα με αναλογία ξανθάνης – κόμμεος χαρουπιού 0:100 παρουσιάζει την μεγαλύτερη συγκολλητικότητα. Έπειτα ακολουθούν τα δείγματα με ξανθάνη 10-50% χωρίς να διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους. Καθώς η ξανθάνη αρχίζει να υπερτερεί σε αναλογία οι μέσοι όροι των δειγμάτων μειώνονται κατά πολύ και στατιστικά σημαντικά. Συμπερασματικά όταν η ξανθάνη είναι περισσότερη σε αναλογία η συγκολλητικότητα μειώνεται κατά πολύ παραμένοντας παρόμοια σε όλες τις αναλογίες.

Συνοψίζοντας, το έργο κατά την πρώτη και τη δεύτερη συμπίεση αυξάνεται με την αύξηση της ξανθάνης, όμως παρουσιάζεται ραγδαία μείωση με την έλλειψη της συνέργειας. Επιπλέον η συγκολλητικότητα μειώνεται με την αύξηση του ποσοστού της ξανθάνης.



Σχήμα 28: Διάγραμμα Interval Plot για το έργο συμπίεσης 2 (A_2).

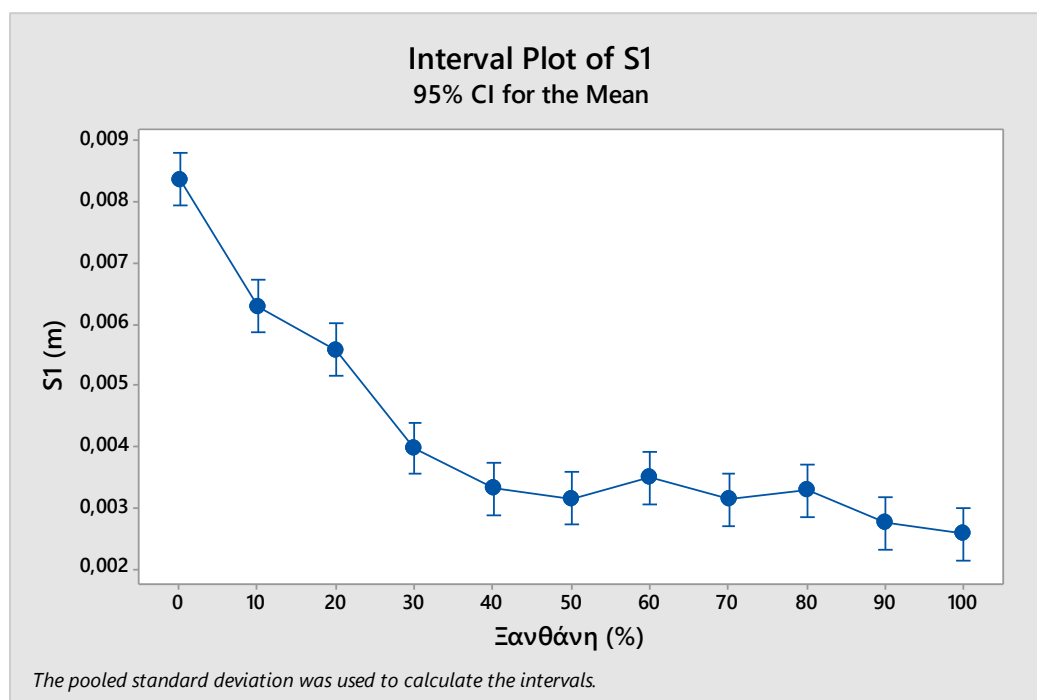


Σχήμα 29: Διάγραμμα Interval Plot για την συγκολλητικότητα (A_3).

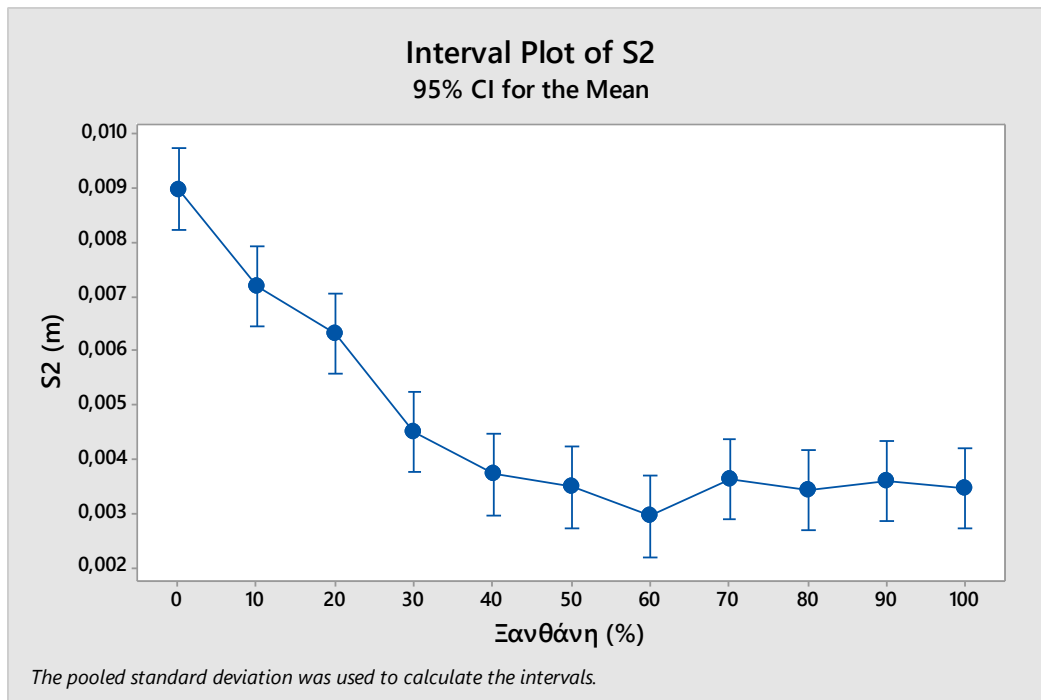
Στα δύο επόμενα διαγράμματα (**Σχήμα 30 & Σχήμα 31**) παρουσιάζονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά ελαστικότητα (S_1) και εκτατότητα (S_2). Παρατηρούνται παρόμοιες τάσεις των μέσων όρων των δειγμάτων. Υπάρχει μια συνεχή μείωση της ελαστικότητας με την μείωση της αναλογίας χαρουπιού που στατιστικά σημαντική γίνεται σε ποσοστό Ξανθάνης 10-20%, χωρίς οι δύο μέσοι όροι να διαφέρουν σημαντικά. Έπειτα παρατηρείται μεγάλη μείωση σε αναλογία Ξανθάνης - κόμμεος

χαρουπιού 30:70. Στο **Σχήμα 30** δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στους μέσους όρους της ελαστικότητας από την αναλογία ξανθάνης - κόμμεος χαρουπιού 40:60 έως την αναλογία 100:0 λόγω μη επικάλυψης των ορίων εμπιστοσύνης.

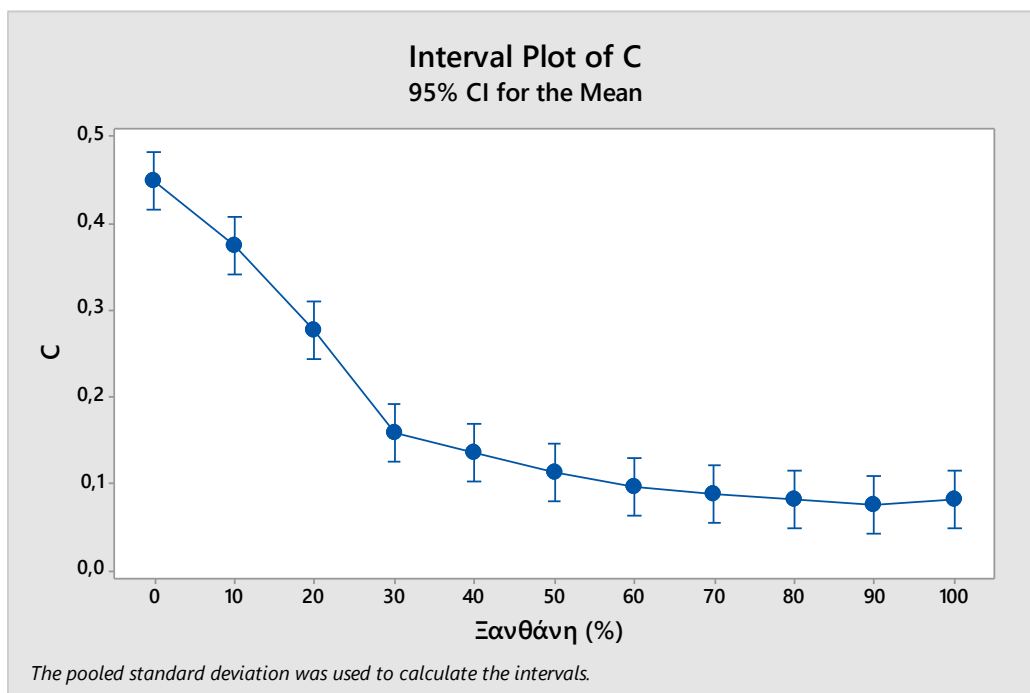
Στο **Σχήμα 31** παρατηρούνται παρόμοια αποτελέσματα με διαφορά το δείγμα ξανθάνης 60% να παρουσιάζει μικρότερη εκτατότητα 2 από τα υπόλοιπα δείγματα αλλά χωρίς να διαφέρει στατιστικά σημαντικά αφού ο μέσος όρος του δείγματος επικαλύπτεται από όλα τα κατώτερα όρια εμπιστοσύνης των μέσων όρων των δειγμάτων ξανθάνης 40 – 100%.



Σχήμα 30: Διάγραμμα Interval Plot για την ελαστικότητα κατά τη δεύτερη συμπίεση (S_1).



Σχήμα 31: Διάγραμμα Interval Plot για την εκτατότητα κατά την πρώτη συμπίεση (S_2).

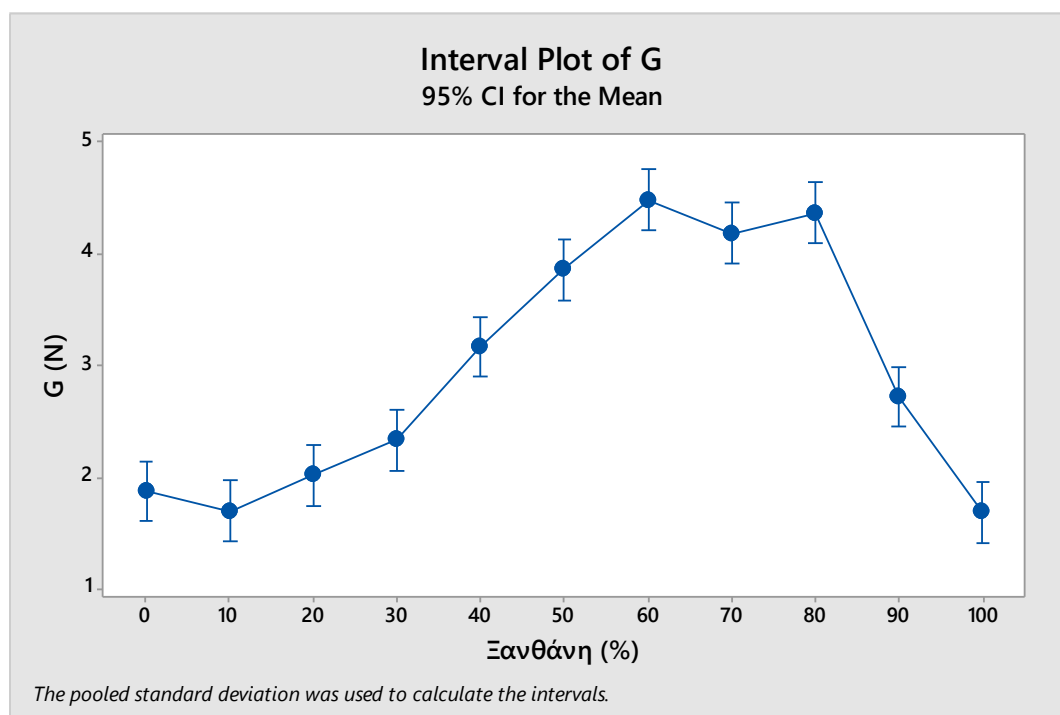


Σχήμα 32: Διάγραμμα Interval Plot για την συνεκτικότητα (C).

Στο **Σχήμα 32** παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της συνεκτικότητας των δειγμάτων. Η συνεκτικότητα C βρέθηκε ως ο λόγος A_2/A_1 και συνεπώς είναι αδιάστατο μέγεθος. Πρώτα μπορεί να γίνει αντιληπτό πως με την αύξηση του ποσοστού της ξανθάνης η συνεκτικότητα μειώνεται στατιστικά σημαντικά έως και την αναλογία ξανθάνης – χαρουπιού 30:70. Στατιστικά σημαντικά διαφέρει με τις αναλογίες ξανθάνης 60 – 100%, ενώ σε αναλογίες 50% και μετά δεν παρατηρείται

στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων όρων των δειγμάτων. Η ελαστικότητα, η εκτατότητα και η συνεκτικότητα λοιπόν, επηρεάζεται από το ποσοστό της ξανθάνης. Συγκεκριμένα αυτά τα μηχανικά χαρακτηριστικά μειώνεται καθώς αυξάνεται το ποσοστό της ξανθάνης.

Η κομμωδής υφή G ορίστηκε ως το γινόμενο της σκληρότητας 1 (H_1) με την συνεκτικότητα (C), οπότε έχει μονάδες δύναμης (N). Στο **Σχήμα 33** μπορεί να παρατηρηθεί η μεταβολή των μέσων όρων των δειγμάτων. Αρχικά η κομμωδής υφή αυξάνεται με την αύξηση της ξανθάνης χωρίς να υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η σημαντικότητα γίνεται αντιληπτή μεταξύ των δειγμάτων ξανθάνης 40% με ποσοστά ξανθάνης από 20% και κάτω. Το ίδιο παρατηρείται για ποσοστά ξανθάνης 50% με τα δείγματα που περιέχουν ξανθάνη ως σταθεροποιητή από 30% και κάτω. Τα δείγματα με αναλογίες ξανθάνης 60-80% όπου και παρουσιάζουν τη μέγιστη συνέργεια, παρουσιάζουν και τη μέγιστη κομμωδή υφή. Σε επόμενα δείγματα (ξανθάνη 90, 100%) παρατηρείται στατιστικά σημαντική πτώση των μέσων όρων όσο αφορά την κομμωδή υφή. Επιπλέον αυτά τα δείγματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά και μεταξύ τους. Συμπερασματικά η κομμωδής υφή επηρεάζεται από τη συνέργεια των δύο σταθεροποιητών.



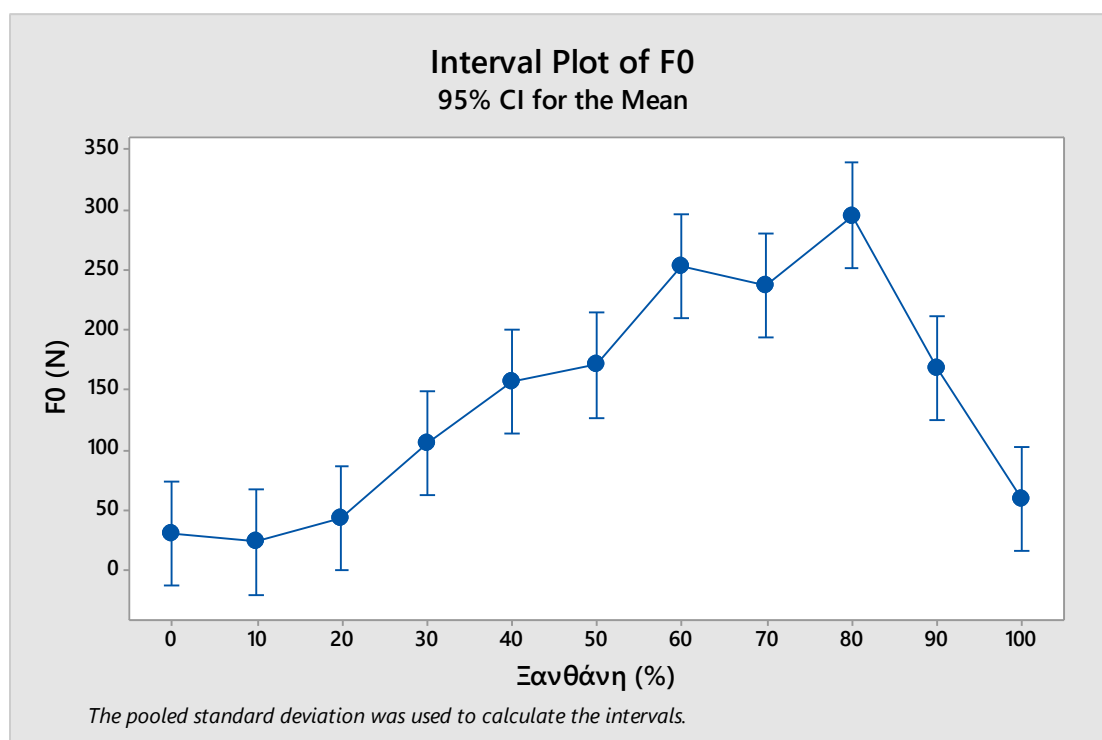
Σχήμα 33: Διάγραμμα Interval Plot για την κομμωδή υφή G.

5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΙΠΑΙΝΟΜΕΝΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ ΡΟΗΣ (SF)

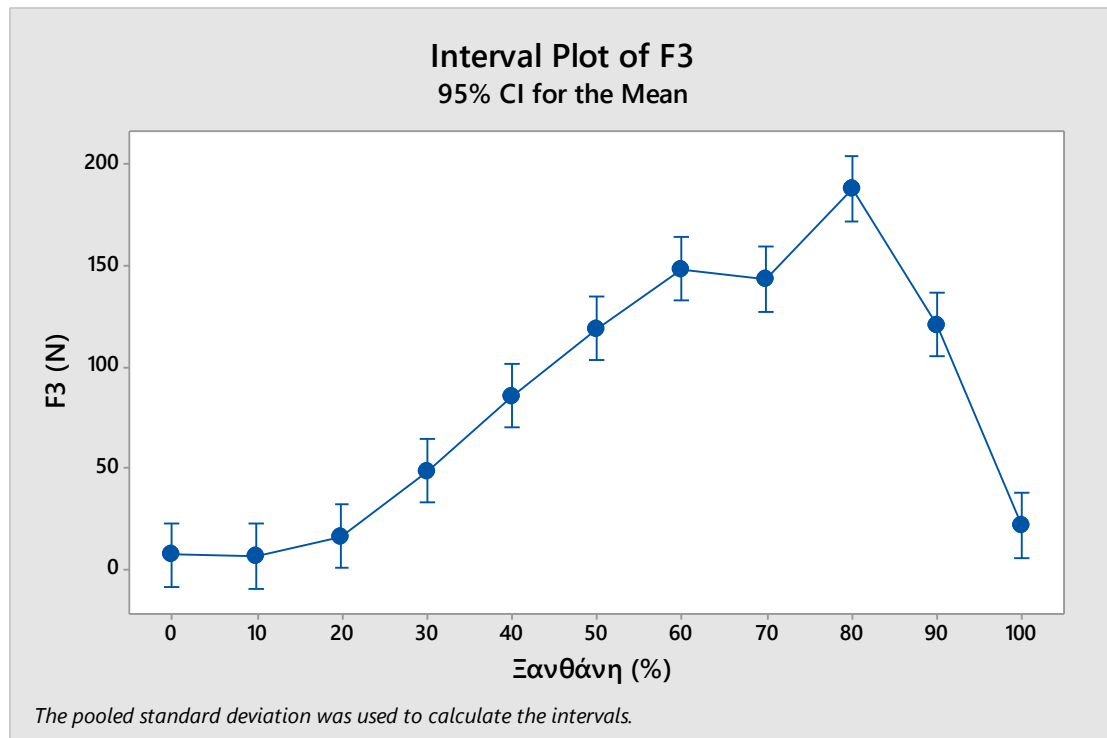
Οι τιμές που ενδιαφέρουν από το διάγραμμα της λιπαινόμενης συμπίεστης ροής είναι το F_0 που συμβολίζει την δύναμη συμπίεσης και το F_3 που συμβολίζει τη δύναμη χαλάρωσης. Τα μεγέθη αυτά δίνονται από το διάγραμμα σε Newton, αφού αντιπροσωπεύουν δυνάμεις.

Η δύναμη που ασκείται στο δείγμα κατά την συμπίεση απεικονίζεται στο **Σχήμα 34**, ενώ η δύναμη που ασκείται στο τέλος της χαλάρωσης απεικονίζεται στο **Σχήμα 35**. Στα δύο παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται πανομοιότυπες διαφορές στους μέσους όρους των δειγμάτων. Η δύναμη που ασκήθηκε από το έμβολο αυξάνεται καθώς αυξάνεται το ποσοστό της ξανθάνης. Η αύξηση αυτή γίνεται στατιστικά σημαντική μετά την αναλογία ξανθάνης 30% αφού τότε το κατώτερο όριο του μέσου όρου δεν επικαλύπτει τον μέσο όρο του προηγούμενου. Οι αναλογίες ξανθάνης 40 και 50% δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αφού τα όρια εμπιστοσύνης του επικαλύπτονται όμως διαφέρουν σημαντικά από τις αναλογίες 60 και 70%. Στατιστικά σημαντική διαφορά παρουσιάζει η αναλογία ξανθάνης 80% από την αναλογία 70%. Τέλος για τα δείγματα με αναλογία ξανθάνης 90-100% η δύναμη που χρειάστηκε να ασκηθεί από το έμβολο ήταν σαφώς μικρότερη και δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά από τις αναλογίες ξανθάνης 20% και κάτω. Τα 95% όρια εμπιστοσύνης αυτών των δύο διαγραμμάτων είναι αρκετά μεγάλα και αυτό ίσως να οφείλεται στον μικρό αριθμό επαναλήψεων.

Να σημειωθεί πως η συμπίεση ιδανικά ασκείται για ποσοστό 80%. Στο παρόν πείραμα η συμπίεση ασκήθηκε στο 70% αφού τα τρία υψηλότερα δείγματα χρειάστηκαν μεγαλύτερη άσκηση δύναμης από το έμβολο από αυτήν που μπορούσε να ασκηθεί και ήταν αδύνατο να καταγραφεί.



Σχήμα 34: Διάγραμμα Interval Plot για την δύναμη που ασκείται κατά την συμπίεση (F_0).



Σχήμα 35: Διάγραμμα Interval Plot για την δύναμη που ασκείται κατά την χαλάρωση (F_3).

5.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Το μέγεθος L αντιπροσωπεύει την φωτεινότητα ή αλλιώς την ένταση του άσπρου στο δείγμα που μετρήθηκε. Οι τιμές του ξεκινούν από το 0 αντιπροσωπεύοντας το μαύρο και καταλήγουν στο 100 που θεωρείται το μέγιστο άσπρο. Επόμενη παράμετρος το χρώματος είναι η τιμή a. Δεν έχει όρια τιμών και αντιπροσωπεύει εύρος χρώματος από κόκκινο σε πράσινο. Θετικές τιμές αντιστοιχούν στο κόκκινο ενώ αρνητικές στο πράσινο. Όσο πιο απομακρυσμένες από το μηδέν είναι τόσο πιο έντονο το χρώμα. Τα παραπάνω ισχύουν και για το χαρακτηριστικό b, που θετικές τιμές του αντιπροσωπεύουν το κίτρινο ενώ αρνητικές το μπλε.

Σύμφωνα με τα διαγράμματα Interval plots της ANOVA one-way δεν βρέθηκε καμιά επιρροή της αναλογίας των σταθεροποιητών στις παραμέτρους του χρώματος. Συνεπώς θεωρείται πως όλα τα δείγματα παρουσιάζουν το ίδιο χρώμα (Πίνακας 13).

Πίνακας 13: Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των δειγμάτων για το χρώμα.

Παράγοντας χρώματος	Μέσος όρος τιμών των δειγμάτων	Τυπικές Αποκλίσεις τιμών των δειγμάτων
L*	87,942	0,222
a*	-1,0397	0,1141
b*	11,393	0,192

Από τα αποτελέσματα του **Πίνακα 13** εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- Τα επαλειφόμενα αναπληρώματα τυριών που παρασκευάστηκαν είχαν χρώμα που πλησίαζε το λευκό αφού ο παράγοντας φωτεινότητα L^* έχει αρκετά υψηλή τιμή και τείνει προς το λευκό.
- Ο παράγοντας a^* έχει αρνητικές τιμές αλλά κοντά στο 0, συνεπώς υπάρχει ελαφρώς πράσινη απόχρωση που δεν γίνεται αντιληπτή με το μάτι.
- Η τιμή του b^* είναι θετική και αρκετά απομακρυσμένη από το 0, άρα τα δείγματα αναπληρώματος τυριού έχουν κίτρινη απόχρωση.

5.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ pH

Οι τιμές pH που βρέθηκαν για τα δείγματα δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές και έτσι θεωρείται πως έχουν κατά μέσο όρο την ίδια τιμή (**Πίνακας 14**).

Πίνακας 14: Μέσος όρος και τυπική απόκλιση τιμών pH.

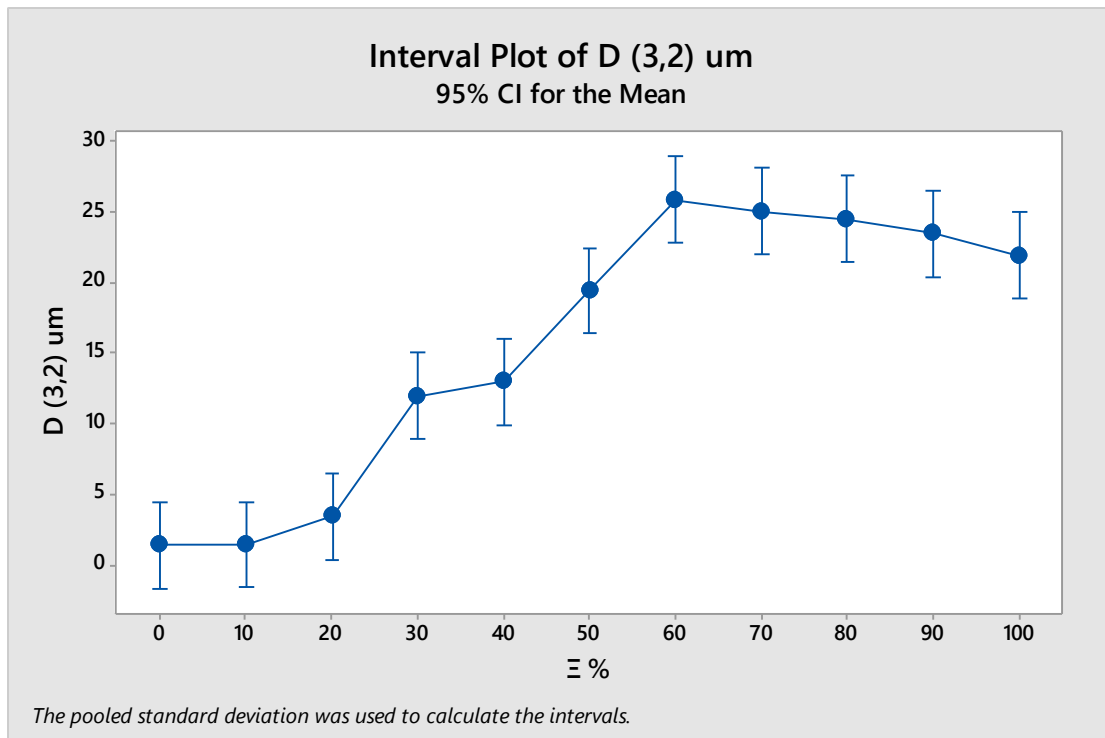
	Μέσος όρος τιμών των δειγμάτων	Τυπικές Αποκλίσεις τιμών των δειγμάτων
pH	4,7391	0,1175

5.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΛΙΠΟΣΦΑΙΡΙΩΝ

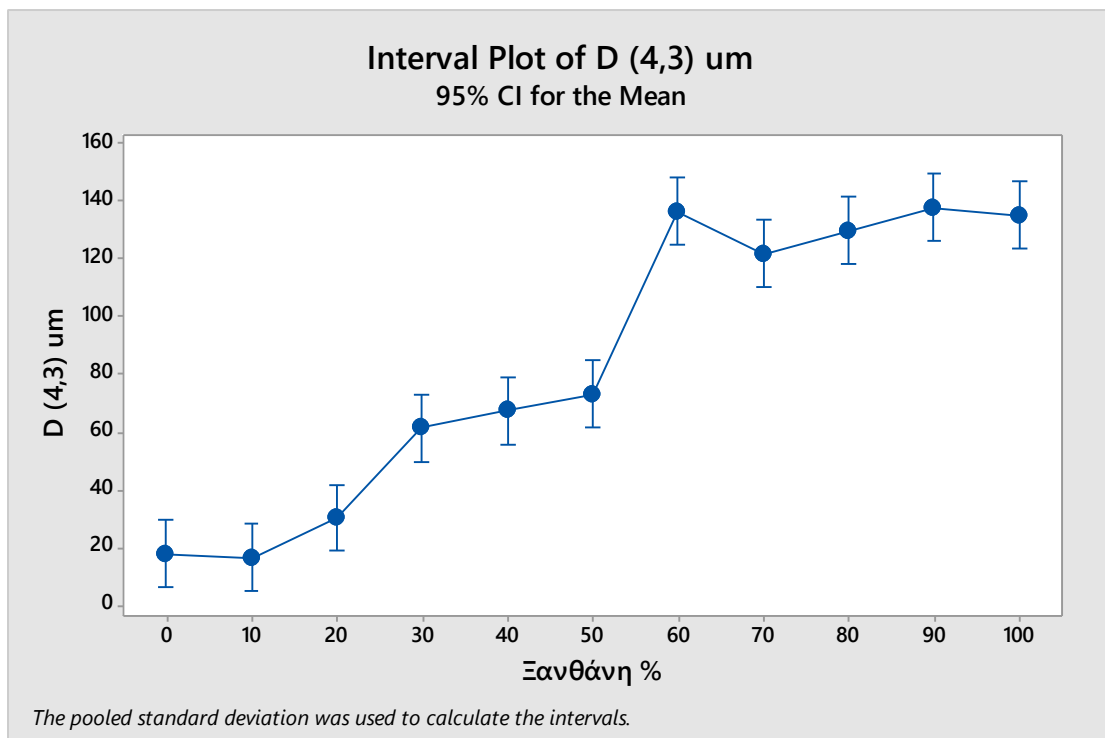
Κατά τις μετρήσεις του μεγέθους των λιποσφαιρίων με το όργανο Master Sizer 2000 προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται σε διαγράμματα παρακάτω. Σύμφωνα με τα διαγράμματα (**Σχήμα 35 & Σχήμα 36**) που προέκυψαν από τις συγκεκριμένες μετρήσεις διεξάγονται κάποια συμπεράσματα. Το **Σχήμα 35** απεικονίζει το μέσο μέγεθος της επιφάνειας των λιποσφαιρίων. Το συμπέρασμα που διεξάγεται είναι πως με την αύξηση της ξανθάνης, προκύπτει μεγαλύτερη επιφάνεια των λιποσφαιρίων. Η πρώτη στατιστικά σημαντική αύξηση παρατηρείται στην αναλογία ξανθάνης 30%, έπειτα στο 50% και τέλος στο 60% από όπου και παραμένει σταθερή, δηλαδή η μεταβολή στο μέσο μέγεθος της επιφάνειας των λιποσφαιρίων δεν είναι στατιστικά σημαντική.

Επιπλέον στο **Σχήμα 36** απεικονίζεται ο μέσος όγκος των λιποσφαιρίων και πως μεταβάλλεται κατά την αύξηση της ξανθάνης. Στατιστικά σημαντικά ο μεγαλύτερος όγκος επικρατεί σε αναλογίες 60-100%. Έπειτα ακολουθούν οι αναλογίες 30-50% και τέλος ο μικρότερος όγκος λιποσφαιρίων παρατηρείται στις χαμηλότερες αναλογίες ξανθάνης. Συμπερασματικά, ο όγκος των λιποσφαιρίων αυξάνεται με την αύξηση του σταθεροποιητή ξανθάνης.

Συμπερασματικά με την αύξηση της ξανθάνης και την μείωση του κόμματος χαρουπιού προκύπτει αύξηση της επιφάνειας και του όγκου των λιποσφαιρίων. Αυτό συμβαίνει λόγω του μεγέθους των μορίων της ξανθάνης, τα οποία είναι μεγάλα και άκαμπτα με αποτέλεσμα να παρεμποδίζουν την γαλακτωματοποίηση.



Σχήμα 36: Διάγραμμα Interval Plot για το μέσο μέγεθος της επιφάνειας των λιποσφαιρίων (d(3,2)) των δειγμάτων.



Σχήμα 36: Διάγραμμα Interval Plot για τον μέσο όγκο των λιποσφαιρίων (d(4,3)) των δειγμάτων.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η συνέργεια της ξανθάνης με το κόμμι χαρουπιού αυξάνεται με την αύξηση της ξανθάνης αγγίζοντας τη μέγιστη τιμή σε αναλογία ξανθάνης 60-80% και κόμμεος χαρουπιού 40-20% αντίστοιχα.
- Η σκληρότητα 1, η σκληρότητα 2, το έργο συμπίεσης 1, το έργο συμπίεσης 2 και η κομμωδής υφή επηρεάζονται άμεσα από τη συνέργεια και αυξάνονται όσο αυξάνεται και αυτή. Στη συνέχεια μειώνονται αφού μειώνεται και η δράση της συνέργειας.
- Η ελαστικότητα, η εκτατότητα, συνεκτικότητα και η συγκολλητικότητα μειώνονται καθώς μειώνεται η αναλογία της ξανθάνης και δεν φαίνεται να επηρεάζονται από τη συνέργεια των σταθεροποιητών.
- Η δύναμη συμπίεσης και η δύναμη χαλάρωσης αυξάνονται με την αύξηση της ξανθάνης και είναι κυρίως χαρακτηριστικά επηρεασμένα από την συνέργεια των σταθεροποιητών. Όταν η συνέργεια δεν υπάρχει μειώνονται ραγδαία
- Το pH και το χρώμα των επαλειφόμενων τυριών δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τη μεταβολή της αναλογίας των σταθεροποιητών.
- Το μέγεθος της επιφάνειας και του όγκου των λιποσφαιρίων είναι άμεσα επηρεασμένο από την αναλογία της ξανθάνης, λόγω των μεγάλων, άκαμπτων μορίων της που παρεμποδίζουν την γαλακτωματοποίηση.

7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

- Διερεύνηση μιας ιδανικότερης σύστασης για την σειρά δειγμάτων που παρασκευάστηκαν, με αλλαγή των ποσοστών πρωτεϊνών ορού, φοινικελαίου και νερού.
- Προσθήκη βελτιωτικών γεύσης, αρωματικών και χρωστικών ουσιών. Το προϊόν που παρασκευάστηκε ήταν οργανοληπτικά αποδεκτό μόνο ως προς την οξύτητα και την αλατότητα. Με προσθήκη των παραπάνω ουσιών θα μπορούσε να γίνει αποδεκτό οργανοληπτικά και ως προς την αρεστότητα.
- Μέτρηση των μηχανικών, των ρεολογικών και των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων σε διαφορετικές ημέρες με σκοπό τη διερεύνηση της μεταβολής τους με βάση τον χρόνο.
- Αύξηση του ποσοστού των σταθεροποιητών σε συνδυασμό με βελτιωτικά γεύσης ώστε να αποφευχθεί η επίγευση αυτών.
- Προσθήκη κοινών συντηρητικών για να διατηρούνται τα προϊόντα αναλλοίωτα μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε συνθήκες ψύξης (~ 4°C).
- Εφαρμογή διαφορετικών συνθηκών ομογενοποίησης (χρόνος, στροφές και θερμοκρασία) και μελέτη της επίδρασης αυτών στα χαρακτηριστικά του προϊόντος.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

8.1 Ελληνική Βιβλιογραφία

Δημάκου Χ. (2010). Μελέτη της επίδρασης ενδογενών και εξωγενών παραμέτρων στην οξείδωση λιπαρών σε γαλακτώματα. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών.

Δημητρέλη Γ. (2009). Σημειώσεις Τεχνολογίας Γάλακτος και Γαλακτοκομικών Προϊόντων, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα, Θεσσαλονίκη.

Κεχαγιάς Χ. & Τσάκαλη Ε. (2017). Επιστήμη και Τεχνολογία Γάλακτος και Γαλακτοκομικών Προϊόντων. (Εκδόσεις ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ), σελ 33-71, Αθήνα, Ελλάδα.

Παπαδοπούλου Ε. (2015). Επίδραση της ενσωμάτωσης της EGCG σε γαλακτώματα που περιέχουν βακτηριακή κυτταρίνη. Μεταπτυχιακή μελέτη, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Παπουτσοπούλου Σ. (1996). Παραγωγή ξανθάνης από βελτιστοποιημένα στελεχη του βακτηρίου *Xanthomonas campestris*. Καθαρισμός και μελέτη της ισομεράσης της 6-φωσφορικής μαννόζης. Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Χημείας.

Ριτζούλης Χ. (2011). Φυσικοχημεία τροφίμων. (Εκδόσεις Τζιόλα), σελ. 127-154, Θεσσαλονίκη.

Ταχματζίδου Β. (2015). Μελέτη των φυσικοχημικών και ρεολογικών χαρακτηριστικών αναπληρωμάτων τυριού χαμηλής λιποπεριεκτικότητας. Μεταπτυχιακή Μελέτη, Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος, Σχολή Γεωτεχνικών Επιστημών, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων.

8.2 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Adjonu R., Doran G., Torley P. & Agboola S. (2014). Whey protein peptides as components of nanoemulsions: A review of emulsifying and biological functionalities. *Journal of Food Engineering*, **122**, 15–27.

Araujo Mantovani R., Fazani Cavallieri A. L. & Lopes Cunha R. (2016). Gelation of oil-in-water emulsions stabilized by whey protein. *Journal of Food Engineering*, **175**, 108-116.

Augustin M. A. & Margetts C. L. (2003). POWDERED MILK - Milk Powders in the Marketplace. In: Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (2nd Edition) (Eds Caballero B., Finglas P. & Toldra F.) Australia, Werribee, Victoria, Australia.

Bachmann H. P. (2001). Cheese analogues: a review. *International Dairy Journal*, **11**, pp 505–515.

Badem A. & Uçar1 G. (2016) .Cheese Analogues, Food Hygiene and Technology Department, Veterinary Faculty. *Journal of Food and Dairy Technology*, pp 44-48.

- Barak S. & Mudgil D. (2014). Locust bean gum: Processing, properties and food applications - A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, **66**, 74–80.
- Berger K.G. (2003). PALM OIL. In: Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (2nd Edition), (Eds Caballero B., Finglas P. & Toldra F.), pp 4325-4331, Chiswick, London, UK.
- Bhowmik S. N. & Patil R. T. (2018). New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering, Crop Improvement Through Microbial Biotechnology. (Eds Prasad R., Gill S. S. & Tuteja N.), pp 73-106.
- Cassiday L. (2014). Emulsions: making oil and water mix. Ανακτήθηκε από: <https://www.aocs.org/stay-informed/inform-magazine/featured-articles/emulsions-making-oil-and-water-mix-april-2014>
- Chavan R.S. & Jana A. (2007). Cheese substitutes: an alternative to natural cheese - A review. *International Journal of Food Science, Technology & Nutrition*, **2**, 25-39.
- Dziejak J.D. (2003). ACIDS | Natural Acids and Acidulant. In: Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (2nd Edition), (Eds Caballero B., Finglas P. & Toldra F.), pp 12-17.
- Estellé P., Lanos C., Mélinge Y. & Servais C. (2006). On the optimisation of a texture analyser in squeeze flow geometry. *Measurement*, **39**, pp.771-777.
- Fenemma O. R. & Tannenbaum S. R. (1996). Introduction to Food Chemistry. (Eds Dekker M.), New York.
- Ferguson P. H. (2003). EVAPORATION - Uses in the Food Industry. In: Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (2nd Edition), (Eds Caballero B., Finglas P. & Toldra F.), pp 2205- 2211, Cornwell Products, Edenbridge, UK.
- Friberg S. E., Larsson K., Sjoblom J. (2004). Food emulsions, 4th edition (Eds Marcel Dekker), New York, NY.
- Gansbiller M., Schmid J. & Sieber V. (2019). In-depth rheological characterization of genetically modified xanthan-variants. *Carbohydrate Polymers*, **213**, 236-246.
- Gao Z., Fang Y., Cao Y., Liao H., Nishinari K. & Phillips G.O. (2017). Hydrocolloid-food component interactions. *Food Hydrocolloids*, **68**, pp 149-156
- Gouda A. & El-Nour A. (2003). Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (2nd Edition), (Eds L.Trugo and P.M. Finglas), pp 8.
- Grisel M., Aguni Y., Renou F. & Malhiac R. (2015). Impact of fine structure of galactomannans on their interactions with xanthan: Two co-existing mechanisms to explain the synergy. *Food Hydrocolloids*, **51**,449-458.
- Guinee T. P. (2017). Pasteurized Processed and Imitation Cheese Products. In: Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology, (4th edition), (Eds. McSweeney P. L., Fox P., Cotter P. & Everett D.), pp 1133-1184.

- Guinee T. P. (2002). Encyclopedia of Dairy Sciences. Cheese Analogues, (Eds Roginski H.), pp 428-434, Dairy Products Research Centre, Fermoy, Co. Cork, Ireland.
- Gustaw W. & Mleko S. (2007). The effect of polysaccharides and sodium chloride on physical properties of processed cheese analogs containing whey proteins. *Milchwissenschaft*, **62**, 59–62
- Gyawali R. & Ibrahim S. A. (2016) Effects of hydrocolloids and processing conditions on acid whey production with reference to Greek yogurt. *Trends in Food Science & Technology*, **56**, 61-76.
- Habibi H. & Khosravi-Darani K. (2017). Effective variables on production and structure of xanthan gum and its food applications: A review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, **10**, 130–140.
- Higiro J., Herald T. J. & Alavi S. (2006). Rheological study of xanthan and locust bean gum interaction in dilute solution. *Food Research International*, **39**, pp 165–175.
- Hoffner B., Gerhards H. & Peleg M. (1997). Imperfect lubricated squeezing flow viscometry for foods. *Rheol Acta*, **36**, pp 686-693.
- Jalani B. S., Kushairi A. & Cheah S. C. (2003). Oil Palm and Coconut. Production Systems and Agronomy. In: Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (2nd Edition), (Eds Caballero B., Finglas P. & Toldra F.), pp 960-969 Chiswick, London, UK.
- Khan M. Y., Karim Z. A. A., Hagos Y. & Aziz A. R. (2014). Current Trends in Water-in-Diesel Emulsion as a Fuel. *The Scientific World Journal*, **17**, 472-527.
- Khouryieh H., Puli G., Williams K & Aramouni F. (2015) Effects of xanthan–locust bean gum mixtures on the physicochemical properties and oxidative stability of whey protein stabilised oil-in-water emulsions. *Food Chemistry*, **167**, pp 340–348.
- Krog N. (2002). Emulsifiers and emulsions in dairy foods. pp 891-899, Danisco, Brabrand, Denmark.
- Lam R. S. H. & Nickerson M. T. (2013). Food proteins: A review on their emulsifying properties using a structure–function approach. *Food Chemistry*, **141**, 975-984.
- Linhares I. M., Minis E., Robial R. & Witkin S. S. (2019). Microbiome and Metabolome in Diagnosis, Therapy, and other Strategic Applications . (Eds Faintuch J. & Faintuch S.), pp109-114.
- Masotti F., Cattaneo S., Stuknytė M. & De Noni I. (2018). Status and developments in analogue cheese formulations and functionalities. *Trends in Food Science & Technology*, **74**, pp 158-169.
- McClements D. J. (2011). Edible nanoemulsions: fabrication, properties and functional performance. *Soft matter*, **7**, 2297 – 2316.

McClements D. J. (2007). Critical Review of Techniques and Methodologies for Characterization of Emulsion Stability. Critical Reviews in Food Science and Nutrition.

McClements D.J. (2005). Food Emulsions: Principles, practices and techniques. CRC Press.

Ramis-Ramos G. (2003). ANTIOXIDANTS, Synthetic Antioxidants. In: Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (2nd Edition), (Eds Caballero B., Finglas P. & Toldra F.), pp 265-275, Universidad de Valencia, Burjassot, Spain.

Sandolo C, Bulone D., Mangione M. R., Margheritelli S., Di Meo C., Alhaique F., Matricardi P., Coviello T. (2010). Synergistic interaction of Locust Bean Gum and Xanthan investigated by rheology and light scattering. *Carbohydrate Polymers*, **82**, pp 733–741.

Schorsch C., Gamier C. & Doublier J. L. (1997). Viscoelastic properties of xanthan / galactomannan mixtures: comparison of guar gum with locust bean gum. *Carbohydrate Polymers*, **34**, 165-175.

Shukla A., Rizvi S.S.H., Bartsch J.A. (1995). Rheological characterization of butter using lubricated squeezing flow. *Journal of Texture Studies*, **26**, pp 313-323.

Tadros R., Izquierdo J. E. & Solans C. (2004). Formation and stability of nano-emulsions. *Colloid Interface*, **18**, pp 108-109.

Viebke C., Assaf S. A. & Phillips G. O. (2014). Food hydrocolloids and health claims. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, **4**, 101–114.

Woodster T., Golding M. & Sanguansri P. (2008). Impact of Oil Type on Nanoemulsion Formation and Ostwald Ripening Stability. *Langmuir*, (**22**), 58-65.

Zadow J. G. (2003). WHEY AND WHEY POWDERS - Protein Concentrates and Fractions . In: Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (2nd Edition), (Eds Caballero B., Finglas P. & Toldra F.), pp 6152-6157, Mount Martha, Victoria, Australia.

Zhu Y., Chen X., McClements D. J., Zou L. & Liu W. (2018). pH-, ion- and temperature-dependent emulsion gels: Fabricated by addition of whey protein to gliadin-nanoparticle coated lipid droplets. *Food Hydrocolloids*, **77**, 870-878.

8.3 Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

www.hannacan.com

<https://www.malvernpanalytical.com/en>

<https://support.hunterlab.com/hc/en-us>

<https://support.minitab.com/en-us/minitab/18/>

<http://www.emulsifiers.org/ViewDocument.asp?ItemId=11&Title=What>

<https://www.mnn.com/food/healthy-eating/blogs/palm-oil-facts>

<https://amj.co.id/en/products>