



**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ &  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Επίδραση των συστατικών στις ιδιότητες αναπληρωμάτων τυριού από  
καζεΐνικό νάτριο και ηλιέλαιο**

**ΔΡΑΓΟΥΔΑΚΗ ΧΡΥΣΑΝΘΗ – ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΥ ΧΡΥΣΟΥΛΑ**

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2019**

## **Επίδραση των συστατικών στις ιδιότητες αναπληρωμάτων τυριού από καζεΐνικό νάτριο και ηλιέλαιο**

ΔΡΑΓΟΥΔΑΚΗ ΧΡΥΣΑΝΘΗ – ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΥ ΧΡΥΣΟΥΛΑ

Υποβολή πτυχιακής εργασίας που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την απονομή του πτυχίου του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης.

Ημερομηνία: 27/02/2019

Επιβλέπων καθηγητής: Θωμάρεϊς Απόστολος

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με θέμα «Η επίδραση των συστατικών στις ιδιότητες αναπληρωμάτων τυριού από καζεϊνικό νάτριο και ηλιέλαιο» 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, θερμές ευχαριστίες απευθύνονται στον καθηγητή κ. Πετρίδη Δημήτριο, ο οποίος με απόλυτη προθυμία βοήθησε καθοριστικά στην εκπόνηση της στατιστικής ανάλυσης της εργασίας αυτής καθώς και την κα Μαρινοπούλου Άννα και τον κ. Καραγεωργίου Βασίλη, για τις πολύτιμες υποδείξεις και κατευθύνσεις τους κατά την διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων στον Αναλυτή Υφής. Εντέλει, η πτυχιακή μας εργασία δεν θα είχε επιτευχθεί, εάν δεν συνοδευόταν από την αμέριστη συμπαράσταση τόσο του οικογενειακού όσο και του φιλικού μας περιβάλλοντος.

Με εκτίμηση,

*Δραγουδάκη Χρυσάνθη – Ξανθοπούλου Χρυσούλα*

# Επίδραση των συστατικών στις ιδιότητες αναπληρωμάτων τυριού από καζεϊνικό νάτριο και ηλιέλαιο

ΔΡΑΓΟΥΔΑΚΗ ΧΡΥΣΑΝΘΗ – ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΥ ΧΡΥΣΟΥΛΑ

ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας και Τεχνολογίας Τροφίμων και Διατροφής, Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, 57400 Θεσσαλονίκη Τ.Θ. 141

## Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν η παρασκευή αναπληρωμάτων τυριού με ηλιέλαιο, καζεϊνικό νάτριο, νερό, γαλακτικό οξύ και χλωριούχο νάτριο και η μελέτη φυσικοχημικών, ρεολογικών και μηχανικών ιδιοτήτων. Αρχικά, έγινε προκαταρκτική μελέτη για να βρεθούν τα όρια συγκέντρωσης των συστατικών και να παραχθούν σταθερά γαλακτώματα. Αυτή έδειξε ότι το ηλιέλαιο έπρεπε να κυμαίνεται από 20,8% μέχρι 31,7%, το νερό από 50% μέχρι 60,2% και το καζεϊνικό νάτριο από 13% μέχρι 18%. Οι συγκεντρώσεις του γαλακτικού οξέος και του χλωριούχου νατρίου ήταν σταθερές και ίσες με 1% και 1,5%, αντίστοιχα. Αφού βρέθηκαν τα όρια, έγινε πειραματικό σχέδιο με τη βοήθεια των πειραμάτων μείξης και τη χρήση του στατιστικού πακέτου Minitab 17.0, και παρασκευάστηκαν 24 αναπληρώματα τυριού διαφορετικών συστάσεων, εκ των οποίων τα 12 είχαν κοπτόμενη μορφή και τα υπόλοιπα 12 επαλειφόμενη. Στη συνέχεια, ακολούθησε μελέτη των φυσικοχημικών, μηχανικών και ρεολογικών χαρακτηριστικών τους.

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  $b^*$  και το μέγεθος λιποσφαιρίων κατά την στατιστική τους αξιολόγηση εμφάνισαν μη στατιστικά σημαντικές διαφορές. Όσον αφορά στο pH και τη χρωματική παράμετρο  $a^*$ , βρέθηκε ότι αυξάνονται με την αύξηση του καζεϊνικού νατρίου.

Η μελέτη των μηχανικών και ρεολογικών χαρακτηριστικών πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της ανάλυσης προφίλ υψής (TPA) και τη μέθοδο της λιπαινόμενης συμπίεστης ροής, με τη βοήθεια του αναλυτή υψής TA-XT Plus. Στη δοκιμή TPA μελετήθηκαν η ευθραυστότητα, η σκληρότητα, το έργο συμπίεσης, η εκτατότητα, η μασητικότητα και η κομμιάδης υφή. Σε όλες τις ιδιότητες φάνηκε ότι καθοριστικό ρόλο παίζει η περιεκτικότητα του τυριού σε καζεϊνικό νάτριο. Όσο αυξανόταν η περιεκτικότητα σε καζεϊνικό νάτριο, τόσο αυξάνονταν και οι τιμές των μετρούμενων χαρακτηριστικών, ενώ όσο αυξανόταν η περιεκτικότητα σε νερό, μειώνονταν οι τιμές τους. Εξαίρεση απετέλεσε η εκτατότητα, όπου οι δράσεις των δύο ανωτέρω συστατικών ήταν ακριβώς αντίστροφες. Όσον αφορά στο ηλιέλαιο, ο ρόλος του δεν ήταν σαφής, αφού φάνηκε να επηρεάζει ελάχιστα, άλλοτε θετικά όπως την εκτατότητα και άλλοτε καθόλου. Για τη δοκιμή λιπαινόμενης συμπίεστης ροής, μελετήθηκε η δύναμη συμπίεσης, η δύναμη χαλάρωσης, η φαινομενική τάση στο τέλος της συμπίεσης και στο τέλος της χαλάρωσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι όλες οι ιδιότητες αυξάνονταν με την αύξηση του καζεϊνικού νατρίου και μειώνονταν με την αύξηση του νερού, ενώ η δράση του ηλιελαίου θεωρούνταν αμελητέα.

Συμπερασματικά, η μελέτη έδειξε ότι είναι δυνατή η παρασκευή μιας πολύ μεγάλης γκάμας προϊόντων από πολύ ρευστά επαλειφόμενα έως πολύ σκληρά κοπτόμενα αναπληρώματα τυριού υψηλής λιποπεριεκτικότητας. Η επιζητούμενη υφή του προϊόντος μπορεί να επιτευχθεί με απόλυτα ελεγχόμενο τρόπο, συνδυάζοντας κατάλληλα, κατά την παρασκευή, τα τρία βασικά συστατικά (ηλιέλαιο, καζεϊνικό νάτριο και νερό).

# **Effect of ingredients on the properties of cheese analogues from sodium caseinate and sunflower oil**

Dragoudaki Chrysanthi – Xanthopoulou Chrysoula

## **Abstract**

The objective of the present study was the preparation of analogue cheese samples containing the following ingredients: sunflower oil, sodium caseinate, water, lactic acid and sodium chloride, as well as the study of their physicochemical, mechanical and rheological properties. A preliminary study was first conducted in which the limits of concentrations where to be decided in order to achieve stable emulsions and the results for the above-mentioned ingredients were 20.8-31.7%, 13-18%, 50-60.2%, 1% and 1.5%, respectively. Twenty four samples were then prepared according to the mixture design plot, half of them labeled as 'spread' types and the other half as 'cutting' types.

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  $b^*$  and fat globules' size were not statistically significant, whereas pH and color parameter  $a^*$  tended to increase when sodium caseinate's concentration increased and water's decreased.

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 fracturability, hardness, compression work, stringiness, chewiness and samples' gumminess, while the forces of compression and relaxation, the apparent stresses at the end of compression and the end of relaxation were studied with the lubricated squeeze flow method. Results of the first analysis showed that the mechanical parameters had a positive correlation with sodium caseinate's concentration and a negative one with water's concentration, apart from stringiness which increased when the latter's concentration increased. It was also affected by sunflower oil's concentration. Sunflower oil affected either in a positive or a negative way. Results of the second analysis showed a positive correlation with sodium caseinate's concentration, a negative one with water's concentration while sunflower oil's concentration had no impact at the rheological properties.

In conclusion, the production of 'spread' analogue cheese and 'cutting' analogue cheese is possible. Achieving the desired texture strongly relies on the ratios of the included ingredients like sodium caseinate, sunflower oil and water.

## Περιεχόμενα

1.Εισαγωγή.....	9
2.Βιβλιογραφική Ανασκόπηση .....	10
2.1.Γαλακτώματα.....	10
2.1.1.Γενικά.....	10
2.1.2.Μηχανισμοί αποσταθεροποίησης.....	11
2.1.3.Σχηματισμός γαλακτώματος .....	13
2.1.4.Χαρακτηριστικά και ιδιότητες γαλακτώματος.....	14
2.1.5.Μέθοδοι χαρακτηρισμού γαλακτώματος.....	15
2.2.Ανακατεργασμένα τυριά .....	16
2.2.1.Γενικά.....	16
2.2.2.Σύσταση ανακατεργασμένων τυριών .....	18
2.2.2.1.Φυσικό τυρί.....	18
2.2.2.2.Γαλακτωματοποιητικά άλατα .....	18
2.2.2.3.Λίπη.....	20
2.2.2.4.Πρωτεΐνες .....	20
2.2.2.5. Άλλες βοηθητικές ύλες.....	20
2.2.3.Τεχνολογία παρασκευής ανακατεργασμένων τυριών.....	21
2.3.Αναπληρώματα τυριού .....	23
2.3.1.Γενικά.....	23
2.3.2.Σύσταση αναπληρωμάτων τυριού .....	25
2.3.2.1.Επιδράσεις των συστατικών στα αναπληρώματα τυριού.....	27
2.3.3.Τεχνολογία παρασκευής αναπληρωμάτων τυριού .....	28
2.3.4. Παραδείγματα αναπληρωμάτων τυριού.....	28
2.3.4.1. Αναπληρώματα τυριού κρέμα.....	29
2.3.4.2. Αναπληρώματα τυριού για πίτσα.....	29
2.3.4.3.Σουφού.....	29
2.3.4.4.Μοτσαρέλα .....	30
2.3.5. Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα αναπληρωμάτων τυριού .....	30
2.4.Κύριες και βοηθητικές ύλες για την παρασκευή αναπληρωμάτων τυριού. ....	31
2.4.1.Καζεϊνικό νάτριο .....	31
2.4.2.Ηλιέλαιο .....	33
2.4.3.Γαλακτικό οξύ .....	34

2.4.4.Χλωριούχο νάτριο (Μαγειρικό αλάτι).....	36
2.5.Ρεολογία .....	37
2.5.1.Γενικά.....	37
2.5.2. Επίδραση συστατικών στις ρεολογικές ιδιότητες τυριών.....	39
2.5.2.1. Επίδραση του λίπους.....	39
2.5.2.2. Επίδραση υγρασίας .....	39
2.5.2.3. Επίδραση πρωτεϊνών .....	40
2.5.2.4. Επίδραση αμύλου.....	40
2.5.2.5. Επίδραση άλλων συστατικών .....	40
3.Σκοπός της Πτυχιακής εργασίας .....	41
4.Υλικά και μέθοδοι .....	42
4.1 Πειραματική διαδικασία παρασκευής δειγμάτων.....	42
4.2. Περιγραφή εργαστηριακού ομογενοποιητή-παστεριωτήρα .....	44
4.3.Φυσικοχημικές αναλύσεις .....	45
4.3.1. Προσδιορισμός pH .....	45
4.3.2.Προσδιορισμός χρώματος.....	46
4.4. Μέτρηση μεγέθους λιποσφαιρίων.....	47
4.4.1 Η συσκευή Mastersizer 2000 .....	47
4.4.2 Προετοιμασία δειγμάτων .....	49
4.5.Ρεολογικές Δοκιμές.....	49
4.5.1.Αναλυτής υφής.....	49
4.5.2.Δοκιμή TPA: Texture Profile Analysis.....	50
4.5.2.1.Υπολογισμός μηχανικών παραμέτρων TPA.....	51
4.5.3.Δοκιμή λιπαινόμενης συμπιεστής ροής (Squeeze flow).....	52
4.6.Μέθοδος αποτύπωσης αποτελεσμάτων.....	53
5.Αποτελέσματα και Συζήτηση.....	55
5.1 Αποτελέσματα προκαταρκτικής μελέτης .....	55
5.2 Πειραματικό σχέδιο.....	56
5.3 Αποτελέσματα μετρήσεων .....	60
5.3.1 Φυσικοχημικές μεταβλητές.....	60
5.3.1.1. pH.....	60
5.3.1.2. Χρωματική παράμετρος $a^*$ .....	63
5.3.2.Μηχανικές μεταβλητές της ανάλυσης προφίλ υφής (TPA).....	65

5.3.2.1. Ευθραυστότητα B.....	65
5.3.2.2. Σκληρότητα H1 .....	67
5.3.2.3. Σκληρότητα 2 (H2).....	69
5.3.2.4. Έργο κατά την πρώτη συμπίεση A1.....	71
5.3.2.5. Έργο κατά τη δεύτερη συμπίεση A2 .....	74
5.3.2.6 Κομμώδης υφή G .....	76
5.3.2.7 Μασητικότητα K.....	78
5.3.2.8. Εκτατότητα S2 .....	80
5.3.3 Ρεολογικές ιδιότητες της συμπιεστής λιπαινόμενης ροής (Squeeze flow) .....	82
5.3.3.1 Δύναμη συμπίεσης F0 .....	82
5.3.3.2 Δύναμη χαλάρωσης F3.....	84
5.3.3.3 Φαινομενική τάση στο τέλος της συμπίεσης στα 2mm F0/A.....	86
5.3.3.4 Φαινομενική τάση στο τέλος της χαλάρωσης στα 3min F3/A .....	88
5.3.4.Λοιπές ιδιότητες .....	92
6.Συμπεράσματα.....	96
7.Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	98
8. Βιβλιογραφία.....	99
Ελληνική .....	99
Ξενόγλωσση .....	99
Ηλεκτρονική.....	104
Παράρτημα Α : Εφαρμογή της Πολλαπλής Παλινδρόμησης στα συστατικά και στις μεταβλητές των φυσικοχημικών και ρεολογικών ιδιοτήτων. ....	105
Παράρτημα Β: Γραφήματα κατανομής μεγέθους λιποσφαιρίων (από Mastersizer).....	111



## 1.Εισαγωγή

Σήμερα, υπάρχουν 2000-4000 είδη τυριών σε όλο τον κόσμο που κατηγοριοποιούνται με βάση διάφορα κριτήρια, όπως την πήξη, την κατάσταση ωρίμανσης, τη σύσταση σε λίπος και νερό, τον βρασμό του τυροπήγατος (Abdullah & Gürkan, 2016). Σύμφωνα με τον Κώδικα Τροφίμων και Ποτών (ΚΤΠ, Άρθρο 83), το **τυρί** είναι ένα συμπυκνωμένο γαλακτοκομικό προϊόν και διακρίνεται σε τυρί από γάλα που έχει υποστεί ωρίμανση ή όχι και σε τυρί από τυρόγαλα με ή χωρίς ωρίμανση. Τα φυσικά τυριά, λόγω της περιορισμένης διάρκειας ζωής τους, έχουν αντικατασταθεί από μία άλλη κατηγορία τυριών, αυτή των **ανακατεργασμένων**, τα οποία αναλύονται εκτενώς στο *Υποκεφάλαιο 2.2*. Τα ανακατεργασμένα τυριά εμφανίζουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, έχουν πιο ήπια και πιο σταθερή γεύση (Berger et al., 1989) και το σημαντικότερο είναι ότι αξιοποιούν ελαττωματικά αλλά βρώσιμα τυριά (Spreer, 1998). Ομαδοποιούνται με βάση τη σύνθεση και την υφή τους σε κοπτόμενα ανακατεργασμένα τυριά, ανακατεργασμένα παρασκευάσματα τυριών και επαλειφόμενα ανακατεργασμένα τυριά (Caric & Kalab, 1987). Μια επιπλέον κατηγορία των ανακατεργασμένων τυριών είναι τα **υποκατάστατα** ανακατεργασμένων τυριών, τα οποία δεν περιέχουν καθόλου φυσικό τυρί.

Με τον όρο “αναπληρώματα τυριού”, γνωστά και ως “υποκατάστατα τυριών” ή “τυριά απομίμησης”, όπως περιγράφεται και στο *Υποκεφάλαιο 2.3*, ορίζονται τα προϊόντα που μοιάζουν με τα κοινά τυριά αλλά δεν περιέχουν καθόλου φυσικό τυρί. Μπορούν να ταξινομηθούν σε γαλακτοκομικά, μερικώς γαλακτοκομικά ή μη γαλακτοκομικά προϊόντα, ανάλογα με το αν τα συστατικά τους προέρχονται από γαλακτοκομική ή φυτική πηγή (Chavan & Jana, 2007). Τα αναπληρώματα τυριού εμφανίζουν αυξημένη κατανάλωση λόγω του μικρότερου κόστους τους συγκριτικά με τα φυσικά τυριά καθώς και της μικρότερης λιποπεριεκτικότητας, χοληστερόλης, θερμίδων, κ.τ.λ.. Το μικρότερο κόστος αυτών οφείλεται στην αντικατάσταση των γαλακτοκομικών συστατικών με πιο φθηνά φυτικά συστατικά. Εκτός αυτού, τα προϊόντα αυτά βοηθούν στον έλεγχο του σωματικού βάρους και μειώνουν την πιθανότητα εμφάνισης καρδιαγγειακών νοσημάτων. Άλλο πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι πολλά από αυτά έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Το αναπληρώματα τυριού αποτελούν γαλάκτωμα λαδιού σε νερό, παρόμοιο με το φυσικό τυρί. Τα λιποσφαίρια ενσωματώνονται στο πρωτεϊνικό πλέγμα το οποίο λειτουργεί και ως γαλακτωματοποιητής. Αλλάζοντας τις αναλογίες των πρωτεϊνών, του λίπους, του οξέος και του σταθεροποιητή και προσαρμόζοντας τις παραμέτρους της διαδικασίας παραγωγής, όπως θερμοκρασία, χρόνος θέρμανσης ή ταχύτητα μίξης, είναι δυνατό να παραχθούν προϊόντα με διαφορετικές ιδιότητες, γεύση, υφή και εμφάνιση, τα οποία μπορεί να είναι επαλειφόμενα ή κοπτόμενα (Bachmann, 2001).

Στην παρούσα μελέτη θα γίνει η παρασκευή μιας σειράς επαλειφόμενων και κοπτόμενων αναπληρωμάτων τυριού υψηλής λιποπεριεκτικότητας (20,8-31,7%) έχοντας ως πηγή πρωτεϊνών το καζεϊνικό νάτριο αναμιγμένα με νερό, μαγειρικό άλας και γαλακτικό οξύ, χωρίς τη χρησιμοποίηση γαλακτωματοποιητών και συντηρητικών ουσιών. Στη συνέχεια θα γίνει μελέτη των φυσικοχημικών ιδιοτήτων (pH, χρώμα, μέγεθος λιποσφαιρίων) των προϊόντων αυτών αλλά και των μηχανικών και ρεολογικών τους χαρακτηριστικών με τη βοήθεια της ανάλυσης προφίλ υφής (TPA-Texture Profile Analysis) και δοκιμής λιπαινόμενης συμπίεστης ροής. Η μελέτη αυτή έχει σκοπό να εξαχθούν συμπεράσματα, τα οποία θα δείχνουν πώς επηρεάζονται τα χαρακτηριστικά αυτά σε συνάρτηση με τη σύσταση του κάθε προϊόντος και θα οδηγήσουν στη καλύτερη δυνατή συνταγή για τη δημιουργία αναπληρωμάτων τυριού με βάση το καζεϊνικό νάτριο. Η μελέτη των ρεολογικών ιδιοτήτων έχει μεγάλη σημασία γιατί αυτές επηρεάζουν τη συσκευασία, την υφή, τη γεύση και το άρωμά των αναπληρωμάτων τυριού (Strohmaier et al., 1991).

## 2.Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

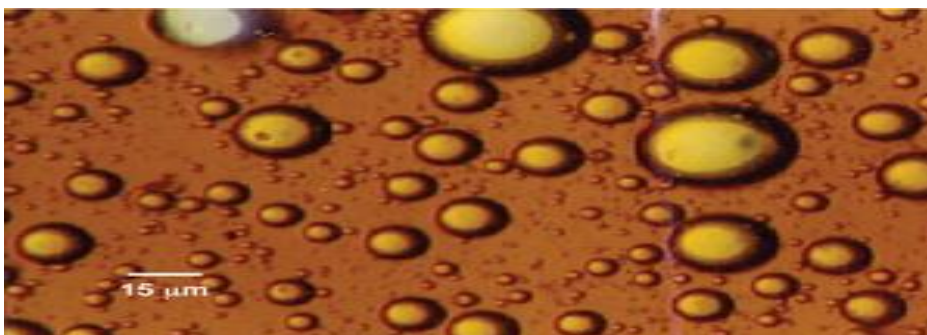
### 2.1.Γαλακτώματα

#### 2.1.1.Γενικά

Τα περισσότερα φυσικά και επεξεργασμένα τρόφιμα αποτελούνται είτε εν μέρει ή εξ ολοκλήρου από γαλακτώματα όπως είναι η κρέμα γάλακτος, οι σάλτσες, η μαγιονέζα, το παγωτό και το βούτυρο (Taha et al., 2018). Ο Becher το 1957, ανέπτυξε έναν περίπλοκο ορισμό που υποστήριζε ότι το γαλάκτωμα είναι ένα ετερογενές, θερμοδυναμικά ασταθές, κολλοειδές σύστημα διασποράς, που αποτελείται από τουλάχιστον ένα μη αναμίξιμο υγρό που είναι διεσπαρμένο στο άλλο με τη μορφή σταγονιδίων. Το υγρό που είναι με τη μορφή μικρότερων σταγονιδίων, αποτελεί τη διεσπαρμένη ή ασυνεχή φάση, ενώ η υπόλοιπη μάζα αποτελεί τη συνεχή φάση. Η διεσπαρμένη φάση είναι συνήθως λιγότερο πυκνή από τη συνεχή, με αποτέλεσμα τα σταγονίδια να ανεβαίνουν στην επιφάνεια (Robins et al., 2002). Τα διεσπαρμένα αυτά σωματίδια, έχουν διαστάσεις από 1 ως 1000 nm, δεν καταβυθίζονται και είναι σφαιρικά ώστε να έχουν μικρότερη ενέργεια (McClements, 2005). Υπό κάποιες συνθήκες, τα σταγονίδια μπορούν να συγχωνευθούν για να σχηματίσουν μεγαλύτερα και να παραμορφωθεί κυρίως το μέγεθος και οι επιφανειακές ιδιότητες (Robins et al., 2002). Χαρακτηριστικό παράδειγμα γαλακτώματος είναι αυτό που προκύπτει από την ανάμειξη νερού και λαδιού (McClements, 2005). Τα έλαια διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη γεύση και στην υφή πολλών προϊόντων και χρησιμοποιούνται ως φάση λιπιδίων για τη παρασκευή γαλακτωμάτων (Taha et al., 2018).

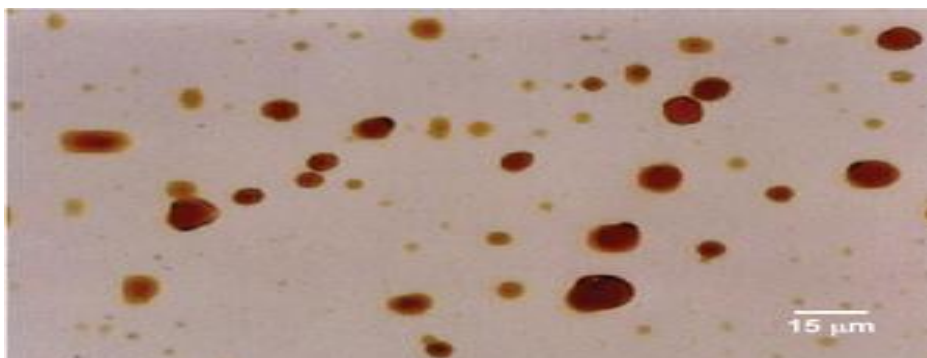
Ο τύπος του γαλακτώματος που σχηματίζεται εξαρτάται από διάφορους παράγοντες και ιδιαίτερα από το λόγο όγκου-φάσης. Όταν αυτός είναι κοντά στο 1 (λόγος 50:50), τότε άλλοι παράγοντες καθορίζουν τον τύπο του γαλακτώματος που σχηματίζεται. Τα γαλακτώματα μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ομάδες:

A) Γαλάκτωμα νερού σε λάδι, το οποίο αποτελείται από σταγονίδια νερού σε συνεχή ελαιώδη φάση (**Σχήμα 1**). Συμβαίνει όταν το λάδι βρίσκεται σε αναλογία μεγαλύτερη του 60% μετά την ανάμειξη τους (π.χ. βούτυρο, μαργαρίνη, χρησιμοποιώντας πρωτεΐνες και λεκιθίνη ως γαλακτωματοποιητή) (McClements, 2005).



**Σχήμα 1:** Γαλάκτωμα νερό σε λάδι (Robins et al., 2002).

B) Γαλάκτωμα λαδιού σε νερό ή αντίστροφα γαλακτώματα, το οποίο αποτελείται από σταγονίδια ελαίου σε συνεχή φάση νερού (**Σχήμα 2**). Συμβαίνει όταν το λάδι βρίσκεται σε αναλογία μικρότερη του 40% μετά την ανάμειξη τους (π.χ. αφρόγαλα, μαγιονέζα, παγωτό χρησιμοποιώντας τις πρωτεΐνες και τον κρόκο αυγού ως γαλακτωματοποιητή) (McClements, 2005).



**Σχήμα 2:** Γαλάκτωμα λάδι σε νερό (Robins et al., 2002).

Τα γαλακτώματα ταξινομούνται επίσης με βάση το μέγεθος των σταγονιδίων στη συνεχή φάση. Όταν τα διασκορπισμένα σταγονίδια είναι μεγαλύτερα από  $0,1 \mu\text{m}$ , τα γαλακτώματα χαρακτηρίζονται ως μακρογαλακτώματα, τα οποία είναι θερμοδυναμικά ασταθή. Σε αντίθεση, υπάρχει μια δεύτερη κατηγορία γνωστά ως μικρογαλακτώματα που έχουν μέγεθος μικρότερο από  $10 \text{ nm}$  και θεωρούνται θερμοδυναμικά σταθερά (Branen et al., 2002). Τέλος, αν όλα τα σταγονίδια ενός γαλακτώματος έχουν ακριβώς τις ίδιες διαστάσεις, το γαλάκτωμα ονομάζεται μονοδιασπαρμένο, αλλά εάν υπάρχει μια ποικιλία μεγεθών σταγονιδίων, τότε ονομάζεται πολυδιασπαρμένο (McClements., 2005).

### 2.1.2.Μηχανισμοί αποσταθεροποίησης

Η αποσταθεροποίηση του γαλακτώματος μπορεί να οφείλεται σε έναν ή και στους πέντε πιθανούς μηχανισμούς, όπως κροκιδώση, συσσωμάτωση, καθίζηση, ωρίμανση Ostwald και αναστροφή φάσης. Παρακάτω ακολουθεί περιγραφή για τον καθένα από τους πέντε μηχανισμούς:

Α)Κροκιδώση. Η προσκόλληση των σταγονιδίων για το σχηματισμό συσσωματωμάτων αναφέρεται ως κροκιδώση. Εμφανίζεται όταν οι ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των σταγονιδίων υπερβούν τις απωστικές, χωρίς να καταστραφεί η δομή του μεσοφασικού φιλμ που περιβάλλει τα σταγονίδια.

Β)Συνένωση. Όταν συσσωματώματα ή κροκιδώματα της διασπαρμένης φάσης σχηματίζουν μια ενιαία δομή.

Γ)Αλλαγές στη συγκέντρωση σταγονιδίων. Η συγκέντρωση σταγονιδίων μπορεί να αυξηθεί είτε στο άνω είτε στο κάτω τμήμα του γαλακτώματος ανάλογα με την σχετική πυκνότητα των δύο φάσεων.

Δ)Ωρίμανση κατά Ostwald. Τα μεμονωμένα σταγονίδια διώχνουν τα μόριά τους προς τη συνεχή φάση μέχρι να διαλυτοποιηθούν.

ε)Αναστροφή φάσης. Το ιξώδες ενός γαλακτώματος αυξάνεται σταδιακά όσο περισσότερο μια δεδομένη φάση προστίθεται έως ότου επιτευχθεί ένας κρίσιμος όγκος. Εάν περισσότερη ποσότητα προστίθεται, υπερβαίνοντας τον κρίσιμο όγκο, το γαλάκτωμα θα αναστρέφεται, δηλαδή η ασυνεχής φάση θα γίνει η συνεχής (Branen et al., 2002).

Όπως διαπιστώθηκε παραπάνω, τα γαλακτώματα είναι επιρρεπή στην κατάρρευση και είναι δυνατόν να γίνουν κινητικά σταθερά για μεγάλο χρονικό διάστημα με την προσθήκη σταθεροποιητών. Ένας σταθεροποιητής είναι οποιοδήποτε συστατικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση της κινητικής σταθερότητας ενός γαλακτώματος και μπορεί να ταξινομηθεί ως γαλακτωματοποιητής ή τασιενεργό, ως παράγοντας στάθμισης ή ως αναστολέας ωρίμανσης ανάλογα με τον τρόπο δράσης του (Taha et al., 2018).

Οι γαλακτωματοποιητές είναι οργανικές ουσίες, που το μόριο τους αποτελείται από μία υδρόφοβη (μη πολική) και μία υδρόφιλη (πολική) ένωση (McClements, 2005).

Κατηγοριοποιούνται με βάση την προέλευσή τους (συνθετικοί ή φυσικοί), τη δυνατότητα ιονισμού, την υδρόφιλη/λιπόφιλη ισορροπία (HLB) και την παρουσία λειτουργικών ομάδων (Branen et al., 2002). Σε σύγκριση με τους συνθετικούς γαλακτωματοποιητές, οι φυσικοί έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα, όπως η βιοαποδομησιμότητα, η βιωσιμότητα και η βιολειτουργικότητα (Taha et al., 2018). Προστίθενται στο γαλάκτωμα προκειμένου να σταθεροποιήσουν και να αυξήσουν τη διάρκεια ζωής του προϊόντος, ενώνοντας τη λιπαρή και την υδατική φάση και μειώνοντας την επιφανειακή τάση. Η σταθεροποίηση του γαλακτώματος γίνεται με το σχηματισμό του υμενίου γύρω από τα σταγονίδια, το οποίο παρεμποδίζει την συσσωμάτωσή τους (McClements, 2005). Επίσης, συμβάλλουν στη διαταραχή των σταγονιδίων και τα προστατεύουν από τη συσσωμάτωση (Cen et al., 2018). Παρασκευάζονται από βιολογικά προϊόντα (γάλα, κρέας) ή προκύπτουν από λιπαρά οξέα (McClements, 2005). Κοινοί γαλακτωματοποιητές που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων είναι :

- Επιφανειοδραστικοί παράγοντες (π.χ. Tweens, Spans) ή ουσίες που εν μέρει είναι διαλυτές τόσο σε νερό όσο και σε έλαιο. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η αυξανόμενη χρήση επιφανειοδραστικών ουσιών στη βιομηχανία τροφίμων, η τοξικότητα και η βιοαποικοδόμησή τους αποτελεί σημαντικό πρόβλημα.
- Λεπτά διαμερισμένα στερεά, τα οποία λειτουργούν ως μηχανικοί σταθεροποιητές. Αυτά τα σωματίδια, είναι πολύ μικρότερα από τα σταγονίδια γαλακτώματος και συλλέγονται στη διεπιφάνεια λαδιού/νερού. Η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται από το μέγεθος και τις αλληλεπιδράσεις των σωματιδίων.
- Κολλοειδή σωματίδια (π.χ., ανθρακικό ασβέστιο)
- Σφαιρικά βιοπολυμερή και
- Εύκαμπτα βιοπολυμερή, π.χ. υδροκολλοειδείς γαλακτωματοποιητές (Cen et al., 2018).
- Φωσφολιπίδια (McClements, 2005)

Όταν τα σταγονίδια επικαλύπτονται με τον ίδιο τύπο γαλακτωματοποιητή, έχουν το ίδιο ηλεκτρικό φορτίο (McClements, 2005) και εάν είναι πολύ φορτισμένα ή επικαλυμμένα με ένα επιφανειοδραστικό, τότε απωθείται το ένα από το άλλο και λειτουργούν σαν ξεχωριστά σωματίδια (Robbins, 2000). Πάνω από μια κρίσιμη συγκέντρωση η περίσσεια επιφανειοδραστικής ουσίας σχηματίζει μικκύλια που προκαλούν έλξεις μεταξύ των σταγονιδίων της διεσπαρμένης φάσης. Η παρουσία επιφανειοδραστικής ουσίας και το μέγεθος των σταγονιδίων επηρεάζουν τη ρεολογία του γαλακτώματος (Robbins et al., 2002).

Η επιλογή τους εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος, την παρασκευή του γαλακτώματος, τη μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί, την ποσότητα που θα προστεθεί, τη δομή του, τα χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά της κάθε φάσης, την παρουσία άλλων συστατικών στο γαλάκτωμα (Branen et al., 2002), τον τρόπο που αλληλεπιδρά με την ελαιώδη φάση (Robbins et al., 2002). Επιπλέον, εξαρτάται από την επιθυμητή διάρκεια ζωής του προϊόντος, τη σταθερότητα και τη λειτουργικότητα (McClements, 2005). Η παρουσία γαλακτωματοποιητών μπορεί να επιταχύνει την κρυστάλλωση (Robbins et al., 2002).

**Ο Πίνακας 1** συνοψίζει τις πιο ειδικές κατηγορίες γαλακτωματοποιητών και τον τρόπο σύνθεσής τους.

**Πίνακας 1:** Κατηγορίες γαλακτωματοποιητών.

<b>Κατηγορίες γαλακτωματοποιητών</b>	<b>Περιγραφή</b>	<b>Βιβλιογραφία</b>
<b>Εστέρες γλυκερόλης</b> (μονοεστέρες, διεστέρες, μονοστεατικός και διστεατικός εστέρας γλυκερόλης)	Αυτοί συντίθενται μέσω καταλυτικής διεστεροποίησης της γλυκερόλης έχοντας ως πηγή τριγλυκεριδίων το υδρογονωμένο σογιέλαιο.	McClements (2005)
<b>Φωσφολιπίδια</b> (Λεκιθίνη, φωσφατιδυλοχολίνη)	Η λεκιθίνη, ο μόνος φυσικός γαλακτωματοποιητής, χρησιμοποιείται με την μορφή σόγιας λεκιθίνης από μια ποικιλία φυτικών πηγών (σόγια, καλαμπόκι, ηλίανθος και βαμβακόσπορος).	
<b>Πρωτεΐνες</b>	Κυριαρχούν στη δημιουργία κρέμας μέσω συγχώνευσης σταγονιδίων και σε υψηλές συγκεντρώσεις καταλήγουν σε μικκύλια που προκαλούν κροκίδωση. Επίσης, χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με άλλες επιφανειοδραστικές ουσίες, όπως λεκιθίνη και Tween όπου η περίσσεια επιφανειοδραστικού προκαλεί κροκίδωση.	Robins (2000)
<b>Εστέρες προπυλενογλυκόλης</b>	Οι εστέρες προπυλενογλυκόλης λιπαρού οξέος αποτελούνται από μεικτούς εστέρες που συντίθενται από την αντίδραση πολυμερισμένης γλυκερόλης με βρώσιμα λίπη. Ποικίλουν ανάλογα με το βαθμό πολυμερισμού της γλυκερόλης.	Branen et al. (2002)
<b>Εστέρες των λιπαρών οξέων με σορβιτόλη</b>	Οι εστέρες σορβιτόλης συντίθενται με την προσθήκη των αιθυλενοξειδίων μέσω πολυμερισμού. Είναι μη ιονικοί, αποτελεσματικοί, υδρόφιλοι γαλακτωματοποιητές.	
<b>Πολυσακχαρίτες (π.χ.πηκτίνη)</b>	Η πηκτίνη είναι ένα βιοπολυμερές που ενεργεί ως επιφανειοδραστικός γαλακτωματοποιητής που σταθεροποιεί τα γαλακτώματα και μειώνει την διεπιφανειακή τάση).	Verkempinck et al. (2018)

### 2.1.3.Σχηματισμός γαλακτώματος

Η πιο κοινή μέθοδος σχηματισμού γαλακτώματος είναι η εφαρμογή της μηχανικής ενέργειας με έντονη ανάδευση (Branen et al.,2002). Η διαδικασία μετατροπής δύο μη αναμίξιμων υγρών σε ένα γαλάκτωμα είναι γνωστή ως ομογενοποίηση, η οποία κατατάσσεται σε δύο τύπους, στην πρωτογενή και δευτερογενή (Cen et al., 2018). Το πρώτο στάδιο σχηματισμού ενός σταθερού γαλακτώματος είναι η διασπορά μιας υγρής φάσης σε μία άλλη. Ο γαλακτωματοποιητής διαλύεται αρχικά στην υδατική ή οργανική φάση ανάλογα με την διαλυτότητά του και τον επιθυμητό τύπο γαλακτώματος. Στη συνέχεια, με την ανάδευση σχηματίζονται σταγονίδια, όπου ο γαλακτωματοποιητής χωρίζει την ενδιάμεση φάση του υδατικού/οργανικού συστήματος και σταθεροποιεί το γαλάκτωμα (Branen et al., 2002).

Ένα γαλάκτωμα χαρακτηρίζεται ως σταθερό όταν αντιστέκεται σε μεταβολές των ιδιοτήτων του με το πέρασμα του χρόνου. Η σταθερότητα εξαρτάται από την κίνηση Brown, τις ηλεκτροστατικές δυνάμεις και από τις δυνάμεις van der Waals (Lissant , 1974), καθώς και από τις συνθήκες από τις οποίες σχηματίζεται, από τα συστατικά, τη θερμοκρασία και τη

φυσική κατάστασή του, το γαλακτωματοποιητή και τη συγκέντρωσή του. Επίσης, οι υπέρηχοι υψηλής έντασης (HIU), οι τροποποιητές της υφής και τα μόρια πρωτεΐνης, που προσροφούνται στην επιφάνεια των σταγονιδίων ελαίου, επηρεάζουν τη σταθερότητα του γαλακτώματος (Taha et al., 2018). Για να σχηματιστεί ένα σταθερό γαλάκτωμα πρέπει να είναι διαθέσιμη επαρκής ποσότητα γαλακτωματοποιητή, ώστε να προσροφηθεί στην υδατική/οργανική ενδιάμεση φάση (Branen et al., 2002). Ένα γαλάκτωμα μπορεί να αλλοιωθεί λόγω φυσικών ή χημικών μεταβολών, όπως οξείδωση λιπιδίων, ενζυμική υδρόλυση και βακτηριακή ανάπτυξη (McClements, 2005). Παρακάτω ακολουθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν τη ρεολογία ενός σταθερού γαλακτώματος και είναι οι εξής :

1. Μέγεθος σταγονιδίων: Επηρεάζει τη διάρκεια ζωής, τη γεύση, την υφή και την εμφάνιση του γαλακτώματος. Η κατανομή μεγέθους τους εξαρτάται από την αναλογία και τον τύπο της επιφανειοδραστικής ουσίας, την ιοντική ισχύ, τη θερμοκρασία, το χρόνο και την ταχύτητα ανάδευσης. Προσδιορίζεται με σκέδαση φωτός.

2. Ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις: Επηρεάζουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σταγονιδίων του γαλακτώματος και άλλων φορτισμένων μορίων, όπως τασιενεργά, βιοπολυμερή και αντιοξειδωτικά.

Να σημειωθεί ότι η κατανομή μεγέθους σταγονιδίων και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών επηρεάζουν τη σταθερότητα του γαλακτώματος και τη διεπιφανειακή δομή, τα οποία μεταβάλλουν δυνητικά τις ρεολογικές ιδιότητες των γαλακτωμάτων.

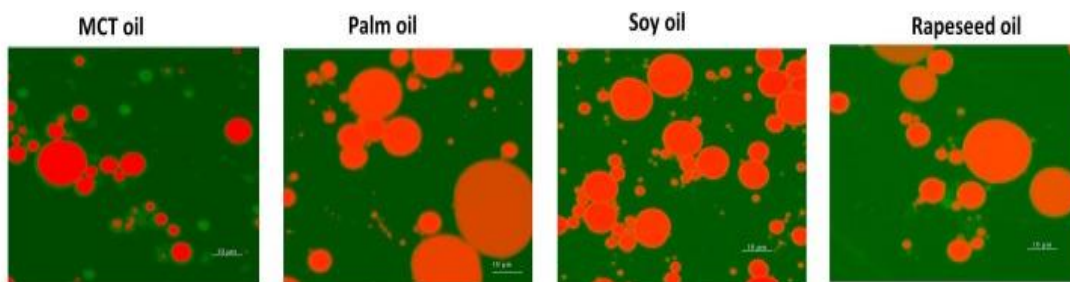
3. Πάχος, σύνθεση και ρεολογία διεπιφανειακής περιοχής: Επηρεάζουν τη σταθερότητα του γαλακτώματος.

4. Προσρόφηση των επιφανειοδραστικών ουσιών: Προκαλεί ηλεκτροστατικές αποκρούσεις που παραμορφώνουν τα γαλακτώματα (Cen et al., 2018).

5. Προσθήκη αλάτων: Μεταβάλλει τις ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις

6. Φάση σταγονιδίων (Robbins et al., 2002)

7. Τύπος ελαίου: Διαφορετικά έλαια δίνουν διαφορετικές ρεολογικές ιδιότητες που επηρεάζουν τις ιδιότητες των γαλακτωμάτων. Στο **Σχήμα 3** φαίνεται η αναπαράσταση τεσσάρων γαλακτωμάτων από τέσσερις διαφορετικούς τύπους ελαίου (Taha et al., 2018).



**Σχήμα 3:** Μικροφωτογραφίες από μικροσκοπία φθορισμού τεσσάρων γαλακτωμάτων από α) τριγλυκερίδια μέσης αλυσίδας (MCT), β) φοινικέλαιο, γ) σογιέλαιο και δ) κραιμπέλαιο (Taha et al., 2018).

#### 2.1.4. Χαρακτηριστικά και ιδιότητες γαλακτώματος

Τα γαλακτώματα αποτελούνται από επιφανειοδραστικά μόρια, τα οποία σχηματίζουν ένα προστατευτικό στρώμα που εμποδίζει την συσσωμάτωση των σταγονιδίων. Τα χαρακτηριστικά τους αλλάζουν συνεχώς από τη στιγμή του σχηματισμού μέχρι τη στιγμή της πλήρους ανάλυσης και όταν το υγρό υποβάλλεται σε αλλαγές θερμοκρασίας, πίεσης και βαθμού διέγερσης (McClements, 2005). Οι ιδιότητές τους μπορεί να είναι χημικές, φυσικές ή και τα δύο και εξαρτώνται από την απουσία ή την παρουσία συσσωμάτωσης (Robbins et al.,

2002). Οι φυσικοχημικές και οι οργανοληπτικές ιδιότητες πολλών γαλακτωμάτων εξαρτώνται από το μέγεθος, το σήμα του ηλεκτρικού φορτίου και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σταγονιδίων. Αυτές οδηγούν σε αλλαγές στη σταθερότητα, στη ρεολογία και στην εμφάνιση των γαλακτωμάτων (McClements, 2005). Τα σταγονίδια που είναι σταθερά έναντι της συσσωμάτωσης διατηρούν την ακεραιότητά τους, αλλά υπό την επίδραση μιας ελκτικής δύναμης μπορούν να κροκιδωθούν και η κροκίδωση συνδέεται με τις δυνάμεις μεταξύ των σταγονιδίων (Robins et al., 2002). Οι σημαντικότερες ιδιότητες είναι οι εξής (Lissant, 1974):

- Εμφάνιση και χρώμα: Η εμφάνιση εξαρτάται από τα συστατικά, ενώ το χρώμα ποικίλει ανάλογα με την περιεκτικότητα σε λάδι και νερό.
- Ικανότητα διασποράς: Εξαρτάται από τον τύπο του γαλακτώματος. Αν η εξωτερική φάση είναι νερό, τότε το γαλάκτωμα μπορεί να υποστεί διασπορά και να διαλυθεί σε νερό ή υδατικούς διαλύτες.
- Ιξώδες: Εξαρτάται από το ιξώδες της εξωτερικής φάσης, την αναλογία της εξωτερικής στην εσωτερική φάση και από το μέγεθος των διεσπαρμένων σταγονιδίων. Ουσίες που το αυξάνουν είναι οι πηκτικές .
- Φόρτιση σωματιδίων: Προσδιορίζεται με ηλεκτροφόρηση και προκαλείται όταν διαχωρίζεται ένα από τα συστατικά.
- Αγωγιμότητα: Εξαρτάται από την αγωγιμότητα της εξωτερικής φάσης.
- pH: Ρυθμίζεται σε μια συγκεκριμένη τιμή με τη χρήση ρυθμιστικού διαλύματος, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Τέλος, μία ιδιότητα που κάνει τα γαλακτώματα να ξεχωρίζουν είναι η δυνατότητα παραμόρφωσης των μεμονωμένων σταγονιδίων. Τα μεγάλα σταγονίδια εύκολα παραμορφώνονται, αλλά δεν ισχύει το ίδιο για αυτά που έχουν διάμετρο μικρότερη από 1μm. Ωστόσο, σε συνθήκες χαμηλής διεπιφανειακής τάσης ακόμη και τα μικρά παραμορφώνονται οδηγώντας σε έλξη μεταξύ των σταγονιδίων (Robins et al., 2002).

### **2.1.5. Μέθοδοι χαρακτηρισμού γαλακτώματος**

Για το χαρακτηρισμό ενός γαλακτώματος απαιτείται η μέτρηση των προφίλ συγκεντρώσεως σταγονιδίων και η εκτίμηση της κατανομής μεγέθους σταγονιδίων σε κάθε ύψος. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται ταξινομούνται ως εξής:

1. τεχνικές σημείου μονής πληροφορίας, όπου λαμβάνεται μία μόνο μέτρηση (π.χ. όριο ύψους) σε κάθε χρονικό διάστημα και
2. τεχνικές πολλαπλών σημείων που περιλαμβάνουν τη σάρωση συγκέντρωσης με δειγματοληψία, υπερήχους και NMR.

Οι τελευταίες συλλέγουν αρκετά δεδομένα σε κάθε χρόνο μέτρησης για να ληφθούν εκτιμήσεις συγκέντρωσης ελαίου σε ένα εύρος υψών (Robins, 2000). Επίσης, η φασματοσκοπία διάχυσης κύματος χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση των χαρακτηριστικών χρόνων χαλάρωσης των σταγονιδίων σε ένα γαλάκτωμα, είναι πολύ ευαίσθητη και εφαρμόζεται για τη διάκριση των μηχανισμών κρέμωσης (Verkempinck et al., 2018).

## 2.2.Ανακατεργασμένα τυριά

### 2.2.1.Γενικά

Τα φυσικά τυριά είναι παρόντα στην ανθρώπινη διατροφή εδώ και χιλιάδες χρόνια (Fox, 1984) και αποτελούν πηγή θρεπτικής αξίας λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε πρωτεΐνες και ασβέστιο. Ωστόσο, τα προβλήματα που προκύπτουν από τη χαμηλή σταθερότητά τους οδηγούν στην παραγωγή μίας νέας κατηγορίας, αυτή των **ανακατεργασμένων τυριών** (Talbot-Walsh et al., 2018). Η κυριότερη διαφορά μεταξύ αυτών, είναι ότι τα πρώτα περιέχουν φρέσκο γάλα, τυρόγαλα, αλάτι, ένζυμα και χρώματα. Αντίθετα, τα ανακατεργασμένα, τα οποία περιγράφονται ως ένα σταθερό γαλάκτωμα ελαίου σε νερό, παρασκευάζονται από φυσικά τυριά και περιέχουν γαλακτωματοποιητικά άλατα (κιτρικά, φωσφορικά), βούτυρο και άλλα συστατικά.

Στις μέρες μας, τα ανακατεργασμένα τυριά (**Σχήμα 4**) αποτελούν μία ευρέως σημαντική κατηγορία που καλύπτει πλήρως τόσο τις ανάγκες της βιομηχανίας όσο και των καταναλωτών, λόγω της σταθερής ποιότητάς τους, του χαμηλότερου κόστους, της μεγαλύτερης διάρκειας ζωής τους ([www.canr.msu.edu](http://www.canr.msu.edu)) και του ταχύτερου χρόνου παραγωγής τους σε σχέση με τα φυσικά τυριά ([www3.epa.gov](http://www3.epa.gov)). Σύμφωνα με τον Κώδικα Τροφίμων και Ποτών, Άρθρο 83, ανακατεργασμένα τυριά (processed cheese) ή τηγμένα τυριά (fromage fondu, schmelzkäse) και ανακατεργασμένα τυριά με αλοιφώδη υφή (spreadable processed cheese) ή τηγμένα τυριά με αλοιφώδη υφή χαρακτηρίζονται τα προϊόντα που παρασκευάζονται με άλεση, ανάμιξη, τήξη, γαλακτωματοποίηση διαφόρων ειδών τυριών με θέρμανση στους 75-85 °C και προσθήκη γαλακτωματοποιητών και με ή χωρίς την προσθήκη προϊόντων γάλακτος και/ή άλλων τροφίμων, μέχρι να προκύψει ομοιογενής μάζα.



**Σχήμα 4:** Ανακατεργασμένα τυριά ([www.agro.auth.gr](http://www.agro.auth.gr)).

Η παραγωγή αυτών των τυριών ξεκίνησε πριν από τον πρώτο Παγκόσμιο πόλεμο και έκτοτε αυξάνεται συνεχώς λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν (Kaminarides et al., 2006). Εμπορικά το πρώτο ανακατεργασμένο τυρί αναπτύχθηκε από τους Walter Gerber και Fritz Stettler στην Ελβετία το 1911, οι οποίοι χρησιμοποιώντας ως φυσικό τυρί το Emmentaler παρήγαγαν ένα ομοιογενές προϊόν, το οποίο σταθεροποιήθηκε κατά την ψύξη. Ο σκοπός της παραγωγής αυτού ήταν να αυξήσει τη διάρκεια ζωής του τυριού σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Το διάστημα του 1916, ο James Lewis Kraft παρήγαγε τηγμένα κομμάτια τυριού χωρίς όμως την προσθήκη γαλακτωματοποιητικών αλάτων, η οποία πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1921 από τον George Herbert Garstin. Το 1927, οι Wheeler & Scott εφηύραν έναν άλλον εξοπλισμό που δημιουργούσε ταχεία και ομοιόμορφη θέρμανση στο προϊόν, ενώ το 1935 μετατράπηκε από τον Norman Kraft σε cooker χρησιμοποιώντας άμεση έγχυση ατμού. Ακολούθησαν σταδιακές τροποποιήσεις στον τρόπο



ανάμιξης και γαλακτωματοποίησης των συστατικών, ώστε να προκύψει ένα ομοιόμορφο ποιοτικό προϊόν.

Το 1950 καθορίστηκαν από την Αμερικανική Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) τα πρότυπα ποιότητας για τα ανακατεργασμένα τυριά επισημαίνοντας ότι τα προαιρετικά συστατικά πρέπει υποχρεωτικά να δηλώνονται στην ετικέτα. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι σε όλες τις κατηγορίες ανακατεργασμένων τυριών με αλοιφώδη υφή, η ένδειξη “ανακατεργασμένο” μπορεί να αντικατασταθεί από το “τηγμένο”(Kosikowski et al., 1997). Στον **Πίνακα 2** καταγράφονται οι κατηγορίες, τα προαιρετικά συστατικά και οι συνθήκες των ανακατεργασμένων τυριών.

**Πίνακας 2:** Καταγραφή συστατικών και συνθηκών για κάθε κατηγορία ανακατεργασμένων τυριών σύμφωνα με την FDA (U.S. Code of Federal Regulations Άρθρο 133) ; (Fox et al., 2000).

Κατηγορίες ανακατεργασμένων τυριών	Συστατικά	Θερμοκρασία Επεξεργασίας (°C)	Υγρασία	Λίπος	pH
<b>Ανακατεργασμένα τυριά.</b> Παρασκευάζονται με άλεση, ανάμιξη, τήξη και γαλακτωματοποίηση διαφόρων ειδών τυριών, με θέρμανση και προσθήκη γαλακτωματοποιητών και με ή χωρίς την προσθήκη λίπους γάλακτος. Τουλάχιστον το 51% του ξηρού υπολείμματος του τελικού προϊόντος θα πρέπει να προέρχεται από το τυρί.	1.φυσικά τυριά 2.γαλακτωματοποιητές 3. οξέα (γαλακτικό οξύ, κιτρικό οξύ, οξικό οξύ, φωσφορικό οξύ) 4. γάλα (από κρέμα, άνυδρο λίπος γάλακτος) 5.νερό 6. αλάτι 7.χρώματα, 8.μπαχαρικά 9. αρώματα 10. συντηρητικά (σορβικό οξύ, σορβικό κάλιο, σορβικό νάτριο) 11.λεκιθίνη	71-80	<40%	> 30%	5,6-5,8
<b>Παρασκευάσματα ανακατεργασμένων τυριών.</b> Αυτά παρασκευάζονται με άλεση, ανάμιξη, τήξη και γαλακτωματοποίηση διαφόρων ειδών τυριών με θέρμανση και προσθήκη γαλακτωματοποιητών και άλλων επιτρεπόμενων προσθέτων και τροφίμων.	1.Φυσικά τυριά (> 51% w/w του τελικού προϊόντος) 2. όσα συστατικά επιτρέπονται στα ανακατεργασμένα τυριά και 3.γάλα (αποβουτυρωμένο γάλα ή βουτυρόγαλα ή τυρόγαλα)	79-85	<44%	>23%	5,2-5,6
<b>Ανακατεργασμένα τυριά με αλοιφώδη υφή.</b> Παρασκευάζονται με άλεση, ανάμιξη, τήξη και γαλακτωματοποίηση διαφόρων ειδών τυριών, με θέρμανση και προσθήκη γαλακτωματοποιητών και με ή χωρίς την προσθήκη λίπους γάλακτος. Τουλάχιστον το 51% του ξηρού υπολείμματος του τελικού προϊόντος θα πρέπει να προέρχεται από το τυρί).	1.Φυσικά τυριά ή τροποποιημένα τυριά με ένζυμα (> 51% του τελικού προϊόντος) 2. όσα συστατικά επιτρέπονται στα ανακατεργασμένα τυριά 3.κόμμεα 4. γλυκαντικές ουσίες.	88-91	44 - 60%	<20%	5,2

Να σημειωθεί ότι όλα τα ανακατεργασμένα τυριά παρασκευάζονται μέσα σε ένα στενό εύρος pH που κυμαίνεται από 5,2 έως 5,8. Τα τυριά χαμηλού pH χαρακτηρίζονται ξηρά και εύθρυπτα, ενώ αυτά με υψηλό pH υγρά και ελαστικά. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι μόνο προϊόντα από φυσικό τυρί και άλατα τήξης μέχρι 3% και με υγρασία όχι περισσότερο από 43% και περιεκτικότητα σε λιπαρές ουσίες τουλάχιστον 47% μπορούν να επισημανθούν ως ανακατεργασμένα τυριά (Lee & Klostermeyer, 2001).

## **2.2.2.Σύσταση ανακατεργασμένων τυριών**

### **2.2.2.1.Φυσικό τυρί**

Η βασική πρώτη ύλη στην οποία βασίζεται η παρασκευή των ανακατεργασμένων τυριών είναι τα τυριά από πήγμα πυτιάς, τα οποία μπορεί να είναι σκληρά, ημίσκληρα ή μαλακά. Τα τυριά που λαμβάνονται με οξίνιση του γάλακτος, τα υπερώριμα ή ακάθαρτα τυριά που εμφανίζουν σήψη, είναι ακατάλληλα για την παρασκευή αυτών. Η καταλληλότητα ενός φυσικού τυριού που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή αυτών εξαρτάται από το είδος, την περιεκτικότητα σε λίπος και υγρασία, την τιμή του pH, τις οργανοληπτικές ιδιότητες, το βαθμό ωρίμανσης (Caric & Kalab, 1987) και τη χημική σύστασή του. Τα τυριά που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό έχουν την εξής σύσταση: 56% σε ξηρή ουσία, 50% σε λίπος επί ξηρού και 3-4% σε λακτόζη (Berger et al., 2002).

Σύνθετες φαινόμενα είναι η χρήση πολλαπλών φυσικών τυριών για την παραγωγή ενός ανακατεργασμένου τυριού. Η ποσότητα, η ηλικία και η σύνθεση του φυσικού τυριού επηρεάζει την υφή και τη γεύση των ανακατεργασμένων τυριών. Η τιμή pH των φυσικών τυριών επηρεάζει εξίσου τα χαρακτηριστικά των ανακατεργασμένων τυριών. Τα όξινα φυσικά τυριά (με τιμή pH 4.6-4.9) δίνουν υψηλή ευθρυπτότητα, ενώ το τυρί που έχει υποστεί επεξεργασία, με υψηλές τιμές pH κοντά στο 6 και πάνω, είναι μαλακό και ελαστικό (Talbot-Walsh et al. (2018). Ο βαθμός ωρίμανσης των φυσικών τυριών εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε άθικτη καζεΐνη που είναι υπεύθυνη για το σχηματισμό της δομής των ανακατεργασμένων τυριών και θα πρέπει να είναι λιγότερη από 12%. Προκειμένου να παρασκευαστούν ανακατεργασμένα τυριά άριστης ποιότητας, συνδυάζονται τυριά διάφορων ηλικιών, τύπων και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (Caric & Kalab, 1987).

Ένα από τα πιο συνηθισμένα φυσικά τυριά που χρησιμοποιείται ως βάση για την παρασκευή ανακατεργασμένων τυριών είναι το Χαλλούμι. Αυτό είναι ένα ημίσκληρο τυρί, χωρίς κρούστα, κατάλληλο για τεμαχισμό, που διατηρείται πολύ καλά σε θερμοκρασίες κατάψυξης και έχει ιδιαίτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, δίνοντας μια καλή και σταθερή υφή στο παραγόμενο τυρί (Kaminarides et al., 2006). Άλλοι τύποι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι τα Cheddar, Emmental, Gruyere, Gouda, Edam, Colby, Mozzarella, Monterey Jack, Tilsit, Trappist, Fontina και Provolone (Meyer, 1973; Nogueira de Oliveira et al., 2011).

### **2.2.2.2.Γαλακτωματοποιητικά άλατα**

Όλα τα ανακατεργασμένα τυριά παρασκευάζονται με γαλακτωματοποιητικό άλας (ES) και το ανώτατο όριο στο τελικό προϊόν μπορεί να φτάσει τα 30 g/kg για τον κάθε γαλακτωματοποιητή (ΚΤΠ, 2009). Παρά το όνομα, τα άλατα αυτά δεν είναι άμεσα γαλακτωματοποιητές, καθώς δεν βοηθούν τα ίδια στην ομογενοποίηση του λίπους στο τυρί. Η διασπορά και η ομογενοποίηση αυτού λαμβάνουν χώρα με γαλακτωματοποίηση με τη βοήθεια της καζεΐνης που υπάρχει στο τυρί ως αδιάλυτο καζεϊνικό ασβέστιο (Talbot-Walsh et al., 2018). Ο ρόλος αυτών είναι (Caric & Kalab, 1987; Ανυφαντάκης, 1992; Spreer, 1995; Kennedy, 2008):

- Δίνουν ομοιόμορφη δομή κατά τη διάρκεια της τήξης των τυριών και μετά την ψύξη.
- Συμπληρώνουν την γαλακτωματοποιητική δράση των πρωτεϊνών του τυριού.
- Ενισχύουν τις φυσικοχημικές μεταβολές του τυριού κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας.
- Ελέγχουν και σταθεροποιούν την τιμή του pH, ώστε να υπάρχει άριστη δομή και συντήρηση του προϊόντος καθώς και μείωση των μορίων της παρακαζεΐνης.
- Μεταβάλλουν τις φυσικές ιδιότητες του τυριού, συμπεριλαμβανομένης της διασποράς των λιποσφαιρίων.
- Απομακρύνουν το ασβέστιο από το σύστημα πρωτεϊνών.
- Διαλυτοποιούν, ενυδατώνουν και διογκώνουν τις πρωτεΐνες.
- Γαλακτωματοποιούν το λίπος και σταθεροποιούν το γαλάκτωμα.
- Αναστέλλουν τον διαχωρισμό της πρωτεΐνης, του λίπους και του νερού, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία στο τηγμένο τυρί.

Διαφορετικά γαλακτωματοποιητικά άλατα έχουν διαφορετικές ικανότητες με αποτέλεσμα να επηρεάζουν διαφορετικά το τυρί, όπως συνοψίζονται στον **Πίνακα 3**. Για να εξασφαλιστεί η γαλακτωματοποίηση του προστιθέμενου άλατος, συνήθης πρακτική είναι η χρήση πολλαπλών τύπων ES με διαφορετική γαλακτωματοποίηση στο ενιαίο προϊόν (Talbot-Walsh et al., 2018). Το κιτρικό οξύ είναι η πρώτη ουσία που χρησιμοποιήθηκε το 1912 σαν γαλακτωματοποιητής (Ανυφαντάκης, 1992) και οι πιο κοινοί είναι το κιτρικό τρινάτριο και το φωσφορικό δινάτριο (Talbot-Walsh et al., 2018).

**Πίνακας 3:** Σύνοψη των δυνατοτήτων διαφορετικών τύπων γαλακτωματοποιητικών αλάτων.

<b>Είδη γαλακτωματοποιητικών αλάτων</b>	<b>Ικανότητα</b>	<b>Βιβλιογραφία</b>
Μονοφωσφορικά άλατα νατρίου	Υψηλή ρυθμιστική ικανότητα του pH.	Talbot-Walsh et al. (2018)
Πολυφωσφορικά άλατα νατρίου	Υψηλά ποσοστά απομόνωσης ασβεστίου και χαμηλή ρυθμιστική ικανότητα.	
Πυροφωσφορικά	Πολύ καλή ικανότητα γαλακτωματοποίησης και ενυδάτωση καζεΐνης.	
Κιτρικό τρινάτριο	Υψηλή ρυθμιστική ικανότητα του pH.	Kaminarides et al. (2006)
Κιτρικό δινάτριο	Υψηλή ρυθμιστική ικανότητα του pH.	
Κιτρικό άλας	Μείωση της τάσης συσσωμάτωσης λίπους στο τυρί.	Caric & Kalab (1987)
Τρυγικό άλας	Μείωση της τάσης συσσωμάτωσης λίπους στο τυρί.	Kennedy (2008)
φωσφορικό κάλιο	Μείωση της τάσης συσσωμάτωσης λίπους στο τυρί.	

Συμπερασματικά, ο βαθμός διαχωρισμού της καζεΐνης, το pH και η σκληρότητα του προϊόντος τυριού αυξάνονται με τις αυξανόμενες συγκεντρώσεις των γαλακτωματοποιητικών αλάτων, ενώ η τήξη του προϊόντος μειώνεται. Τέλος, να σημειωθεί ότι ο ρυθμός αύξησης

εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το συγκεκριμένο άλας που χρησιμοποιείται (Talbot-Walsh et al., 2018).

### **2.2.2.3. Λίπη**

Αν και περίπου το 90% του λίπους στο τυρί που έχει υποστεί επεξεργασία προέρχεται από τα φυσικά τυριά, τα ανακατεργασμένα χρειάζονται επιπλέον λίπος, για να εξασφαλίσουν την ικανοποιητική υφή και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους. Τα λίπη αυτών προέρχονται από γαλακτοκομικά προϊόντα, όπως το βούτυρο και η κρέμα γάλακτος (Talbot-Walsh et al., 2018). Το βούτυρο ρυθμίζει την λιποπεριεκτικότητα των τυριών, ώστε το τελικό προϊόν να περιέχει 65-66% λίπος επί ξηρού (Kaminarides et al., 2006). Η ομογενοποίηση του λίπους είναι σημαντική, καθώς η κατανομή και το μέγεθος των λιποσφαιρίων, τα οποία επιτρέπουν εύκολη θραύση κατά τη διαδικασία της μάζησης, επηρεάζουν άμεσα τα φυσικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Τα τυριά με εντονότερη ομογενοποίηση είναι πιο σταθερά και πιο σκληρά (Talbot-Walsh et al., 2018). Επίσης, διαπιστώθηκε ότι η μείωση του λίπους κατά περισσότερο από 50% επηρεάζει δυσμενώς τη γεύση και την υφή τους.

Η μείωση του κόστους με τη χρήση φυτικών λιπών είναι μια κοινή πρακτική λύση. Αυτά παρέχουν μειωμένη περιεκτικότητα σε χοληστερόλη σε σύγκριση με τα γαλακτοκομικά, αυξάνοντας τα οφέλη της υγείας του καταναλωτή. Έτσι, τα τελευταία χρόνια παρασκευάζονται ανακατεργασμένα τυριά με μειωμένη ή χαμηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά, η οποία αντικαθίσταται από νερό, πρωτεΐνες ή άλλα πρόσθετα που δεν απαντώνται στα παραδοσιακά τυριά (Lee & Klostermeyer, 2001).

### **2.2.2.4. Πρωτεΐνες**

Ένα από τα κύρια συστατικά των ανακατεργασμένων τυριών είναι οι πρωτεΐνες, που συνήθως προέρχονται από φυσικά τυριά. Αυτές σχηματίζουν ένα συνεχές δίκτυο, στο οποίο διασκορπίζεται η λιπαρή φάση. Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη πρωτεΐνη γάλακτος είναι η καζεΐνη, ενώ άλλες εξίσου διαδεδομένες είναι η σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος, οι πρωτεΐνες ορού και τα συμπυκνώματα πρωτεΐνης γάλακτος (Talbot-Walsh et al., 2018). Η πρωτεΐνη ορού γάλακτος προστίθεται γενικά ως ένα φθινό υποκατάστατο, δεν είναι τόσο αμφίφιλη, όπως η καζεΐνη, και επομένως δεν είναι τόσο αποτελεσματική όσο ένας γαλακτωματοποιητής κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Επίσης, επηρεάζεται από τη θερμότητα και περιορίζει αισθητά την ικανότητα των ανακατεργασμένων τυριών να τήκονται και να ρέουν όταν θερμαίνονται (Guinee, 2009).

### **2.2.2.5. Άλλες βοηθητικές ύλες**

Για την παρασκευή των ανακατεργασμένων τυριών, εκτός της προσθήκης των παραπάνω, εξίσου σημαντική είναι και η παρουσία του νερού, του αλατιού και άλλων πρόσθετων δημιουργώντας ένα ευρύ φάσμα προϊόντων διατροφής. Το νερό βοηθά στην καλύτερη διασπορά του γαλακτωματοποιητή και στη διάλυση της καζεΐνης και χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη της υγρασίας στο τυρί. Τα πρόσθετα, όπως συστατικά γάλακτος, μπαχαρικά, χρωστικές ουσίες (καροτένια, ανάττο, εκχύλισμα πάπρικας), αρωματικές ενώσεις και τεχνητά χρώματα προσδίδουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά στα τυριά (Caric & Kalab, 1987). Ακόμη, χρησιμοποιούνται λακτόζη, πολυσακχαρίτες, κόμμεα, σταθεροποιητές και συντηρητικά ώστε να μειώσουν το κόστος, να βελτιώσουν τη γεύση ή την υφή καθώς και τη διάρκεια ζωής του προϊόντος (Lee & Klostermeyer, 2001). Προκειμένου να αυξηθούν τα οφέλη των ανακατεργασμένων τυριών προστίθενται βιταμίνες, προβιοτικά και πρεβιοτικά που ενισχύουν τη λειτουργικότητα των παραγόμενων προϊόντων. Τα προβιοτικά είναι ζωντανοί μικροοργανισμοί και συνήθως γαλακτικά βακτήρια. Τα

στελέχη *Lactobacillus* και *Bifidobacterium* χρησιμοποιούνται συχνότερα στην παραγωγή τροφίμων και θα πρέπει η προβιοτική βιωσιμότητα να διατηρείται καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του προϊόντος. Τέλος, οι λιποδιαλυτές βιταμίνες A, D και E παρουσιάζουν καλή θερμική σταθερότητα και δεν αποικοδομούνται με την πάροδο του χρόνου και οι βιταμίνες C και E έχουν καλές επιδράσεις σταθεροποίησης και ενσωμάτωσης του λίπους στο επεξεργασμένο τυρί (Talbot-Walsh et al., 2018).

### 2.2.3.Τεχνολογία παρασκευής ανακατεργασμένων τυριών.

Τα στάδια παρασκευής των ανακατεργασμένων τυριών είναι τα εξής :

- Επιλογή πρώτης ύλης. Είναι σημαντική γιατί καθορίζει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Συνήθως, επιλέγονται τυριά καλής ποιότητας, τα οποία προέρχονται από πήγμα πυτιάς. Επίσης, συνδυάζονται σκληρά τυριά που προσδίδουν καλύτερη δομή και μαλακά τυριά που προσδίδουν ευχάριστο άρωμα. Είναι απαραίτητο η άθικτη καζεΐνη να είναι τουλάχιστον 12% του τελικού προϊόντος και να προστεθεί ο κατάλληλος γαλακτωματοποιητής. Ακολουθεί η προσθήκη συστατικών (π.χ. γάλα, μπαχαρικά, κ.α.) με στόχο να αυξήσουν την θρεπτική αξία, να βελτιώσουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και την διατηρησιμότητα του προϊόντος (<https://www3.epa.gov>).
- Υπολογισμός μίγματος. Προσδιορισμός του λίπους και της υγρασίας, των λοιπών συστατικών (π.χ. γαλακτωματοποιητές, κ.α.) και της τελικής σύστασης του προϊόντος σύμφωνα με τα όρια της νομοθεσίας.
- Καθαρισμός τυριών. Αφαίρεση της επιδερμίδας στα ημίσκληρα τυριά και καθαρισμός με ψήκτρα στα μαλακά τυριά.
- Τεμαχισμός και άλεση τυριών σε μύλο (Caric & Kalab, 1987).
- Προανάμιξη των γαλακτωματοποιητικών αλάτων με την απαιτούμενη ποσότητα νερού (Kaminarides et al.,2006).
- Ανάμιξη των συστατικών του μίγματος. (Caric & Kalab, 1987).
- Θερμική επεξεργασία. Γίνεται υπό συνεχή ανάδευση με άμεση ή έμμεση έγχυση ατμού στους 70-95 °C για 3-4 min ή στους 130-145 °C για 2-3 δευτερόλεπτα και μηχανική ανάδευση του μίγματος. Σε αυτό το στάδιο, στο λιωμένο τυρί παρατηρείται ο διαχωρισμός του λίπους από τον ορό. Ακολουθεί η προσθήκη γαλακτωματοποιητών ώστε να υπάρξει διασπορά λίπους και να δημιουργηθεί ομοιογενής μάζα (<https://www3.epa.gov>).
- Συσκευασία της μαλακής τετηγμένης ομοιογενής μάζας που προκύπτει μετά την θερμική επεξεργασία. Ως υλικό συσκευασίας χρησιμοποιούνται ειδικά πλαστικά φιλμ, φύλλα αλουμινίου, πλαστικά κουτιά με ασηπτικές συνθήκες κ.α.
- Ψύξη σε κατάλληλη θερμοκρασία και χρόνο. Όσο πιο γρήγορα γίνεται η ψύξη των ανακατεργασμένων τυριών τόσο πιο μαλακή είναι η δομή του τελικού προϊόντος.
- Αποθήκευση των ανακατεργασμένων τυριών στους 5-10 °C. Σε θερμοκρασία μικρότερη των 0°C είναι αδύνατη η αποθήκευσή τους, γιατί σε αυτή την περίπτωση θα υπάρχουν αρνητικές συνέπειες στην δομή των τυριών. Αντίστοιχα σε περίπτωση υψηλότερων θερμοκρασιών από τους 10 °C θα παρουσιαστούν αλλοιώσεις στο τυρί (Caric & Kalab, 1987).
- Για την αποφυγή της μούχλας μπορούν να προστεθούν αντιπηκτικοί παράγοντες (<https://www3.epa.gov>).

Οι ιδιότητες του τελικού προϊόντος επηρεάζονται από τον τρόπο επεξεργασίας και τα συστατικά του. Έχει βρεθεί ότι ο χρόνος και η θερμοκρασία της θερμικής επεξεργασίας, ο τρόπος ανάδευσης καθώς και ο ρυθμός ψύξης επηρεάζουν τις ιδιότητες του τελικού

προϊόντος. Επίσης, οι λειτουργικές ιδιότητες τους επηρεάζονται εξίσου από τα πρόσθετα συστατικά, τις συνθήκες γαλακτωματοποίησης, την λιποπεριεκτικότητα, τον τρόπο αποθήκευσης και την ωρίμανση (Fu et al., 2018). Παρακάτω ακολουθεί ο **Πίνακας 4** που συνοψίζει τους κύριους παράγοντες επίδρασης των χαρακτηριστικών τους.

**Πίνακας 4:** Σύνοψη των κύριων παραγόντων που επηρεάζουν τα ανακατεργασμένα τυριά (Talbot-Walsh et al., 2018).

Παράγοντας	Αποτέλεσμα
Τύπος φυσικού τυριού	Τα ώριμα τυριά δίνουν μικρά επίπεδα φωσφόρου στα ανακατεργασμένα τυριά και αυξάνουν την σταθερότητα τους. Αντίθετα, τα μικρότερης ηλικίας τυριά δίνουν καλή υφή στα παραγόμενα τυριά.
Υγρασία	Η αυξημένη περιεκτικότητα σε νερό αυξάνει την παρουσία βακτηρίων προκαλώντας αλλοιώσεις στο τελικό προϊόν.
Άμυλο	Η θέρμανση του αμύλου καλυτερεύει την υφή του τελικού προϊόντος. Το άμυλο με περισσότερη αμυλόζη αυξάνει την σκληρότητα του προϊόντος.
pH	Η τιμή του επηρεάζει το φορτίο της πρωτεΐνης και μπορεί να προκαλέσει μεταβολές στο τελικό προϊόν. Η τιμή 4,6 δίνει αυξημένη σκληρότητα στο τελικό προϊόν.

Ο σημαντικότερος λόγος παραγωγής ανακατεργασμένων τυριών είναι η εκμετάλλευση τυριών κατώτερων μηχανικά (π.χ. υπερωρίμανση) ή έχοντας επιφανειακά ελαττώματα (Gouda et al., 2003). Εκτός αυτού, τα παραγόμενα τυριά εμφανίζουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (<https://www3.epa.gov>) και αντοχή εξαιτίας της θερμικής επεξεργασίας την οποία υφίστανται και είναι πιο εύπεπτα λόγω της διαλυτοποιημένης πρωτεΐνης (Fox, 1984). Υπάρχει μεγάλη ποικιλία σε γεύση, υφή, λειτουργικότητα, εμφάνιση, με αποτέλεσμα να υπάρχει ποικιλία στην σύσταση, στις συνθήκες παρασκευής, ακόμη και στο σχήμα και μέγεθος της συσκευασίας. Δεν χάνουν βάρος κατά τη συντήρησή τους και δεν αλλοιώνονται τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους (Kaminarides & Stachtiaris, 2000), δεν επιμολύνονται από μικρόβια, δεν προσβάλλονται από έντομα και δεν έχουν σημαντικό μικροβιακό φορτίο (Gouda et al., 2003). Επίσης, έχουν μηδαμινές απώλειες γιατί διατίθενται συνήθως σε μικρά τεμάχια με καθορισμένο βάρος. Το κόστος παρασκευής τους είναι μικρότερο σε σχέση με αυτό των φυσικών τυριών, γιατί χρησιμοποιεί υποβαθμισμένης ποιότητας τυριά καθώς και διάφορα άλλα χαμηλού κόστους προϊόντα (Caric & Kalab, 1987). Ακόμη μπορούν να αποθηκευθούν για μήνες υπό ψύξη (παστεριωμένα) ή ακόμη και για χρόνια χωρίς ψύξη (αποστειρωμένα) ή χωρίς καθόλου ψύξη λόγω της προσθήκης των συντηρητικών (Fox, 1984). Τέλος, παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά τήξης και σταθερότητα και βοηθούν στην δημιουργία νέων καινοτόμων προϊόντων (Kaminarides & Stachtiaris, 2000).

Τα ελαττώματα των ανακατεργασμένων τυριών οφείλονται είτε στην προέλευση και στην ποιότητα της πρώτης ύλης είτε στις συνθήκες επεξεργασίας αυτών, λόγω ανεπαρκούς ή υπερβολικής θέρμανσης ή/και ανάδευσης. Συγκεκριμένα, η εμφάνιση της κοκκώδους υφής οφείλεται στην μεγάλη ποσότητα ανώριμων τυριών, σε ανωμαλίες του pH και σε υπερβολική δόση γαλακτωματοποιητή, ενώ η εμφάνιση της αλευρώδους υφής συμβαίνει όταν η τιμή του pH είναι πάνω από 5,8 και έχει χρησιμοποιηθεί υπερβολική δόση γαλακτωματοποιητών. Επίσης, η ιξώδης υφή εμφανίζεται όταν παρουσιάζεται υπερβολική θερμική επεξεργασία, έχει προστεθεί μεγάλη ποσότητα νερού ή γαλακτωματοποιητή και η τιμή του pH είναι πάνω από 5,8. Άλλα συνήθη ελαττώματα των επεξεργασμένων τυριών είναι ο σχηματισμός αερίων και κρυστάλλων. Ο σχηματισμός των αερίων προκαλείται από βακτηρία του γένους *Clostridium*,

διότι τα σπόρια αυτού δεν καταστρέφονται κατά την επεξεργασία των τυριών, με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και να ζυμώνουν την λακτόζη παράγοντας αέρια. Ο σχηματισμός των κρυστάλλων σχετίζεται με το είδος και την ποιότητα του γαλακτωματοποιητή, καθώς και με το αμινοξύ τυροσίνη. Τέλος η εμφάνιση ελαφριάς ρόδινης έως καστανής απόχρωσης αποδίδεται στην θέρμανση του μίγματος σε υψηλή θερμοκρασία κατά την επεξεργασία ή στην λακτόζη (Caric & Kalab, 1987).

Η υπέρμετρη κατανάλωση των ανακατεργασμένων τυριών μπορεί να οδηγήσει σε υπέρταση και παχυσαρκία. Η υψηλή ποσότητα αλατιού, αυξάνει την αρτηριακή πίεση και συμβάλλει στην αύξηση της κακής χοληστερόλης που οδηγεί σε διάφορες καρδιακές παθήσεις (Kennedy, 2008).

## 2.3.Αναπληρώματα τυριού

### 2.3.1.Γενικά

Μία σημαντική κατηγορία τυριών σήμερα, που κυριαρχεί στις προτιμήσεις των καταναλωτών είναι τα λεγόμενα **αναπληρώματα τυριού**. Η παραγωγή αυτών με την πάροδο του χρόνου γίνεται όλο και μεγαλύτερη, λόγω της λήψης φθηνότερων και υγιεινότερων εναλλακτικών λύσεων, της ποικιλίας και της εκπλήρωσης των προσδοκιών των καταναλωτών σε συγκεκριμένες εφαρμογές (Chavan & Jana, 2007).

Τα ανακατεργασμένα τυριά είναι ισοδύναμα θρεπτικά με τα αναπληρώματα. Οι διαφορές τους είναι ότι τα δεύτερα δεν περιέχουν τυρί και ότι υπάρχει διαφορετικό μέγεθος λιποσταγονιδίων με αποτέλεσμα να υπάρχει διαφορετική κατανομή (Guinee et al., 2016). Συγκεκριμένα, τα ανακατεργασμένα τυριά αποτελούνται από πολλά μικρού μεγέθους σφαιρικά λιποσταγονίδια, τα οποία είναι διασκορπισμένα σε ένα ομοιόμορφο δίκτυο πρωτεϊνών, ενώ τα αναπληρώματα από μεγαλύτερης διαμέτρου, που είναι λιγότερο ομοιόμορφα κατανεμημένα (Cunha et al., 2010). Ωστόσο και οι δύο κατηγορίες έχουν ομοιότητες, όπως η χρήση ίδιων συστατικών (π.χ. γαλακτωματοποιητικά άλατα, πρωτεΐνες γάλακτος), η σύνθεση, η τεχνολογία παρασκευής, η απουσία περιόδου ωρίμανσης, η ποικιλία υφής, οι ποικίλες μορφές συσκευασίας και η χρήση τους ως εναλλακτικές λύσεις για το φυσικό τυρί σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών (Guinee et al., 2016).

Η ανάπτυξη των έτοιμων φαγητών και η ζήτηση για προϊόντα με μικρότερο ποσοστό λίπους και χοληστερόλης τα τελευταία χρόνια, συνδέεται άμεσα με την ανάπτυξη των **αναπληρωμάτων τυριού ή αναλογικών τυριών ή τυριών απομίμησης**, όπως αλλιώς ονομάζονται (Bachmann et al., 2001 ; Jana & Upadhyay, 2003). Αυτά παράγονται σύμφωνα με τις ανάγκες των καταναλωτών, προσφέροντας σημαντικά οφέλη και αποτελούν απειλή για τα φυσικά τυριά επιτρέποντας περισσότερες εφαρμογές ως προς τον χειρισμό, την υφή και την οικονομία. Είναι γαλακτώματα ελαίου σε νερό, παρόμοια με το φυσικό τυρί, όπου τα σταγονίδια λίπους είναι ενσωματωμένα στις πρωτεΐνες που λειτουργούν ως γαλακτωματοποιητές (Bachmann et al., 2001) και έχουν παρόμοια σύνθεση, εμφάνιση, χαρακτηριστικά και χρήση με τα τυριά γάλακτος (Chavan & Atanu, 2007).

Σύμφωνα με τον Fox et al., 2000, αναπληρώματα τυριού ή τυριά απομίμησης ορίζονται τα προϊόντα τυριού, τα οποία πρόκειται να αντικαταστήσουν εν μέρει ή εξ ολοκλήρου το λίπος ή/και την πρωτεΐνη γάλακτος με αντίστοιχα που δεν βασίζονται σε γάλα και είναι κυρίως φυτικής προέλευσης πρωτεΐνες (πρωτεΐνη φυτικών ή σόγιας) και λίπη ή έλαια (δηλαδή υδρογονωμένα φυτικά λίπη όπως σογιέλαιο, φοινικέλαιο κλπ.) ή να μιμηθούν τυριά. Ουσιαστικά αντικαθίστανται τα μη λιπαρά στερεά γάλακτος και τα λίπη γάλακτος με καζεϊνικά άλατα και φυτικά έλαια (Bachmann et al., 2001). Αυτά (**Σχήμα 5**) δεν πρέπει να είναι θρεπτικά κατώτερα από το τυρί που προορίζεται να μιμηθεί και θα πρέπει να έχουν μεγαλύτερη θρεπτική αξία σε σύγκριση με τα γνήσια (Chavan & Atanu, 2007).



**Σχήμα 5:** Μοτσαρέλα (www.polyhealth.gr)

Η βιομηχανική παραγωγή των αναπληρωμάτων τυριού ξεκίνησε από τις ΗΠΑ στις αρχές της δεκαετίας του 1970 και αποτέλεσαν φθηνές εναλλακτικές λύσεις έναντι των παραδοσιακών τυριών (Guinee et al., 2016). Από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, η παραγωγή τους αναπτύχθηκε περισσότερο λόγω της αυξημένης ζήτησης τους κυρίως στους χώρους εστίασης έτοιμου φαγητού. Η παρασκευή και η πώληση τους συνεχίστηκε στις ΗΠΑ και εξαπλώθηκε και στην Αυστραλία αλλά και σε πολλές χώρες της Ευρώπης όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Σουηδία, τη Γαλλία, τη Γερμανία, το Βέλγιο και την Ελβετία. Σήμερα, η αγορά του αναλογικού τυριού ευδοκimeί κυρίως στις ΗΠΑ, η οποία αντιπροσωπεύει τη μεγαλύτερη παραγωγική περιοχή σε αντίθεση με την Ευρώπη λόγω της χαμηλότερης χρήσης του τυριού ως συστατικού σε τυποποιημένα τρόφιμα (Chavan & Jana, 2007).

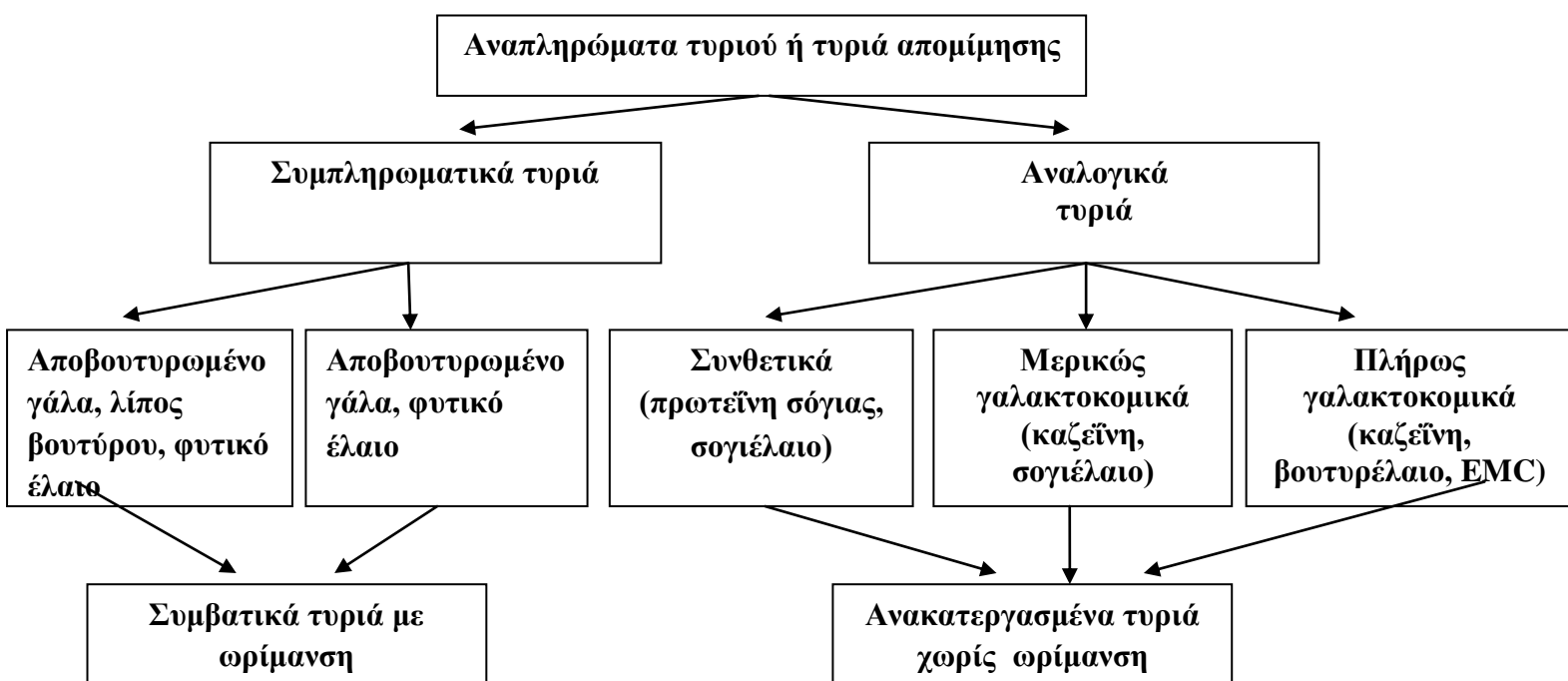
Τα τυριά απομίμησης ή αναπληρώματα τυριού κατατάσσονται αυθαίρετα σε δυο κατηγορίες :

α) Αναλογικά τυριά. Κατηγοριοποιούνται σε πλήρως, μερικώς ή μη γαλακτοκομικά προϊόντα (**Σχήμα 6**) ανάλογα με το αν το λίπος και /ή πρωτεΐνες προέρχονται από γαλακτοκομικές ή φυτικές πηγές. Τα πλήρως γαλακτοκομικά περιέχουν καζεΐνη, καζεϊνικά άλατα και λίπος γάλακτος ή βουτυρέλαιο, τα μερικώς γαλακτοκομικά περιέχουν καζεΐνη, καζεϊνικά άλατα και φυτικά έλαια (σογιέλαιο, ηλιέλαιο, φοινικέλαιο, πολυακόρεστα λιπαρά οξέα), ενώ τα συνθετικά περιέχουν φυτικές πρωτεΐνες (π.χ. σόγιας) και φυτικά έλαια (Chavan & Atanu, 2007), προσφέρονται σε χαμηλότερο κόστος και προορίζονται για χορτοφάγους (Massotti et al., 2018). Η χρήση φυτικών ελαίων προέκυψε, διότι η χρήση λίπους βουτύρου, εγκυμονούσε κινδύνους αύξησης χοληστερόλης (Bachmann et al., 2001). Να σημειωθεί ότι τα αναλογικά τυριά δεν υφίστανται ωρίμανση (Chavan & Atanu, 2007) και δεν είναι απαραίτητο να περιέχουν φυσικό τυρί, ενώ αν περιέχουν αυτό θα αποτελεί μόνο το 5% του τελικού προϊόντος (Guinee et al., 2004).

β) Συμπληρωματικά τυριά. Διαφέρουν από τα φυσικά τυριά, διότι το λίπος γάλακτος αντικαθίσταται εν μέρει ή πλήρως από φυτικά έλαια. Μπορούν να παρασκευαστούν είτε με χρήση γάλακτος, συνήθως αποβουτυρωμένου μαζί με φυτικό έλαιο είτε με εντελώς συνθετικά συστατικά χρησιμοποιώντας φυτικές πρωτεΐνες (Chavan & Atanu, 2007).

Στο παρακάτω **Σχήμα 6** ακολουθεί μία συνοπτική περιγραφή των δυο κατηγοριών.





Σχήμα 6: Κατάταξη αναπληρωμάτων τυριού (Bachmann et al., 2001).

### 2.3.2.Σύσταση αναπληρωμάτων τυριού

Τα αναλογικά τυριά αποτελούνται από ένα συνδυασμό πρωτεϊνικών πηγών, λιπών/ελαίων φυτικής ή γαλακτοκομικής προέλευσης και νερού ως βασικά συστατικά. Άλλα συστατικά είναι το γάλα, τα γαλακτωματοποιητικά άλατα, τα υδροκολλοειδή, οι παράγοντες οξίνισης και γεύσης, οι βιταμίνες, τα μέταλλα, τα συντηρητικά και άλλα πρόσθετα (Abdullah & Gürkan, 2016; Massotti et al., 2018). Εκτός αυτών, οι ιδιότητες των τυριών απομίμησης μπορούν να βελτιωθούν με την προσθήκη θρεπτικά ευεργετικών συστατικών όπως ίνες, άμυλο και με την μείωση της λιποπεριεκτικότητας (Abdullah & Gürkan, 2016). Μια τυπική σύσταση αναπληρωμάτων τυριού φαίνεται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5: Μέση σύσταση των συστατικών των αναπληρωμάτων τυριού (Abdullah & Gürkan, 2016).

Συστατικά	Σύσταση (%)
Καζεΐνη και καζεϊνικά άλατα	18-24
Φυτικά έλαια	22-28
Άμυλο	0-3
Γαλακτωματοποιητής	0,5-2
Οξέα	0,2-0,36
Χρωστικές	0,04
Συντηρητικά	0,1
Νερό	45-55

Μια σειρά από συστατικά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή αναπληρωμάτων τυριού, την λειτουργία και τα παραδείγματα του καθενός απεικονίζονται στον **Πίνακα 6** (Chavan & Atanu, 2007).

**Πίνακας 6:** Συστατικά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή αναπληρωμάτων τυριού (Chavan & Atanu, 2007).

<b>Συστατικά</b>	<b>Κύρια λειτουργία/Αποτέλεσμα</b>	<b>Παράδειγμα</b>	<b>Βιβλιογραφία</b>
Λίπος	Δίνει επιθυμητή σύνθεση, υφή, γεύση και χαρακτηριστικά τήξης. Η περιεκτικότητα του κυμαίνεται από 22-28%.	βούτυρο, άνυδρο λίπος γάλακτος, σογιέλαιο, καλαμποκέλαιο κλπ.	Chavan & Atanu (2007)
Πρωτεΐνες γάλακτος	Δίνουν επιθυμητή σύνθεση και υφή και η σύσταση στο τελικό προϊόν είναι μέχρι 35%.	Καζεΐνη/ καζεϊνικά άλατα, ορό γάλακτος	
Φυτικές πρωτεΐνες	Δίνουν επιθυμητή σύσταση και χαμηλό κόστος.	πρωτεΐνη σόγιας ή φιστικιού ή σίτου	
Άμυλο	Υποκαθιστά την καζεΐνη (10-15%) και μειώνει το κόστος.	φυσικές και τροποποιημένες μορφές αραβοσίτου	
Σταθεροποιητές	Βοηθούν στην κοπή των αναλογικών τυριών και στην επίτευξη μικρής συγκολλητικότητας.	γαλακτωματοποιητικά άλατα, υδροκολλοειδή караγεννάνη	Abdullah & Gürkan (2016)
Γαλακτωματοποιητικά άλατα	Βοηθούν στον σχηματισμό φυσικοχημικής σταθερότητας, τροποποιούν τις λειτουργικές ιδιότητες, διαλύουν την καζεΐνη από πυτιά, ενυδατώνουν τις πρωτεΐνες, ελέγχουν το pH και βοηθούν στην τήξη του τυριού.	φωσφορικό νάτριο, άλας κιτρικού νατρίου, πολυφωσφορικά, πυροφωσφορικά	
Υδροκολλοειδή	Βελτιώνουν τη σταθερότητα του προϊόντος και τροποποιεί τις λειτουργικές ιδιότητες.	κόμμι γκούάρ/ ξανθάνης, караγεννάνη.	
Παράγοντες οξύτητας	Ελέγχουν και ρυθμίζουν την τιμή του pH (6,0-6,6) του τελικού προϊόντος, συμβάλλουν στην γεύση και στην μικροβιακή σταθερότητα κατά την αποθήκευση.	οργανικά οξέα (κιτρικό/ γαλακτικό οξύ)	
Ενισχυτές γεύσης	Δίνουν επιθυμητή γεύση και ελαχιστοποιούν την απώλεια των πτητικών συστατικών.	τυριά από τροποποιημένα ένζυμα (EMC), μπαχαρικά, αλάτι, γλουταμικά	Chavan & Atanu (2007)
Χρώματα	Δίνουν επιθυμητό χρώμα.	τεχνητά χρώματα	
Συντηρητικά	Αυξάνουν την διάρκεια ζωής και αναστέλλουν την ανάπτυξη των Μ/Ο.	Σορβικό/ προπιονικό ασβέστιο	
Παρασκευάσματα βιταμινών	Βελτιώνουν τη θρεπτική αξία.	οξείδιο του μαγνησίου /ψευδαργύρου, βιταμίνη Α, θειαμίνη, φυλλικό οξύ	
Νερό	Διαλύει την καζεΐνη, τα άλατα, τους ενισχυτές γεύσης, τους γαλακτωματοποιητές, ενυδατώνει τις πρωτεΐνες και είναι υπεύθυνο για την τελική υγρασία του προϊόντος (48-52%).		Abdullah & Gürkan (2016)
Υδατάνθρακες	Συμβάλλουν στην αύξηση της υγρασίας του τελικού προϊόντος.	Μαλτοδεξτρίνη	

### **2.3.2.1.Επιδράσεις των συστατικών στα αναπληρώματα τυριού**

Σε περίπτωση μεταβολής των αναλογιών οποιονδήποτε συστατικών μεταβάλλονται οι λειτουργικές ιδιότητες των τυριών. Αυτές επηρεάζουν διάφορους παραμέτρους επεξεργασίας, όπως τον χρόνο και την θερμοκρασία θέρμανσης, την ταχύτητα ανάμειξης καθώς και τις ιδιότητες τους (Bachmann et al., 2001). Για παράδειγμα, στο άμυλο που χρησιμοποιείται προκειμένου να αντικαταστήσει την ακριβή καζεΐνη, σύμφωνα με τους Mounsey & Riordan, 2001 παρατηρήθηκε μειωμένη τήξη και συνεκτικότητα σε περίπτωση αυξημένης συγκέντρωσης του. Η σκληρότητα των αναλογικών τυριών αυξάνεται όταν χρησιμοποιείται σιτάρι, πατάτα και άμυλο αραβοσίτου και μειώνεται με χρήση κηρώδους αραβοσίτου ή αμύλου από ρύζι (Chavan & Atanu, 2007). Επίσης, η μεταβολή των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των τυριών σχετίζεται με τις ιδιότητες του αμύλου καθώς και το μέγεθος, την ικανότητα διόγκωσης και την αναλογία αμυλόζης/ αμυλοπηκτικής (Massotti et al., 2018).

Η χρήση φυτικών λιπών δίνουν στο τυρί πολλές εφαρμογές και ο τρόπος που επηρεάζουν την υφή του εξαρτάται από τις φυσικοχημικές ιδιότητες αυτών (Bachmann et al., 2001). Όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε φυτικά λίπη, μειώνεται ο αριθμός των λιποσταγονιδίων και αυξάνεται η διάμετρος τους. Η αύξηση αυτή δείχνει ότι η διαδικασία γαλακτωματοποίησης ήταν ανεπαρκής. Αρχικά το λίπος αποτελείται από ένα δίκτυο κρυσταλλικών τριγλυκεριδίων συνδεδεμένων με πρωτογενείς δεσμούς και κατά την διάρκεια επεξεργασία των αναλογικών τυριών, η ανάδευση και η θέρμανση έχει ως αποτέλεσμα τη ρήξη αυτών (Cunha et al., 2010).

Η κύρια πηγή πρωτεΐνης που λειτουργεί ως γαλακτωματοποιητής στα προϊόντα αναλογικών τυριών είναι το καζεϊνικό άλας ή η καζεΐνη από πυτιά. Η καζεΐνη από πυτιά προτιμάται για τα ημίσκληρα τυριά, προσδίδοντας μεγαλύτερη ελαστικότητα σε σχέση με τα καζεϊνικά άλατα νατρίου ή ασβεστίου (Chavan & Atanu, 2007). Η καζεΐνη μετατρέπεται σε λειτουργική πρωτεΐνη που δεσμεύει το νερό και γαλακτωματοποιεί το έλαιο κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας (Guinee et al., 2016). Η αύξηση της συγκέντρωσης του καζεϊνικού άλατος οδηγεί σε μεγαλύτερη σταθερότητα και στην δημιουργία μεμονωμένων σταγονιδίων ελαίου. Περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσης μειώνει τη σταθερότητα γαλακτώματος εξαιτίας της κροκίδωσης που υφίστανται. Σε επαρκώς υψηλές συγκεντρώσεις, η συνεχής φάση του γαλακτώματος είναι ένα τρισδιάστατο δίκτυο πρωτεϊνών (Tan et al., 2012). Η αντικατάσταση της καζεΐνης μπορεί να γίνει με φυτικές πρωτεΐνες, όπως (Guinee et al., 2004):

- φυσικό άμυλο αραβοσίτου, το οποίο σε υψηλή συγκέντρωση αυξάνει την ευθραυστότητα.
- πρωτεΐνες ορού γάλακτος που αυξάνουν τη σταθερότητα.
- πρωτεΐνες σόγιας ή σίτου.

Να σημειωθεί ότι η υποκατάσταση της καζεΐνης από φυτικές πρωτεΐνες έχει ως αποτέλεσμα τυριά με εξασθενημένη υφή, δηλαδή έλλειψη ελαστικότητας, μειωμένη σκληρότητα και κολλώδες σώμα γεγονός που είναι ανεπιθύμητο. Η εμφάνιση τους προέκυψε ώστε να μειωθούν τα επίπεδα της χοληστερόλης και των κορεσμένων λιπαρών οξέων. Ακόμη, οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος ως εναλλακτική λύση της καζεΐνης πραγματοποιείται κυρίως για οικονομικούς λόγους (Massotti et al., 2018).

Τα γαλακτωματοποιητικά άλατα βελτιώνουν την γαλακτωματοποίηση του καζεϊνικού άλατος αυξάνοντας την διαλυτότητα και βοηθούν την συσσωμάτωση της καζεΐνης και της γαλακτωματοποίησης λίπους (Chavan & Atanu, 2007). Σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθούν σταθεροποιητές, τα αναλογικά τυριά θα είναι λιγότερο συνεκτικά, ενώ αν χρησιμοποιηθεί μίγμα σταθεροποιητών υπάρχει συνεργιστική δράση και μειωμένο κόστος (Jana et al., 2009). Όταν ο ρυθμός συγκέντρωσης γαλακτωματοποιητικών αλάτων είναι μεταξύ 0 και 0,5%, οι ιδιότητες της υφής των αναπληρωμάτων τυριού επηρεάζονται αρνητικά. Συγκεκριμένα η αύξηση της υγρασίας και του pH αυξάνει τη σταθερότητα και

μειώνει την ελαστικότητα τους, ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει τη σταθερότητα και την ελαστικότητα και μειώνει την επαλειψιμότητα και το ιξώδες τους (Abdullah & Gürkan, 2016).

### 2.3.3. Τεχνολογία παρασκευής αναπληρωμάτων τυριού

Η παρασκευή αναπληρωμάτων τυριού γίνεται όπως και των υπολοίπων, δηλαδή με θερμική και μηχανική επεξεργασία, κοπή και γαλακτωματοποίηση με άλατα και ολοκληρώνεται εντός 8-13 λεπτών (Massotti et al., 2018). Τα στάδια που ακολουθούνται για την παρασκευή τους είναι :

- Τυποποίηση
- Ανάμιξη ξηρών συστατικών (καζεΐνη, γαλακτωματοποιητικά άλατα) και νερού. Τα γαλακτωματοποιητικά άλατα δίνουν ένα φυσικοχημικά σταθερό προϊόν.
- Θερμική επεξεργασία του μίγματος στους 50 °C για 2-3 λεπτά.
- Προανάμιξη καζεΐνης και ελαίου/λίπους (σογιέλαιο, φοινικέλαιο ή υδρογονωμένα λίπη).
- Θερμική επεξεργασία στους 85 °C με άμεση έγχυση ατμού (ώστε να αφυδατωθεί η πρωτεΐνη) και συνεχής διάτμηση μέχρι να προκύψει ομοιογενής τετηγμένη μάζα (5-8 λεπτά).
- Προσθήκη αρωματικών ενώσεων και ρυθμιστών οξύτητας (Guinee et al., 2004). Οι αρωματικές ενώσεις μειώνουν την πιθανότητα πτητικών ουσιών και ελαχιστοποιούν την απώλεια γεύσης (Chavan & Atanu, 2007). Οι ρυθμιστές οξύτητας ενισχύουν την μετατροπή της παρακαζεΐνης σε παρακαζεϊνικό νάτριο.
- Ομογενοποίηση για 1-2 λεπτά, ώστε να προκύψει ένα ομοιογενές γαλάκτωμα ελαίου σε νερό υπό μορφή τυροειδής μάζας. Αυτή προωθεί την περαιτέρω ανάμιξη, διάτμηση και αλληλεπίδραση μεταξύ των συστατικών που χρησιμοποιούνται στο μίγμα τυριών. Σε αυτό το στάδιο της επεξεργασίας, μπορούν να εισαχθούν πρόσθετα συστατικά, όπως υδροκολλοειδή, χρώματα, συντηρητικά, μέταλλα και βιταμίνες (Massotti et al., 2018).
- Συσκευασία εν θερμώ.
- Αποθήκευση στους -4 μέχρι 4 °C (Guinee et al., 2004). Οι συνθήκες αποθήκευσης του τυριού είναι σημαντικές επειδή επηρεάζουν τις φυσικές ιδιότητες και την τελική υφή του προϊόντος (Massotti et al., 2018).

### 2.3.4. Παραδείγματα αναπληρωμάτων τυριού

Τα αναπληρώματα τυριού είναι μία ιδιαίτερη και δημοφιλής κατηγορία. Όλα χρησιμοποιούνται ως γέμιση σε κατεψυγμένη πίτα και σε μπιφτέκια (Jana & Upadhyay, 2003). Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν τη χρήση (Massotti et al., 2018) :

- Σε αλυσίδες λιανικής πώλησης απευθείας ως επιτραπέζια προϊόντα σε καταστήματα ή απευθείας σε αγορές προς καταναλωτές.
- Στον βιομηχανικό τομέα ως συστατικά σε τυποποιημένα τρόφιμα.
- Στο τομέα των υπηρεσιών εστίασης ως συστατικά σε πιάτα π.χ. λαζάνια, πίτσα, ομελέτα, τυριά panini και σαλάτα

Ακολουθεί περιγραφή για τα πιο κοινά και χρησιμοποιούμενα όπως είναι τα αναπληρώματα τυριού κρέμα, τα αναπληρώματα τυριού για πίτσα, το σουφού και η μοτσαρέλα.

### 2.3.4.1. Αναπληρώματα τυριού κρέμα

Τα αναπληρώματα τυριού κρέμα παρασκευάζονται με νερό, φυτικά έλαια, άπαχη σκόνη γάλακτος (NFDM), άλατα, γαλακτωματοποιητές, σταθεροποιητές και οξέα. Αρχικά το φυτικό έλαιο θερμαίνεται στους 57°C, ακολουθεί θέρμανση νερού στους 43°C και το NFDM, τα άλατα, οι γαλακτωματοποιητές και οι σταθεροποιητές διασπείρονται σε αυτό. Στη συνέχεια προστίθεται το μίγμα φυτικού ελαίου και το γαλακτικό οξύ που ρυθμίζει την τιμή του pH 4.6-4.8. Το τυρί κρέμα που προκύπτει, ομογενοποιείται σε δύο στάδια και στη συνέχεια τοποθετείται σε δοχεία και ψύχεται (Chavan & Atanu, 2007). Για την παρασκευή αυτών χρησιμοποιούνται υποκατάστατα λίπους, όπως πηκτίνες και κόμμεα πηκτίνης που είναι αποτελεσματικά για να δημιουργηθεί ένα προϊόν τυριού χαμηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά. Τα κορεσμένα λίπη είναι συνήθως υπεύθυνα για τη δημιουργία επιθυμητών ρεολογικών και οργανοληπτικών ιδιοτήτων σε διάφορα τρόφιμα όπως τα γαλακτοκομικά προϊόντα (Massotti et al., 2018).

### 2.3.4.2. Αναπληρώματα τυριού για πίτσα

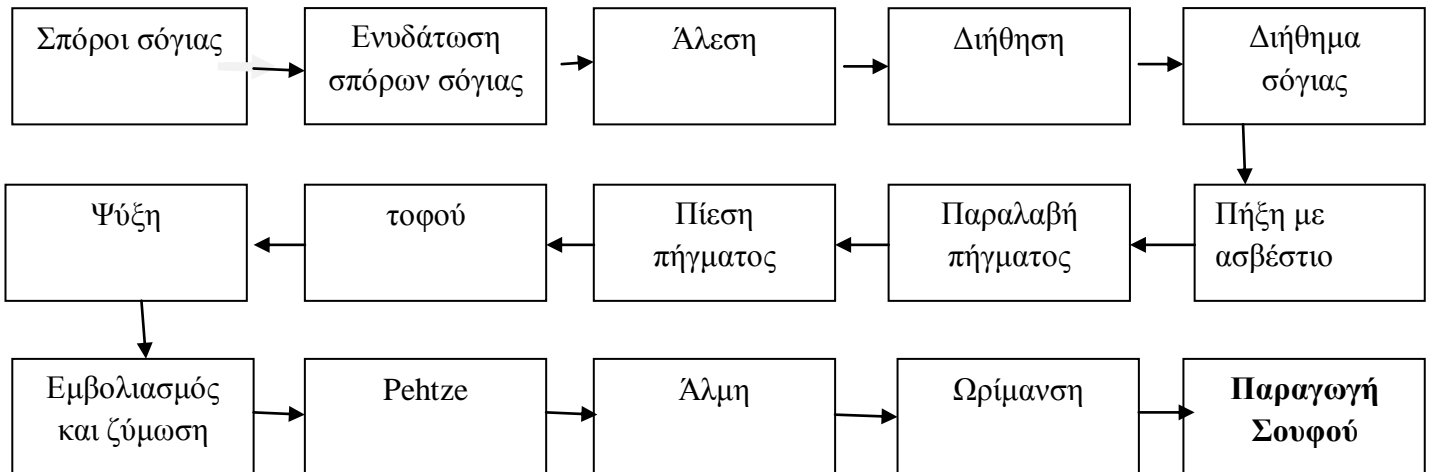
Τα αναπληρώματα τυριού για πίτσα παρασκευάζονται με τη χρήση συστατικών, όπως η καζεΐνη, τα γαλακτωματοποιητικά άλατα, τα φυτικά έλαια, το νερό, τους ρυθμιστές οξύτητας και τις αρωματικές ενώσεις. Όλα αυτά αναμιγνύονται με ταυτόχρονη έγχυση ατμού σε θερμοκρασία 85°C. Ακολουθεί ομογενοποίηση, προσθήκη ενισχυτών γεύσης και οξύτητας (ρύθμιση pH =5,76), συσκευασία εν θερμώ και αποθήκευση στους 4°C. Η σύσταση των αναπληρωμάτων τυριού για πίτσα φαίνεται στον **Πίνακα 7** (Chavan & Atanu, 2007).

**Πίνακας 7:** Τυπική σύσταση αναπληρώματος τυριού για πίτσα (Chavan & Atanu, 2007).

Σύσταση	Αναπλήρωμα τυριού για πίτσα
Υγρασία (%)	48,8
Πρωτεΐνη (%)	18,5
Λίπος (%)	25
Λίπος επί ξηρού (%)	49
Υγρασία αλατιού (%)	3,5
Ασβέστιο mg/100g	34,4
pH	6,1

### 2.3.4.3. Σουφού

Το Sufu είναι προϊόν σόγιας που έχει υποστεί ζύμωση και είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά, έχει κρεμώδη σύσταση και ευχάριστη γεύση. Υπάρχουν διάφοροι τύποι sufu ανάλογα τον τρόπο επεξεργασίας, το χρώμα ή τη γεύση (Chavan & Atanu, 2007), τα οποία εξαρτώνται από την ωρίμανση και την αποικοδόμηση της καζεΐνης. Η επιλογή της επεξεργασίας μπορεί να οδηγήσει σε ζυμωμένο με μούγλα ή με βακτήρια σουφού ή ενζυμικά ωριμασμένο σουφού. Το ενζυμικά ωριμασμένο sufu είναι πιο γλυκό και λιγότερο αλμυρό από το sufu που έχει υποστεί ζύμωση σε μούγλα (Liu et al., 2018). Η σύσταση του εμπορικού sufu είναι η εξής: υγρασία 58-70%, ακατέργαστη πρωτεΐνη 12-17% και ακατέργαστο λίπος 8-12% (Chavan & Atanu, 2007). Η πρωτεΐνη είναι η σημαντικότερη παράμετρος που καθορίζει την ποιότητα του sufu (Liu et al., 2018). Τα στάδια παρασκευής Sufu σε βιομηχανική κλίμακα φαίνεται στο **Σχήμα 7**.



**Σχήμα 7:** Αναπαράσταση παραγωγής σουφού σε βιομηχανική κλίμακα (Chavan & Atanu, 2007).

#### 2.3.4.4. Μοτσαρέλα

Χαρακτηριστικό παράδειγμα των τυριών απομίμησης είναι η μοτσαρέλα, η οποία έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία και χρησιμοποιείται για πίτσα ή καταναλώνεται ως επιτραπέζιο τυρί (Guinee & O'Callaghan, 1997). Υπάρχουν δύο τύποι μοτσαρέλας, η φρέσκια και η κανονική. Η πρώτη παρασκευάζεται από ορό γάλακτος και νερό και έχει μαλακότερη υφή, ενώ η δεύτερη έχει χαμηλά λιπαρά και είναι ελαστική, μαλακή και ξηρή (Awatif et al., 2015). Η μοτσαρέλα παρασκευάζεται από συμπληρωματικό γάλα και ηλιέλαιο και αποτελείται από μερικώς υδρογονωμένο φυτικό έλαιο, καζεΐνη/καζεϊνικά άλατα με ή χωρίς φυτική πρωτεΐνη, σταθεροποιητή, γαλακτωματοποιητή, γαλακτωματοποιητικό άλας, οξέα, χρωστική, αρωματικές ενώσεις, συντηρητικά και νερό χωρίς χρήση καλλιέργειας εκκίνησης και πυτιάς (Jana & Upadhyay, 2003). Αρχικά, το γάλα αναμιγνύεται με χλωριούχο ασβέστιο (το οποίο βελτιώνει τα ρεολογικά χαρακτηριστικά), ομογενοποιείται στους 50-55 °C και παστεριώνεται στους 63 °C / 30 min. Η οξίνιση του γάλακτος (pH 5,6 - 5,2) γίνεται με κιτρικό και οξικό οξύ και η συντήρηση με χλωριούχο νάτριο. Το αλατισμένο τυρί συσκευάζεται σε σακούλες πολυαιθυλενίου και αποθηκεύεται για 8-10 ημέρες στους 8-10 °C και για περίπου 90 ημέρες σε κατάψυξη. Η τελική σύσταση του συμπληρωματικού τυριού μοτσαρέλα είναι υγρασία 55%, λίπος 20%, πρωτεΐνη 20% και το υπόλοιπο (τέφρα) 5% (Ghosh & Kulkarni, 1996).

#### 2.3.5. Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα αναπληρωμάτων τυριού.

Αυτή η κατηγορία τυριών προτιμάται λόγω του χαμηλού κόστους και της απλότητας της παρασκευής τους (Abdullah & Gürkan, 2016). Το κόστος των φυτικών ελαίων είναι χαμηλότερο σε σχέση με αυτό του βουτύρου, με αποτέλεσμα τα αναπληρώματα τυριού να είναι φθηνότερα σε σχέση με τα υπόλοιπα. Εκτός αυτού, εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία, υψηλή θρεπτική αξία, χαμηλά επίπεδα νατρίου και λίπους έναντι των φυσικών τυριών (Bachmann et al., 2001) και ανταποκρίνονται σε ειδικές διατροφικές ανάγκες/ συμπληρώματα υγείας (Guinee et al., 2004). Ακόμη τα τυριά αυτής της κατηγορίας μπορούν να ενσωματώσουν αξιολογικά λειτουργικά συστατικά δίνοντας σταθερή υφή, γεύση, εύκολη συσκευασία και χρήση, αυξημένη τήξη, μειωμένες απαιτήσεις ψύξης και καλές ιδιότητες κατά την διάρκεια

αυτής. Με την πάροδο των ετών, η εικόνα των αναπληρωμάτων τυριού μεταβλήθηκε από προϊόντα που παρασκευάστηκαν με συστατικά κατώτερης ποιότητας σε συστατικά που λειτουργούσαν ικανοποιώντας τις επιθυμητές διατροφικές ιδιότητες (χωρίς χοληστερόλη, μειωμένα κορεσμένα λίπη, εμπλουτισμένο με βιταμίνες/ μέταλλα) (Massotti et al., 2018). Τέλος, η παραγωγή αυτών με μικρότερη λιποπεριεκτικότητα ελέγχει το σωματικό βάρος, δημιουργεί ευεξία και μειώνει τα καρδιολογικά προβλήματα και την εμφάνιση της αρτηριακής νόσου. Η σημαντικότερη αρνητική ιδιότητα των τυριών απομίμησης είναι η γεύση τους συγκριτικά με αυτή του φυσικού τυριού. Χρησιμοποιούνται ενισχυτές γεύσης, ώστε να εξαλειφθεί η ανομοιότητα αυτή είτε τεχνητά είτε φυσικά (Bachmann et al., 2001).

## **2.4.Κύριες και βοηθητικές ύλες για την παρασκευή αναπληρωμάτων τυριού.**

### **2.4.1.Καζεϊνικό νάτριο**

Οι πρωτεΐνες γάλακτος αποτελούν μία από τις σημαντικότερες κατηγορίες πρωτεϊνών. Διακρίνονται σε πρωτεΐνες ορού και σε καζεΐνες. Οι καζεΐνες είναι οι κύριες πρωτεΐνες του γάλακτος που αποτελούν το 80% του συνόλου των πρωτεϊνών του και αντιπροσωπεύουν περίπου το 3% της περιεκτικότητας σε αγελαδινό γάλα αλλά περισσότερο από το 10% των περισσότερων τυριών (Μάντης, 2005).

Σύμφωνα με τον ΚΤΠ, καζεΐνες χαρακτηρίζονται οι πρωτεϊνικές ουσίες που αποτελούν το σημαντικότερο συστατικό του γάλακτος, όντας πλυμένες και ξηραμένες. Είναι αδιάλυτες στο νερό και λαμβάνονται από το αποκορυφωμένο γάλα με καθίζηση ή με διάσπαση κ-καζεΐνης είτε με προσθήκη οξέος είτε με οξίνιση (μείωση pH) του γάλακτος με μικροβιακή δράση, είτε με πυτιά, είτε με την χρήση άλλων ενζύμων που προκαλούν πήξη του γάλακτος με την επιφύλαξη ενδεχόμενης προηγούμενης χρήσης μεθόδων ανταλλαγής ιόντων και μεθόδων συμπίκνωσης (ΚΤΠ, Άρθρο 80β, 2009). Με βάση την διάταξη των αμινοξέων στο μόριο τους διακρίνονται σε αs1-, αs2-,β- και κ- καζεΐνη. Με εξαίρεση την κ-καζεΐνη, όλες περιέχουν φώσφορο που προκαλεί την κατακρήμνιση των φορτίων τους και συμβάλλει στην σταθερότητα τους κατά την θερμική επεξεργασία. Όλες κατακρημνίζονται σε pH 4,6 σε θερμοκρασία 20 °C, δεν επηρεάζονται από την θέρμανση (Walstra et al., 2006), είναι σταθερές μέχρι 140 ° C και οι ισχυρότερες αλληλεπιδράσεις σχηματίζονται κοντά στο ισοηλεκτρικό σημείο (Moreira et al., 2018). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι καζεΐνες είναι σταθερές σε παράγοντες που προκαλούν μετουσίωση (Walstra et al., 2006).

Τα καζεϊνικά άλατα είναι ενώσεις των καζεϊνών με νάτριο ή ασβέστιο και παράγονται με την επίδραση διαλυμάτων καυστικού νατρίου ή υδροξειδίου του ασβεστίου, αντίστοιχα και προσδιορίζονται με την μέθοδο της άθικτης κ-καζεΐνης και της τριχοειδούς ηλεκτροφόρησης (Miralles et al., 2006). Σύμφωνα με τον ΚΤΠ, βρώσιμα καζεϊνικά άλατα είναι τα καζεϊνικά άλατα που λαμβάνονται από βρώσιμες καζεΐνες που έχουν υποστεί εξουδετέρωση με συγκεκριμένες ουσίες και πρέπει να ανταποκρίνονται στις προδιαγραφές του **Πίνακα 8** (ΚΤΠ, Άρθρο 80β,2009).

**Πίνακας 8:** Προδιαγραφές βρώσιμων καζεϊνικών αλάτων σύμφωνα με τον ΚΤΠ (ΚΤΠ, Άρθρο 80β,2009).

Προδιαγραφές	Όριο
<b>1. Ουσιώδεις παράγοντες της σύνθεσης</b>	
Ανώτατη περιεκτικότητα σε υγρασία /λίπος επί ξηρού υπολείμματος	8% w/w / 2% w/w
Κατώτατη περιεκτικότητα σε καζεΐνη γάλακτος υπολογιζόμενη επί ξηρού υπολείμματος	88% w/w
pH	6 μέχρι 8
<b>2. Ρυπαντές</b>	
Ανώτατη περιεκτικότητα σε μόλυβδο :	1 mg/kg
<b>3. Προσμίξεις</b>	
Ξένα σώματα (όπως σωματίδια ξύλου, μετάλλου, τρίχες ή τμήματα εντόμων)	καθόλου σε 25g
<b>4.Βοηθητικά τεχνολογίας ποιότητας τροφίμων (παράγοντες εξουδετέρωσης και ρυθμιστικά διαλύματα)</b>	
Υδροξείδια, ανθρακικά, φωσφορικά, κιτρικά άλατα νατρίου, καλίου, ασβεστίου, αμμωνίου, μαγνησίου	
<b>5. Χαρακτηριστικά</b>	
Οσμή/Μορφή	Ελαφρά αρώματα
Μορφή	Απουσία συσσωματωμάτων

Ένα συνηθισμένο άλας που χρησιμοποιείται ευρέως στην επεξεργασία τροφίμων είναι το καζεϊνικό νάτριο (**Σχήμα 8**), το οποίο ανήκει οικογένεια των φωσφορυλιωμένων πρωτεϊνών (Tan et al., 2012). Είναι ένα μεταβλητό μίγμα πολλών συστατικών που περιέχει μονομερή καζεΐνης καθώς και μικρές ποσότητες λιπιδίων και ανόργανων αλάτων. Παρασκευάζεται με την ρύθμιση του οξέος της καζεΐνης σε pH 6.7 με την βοήθεια του υδροξειδίου του νατρίου (Dickinson, 1999), το οποίο είναι σταθερό στην θερμότητα (Moreira et al., 2018) και το προκύπτον ιζώδες εναιώρημα παστεριώνεται και στη συνέχεια ξηραίνεται με ψεκασμό (Dickinson, 1999).



**Σχήμα 8:** Καζεϊνικό νάτριο (www.mednutrition.gr).

Το καζεϊνικό νάτριο είναι ένας αποτελεσματικός γαλακτωματοποιητής, πυκνωτικό και αφριστικό μέσο (Moreira et al., 2018) που έχει αμφίφιλες ιδιότητες εξαιτίας των μεγάλων



περιοχών με πολικά και υδρόφοβα αμινοξέα. Λόγω αυτών μπορεί να δεσμεύσει το λίπος και το νερό σχηματίζοντας γαλάκτωμα και τις πρωτεΐνες σχηματίζοντας ένα ισχυρότερο φυσικοχημικό πλέγμα, παρεμποδίζοντας ταυτόχρονα τη συνένωση των λιποσφαιρίων. Εκτός των παραπάνω, εμφανίζει καλή διαλυτότητα στο νερό, επιφανειακή δραστηριότητα, θερμική αντοχή και ιδιότητες συγκράτησης του νερού (Tan et al., 2012) που το καθιστούν κατάλληλο να χρησιμοποιείται ευρέως ως παράγοντας σταθεροποίησης γαλακτώματος σε τρόφιμα όπως το παγωτό, οι κρέμες, κ.α. Επίσης έχει υψηλή απόδοση, αυξημένη αντοχή πηκτώματος, βελτιώνει τη συνοχή του τελικού προϊόντος και ο βασικός λόγος προσθήκης του στο τυρί είναι οικονομικός (Miralles et al., 2006). Η στερεοχημική σταθεροποιητική στρώση καζεΐνης προστατεύει τα σταγονίδια από την ανάκαμψη και προσδίδει μακροπρόθεσμη σταθερότητα κατά την επακόλουθη επεξεργασία και αποθήκευση (Dickinson, 1999).

Η σταθερότητα ενός γαλακτώματος εξαρτάται από τις συνθήκες, τους δεσμούς, τα διασυνδεδεμένα πεπτίδια (Moreira et al., 2018) αλλά κυρίως από την περιεκτικότητα του καζεϊνικού νατρίου. Όταν η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες είναι χαμηλή, το γαλάκτωμα αποσταθεροποιείται με κροκίδωση ή συσσωμάτωση, ενώ όταν είναι υψηλή τα σταγονίδια προστατεύονται πλήρως από τη συσσωμάτωση των πρωτεϊνών. Με περαιτέρω αύξηση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες ( $\geq 3\%$  w/w), η σταθερότητα μειώνεται και πάλι, ενώ ο ρυθμός διαχωρισμού του ορού στο κάτω μέρος του δείγματος αυξάνεται σημαντικά. Σε πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις πρωτεϊνών παρατηρείται μια μερική αποσταθεροποίηση και θρόμβωση του γαλακτώματος καθώς οι μη απορροφημένες καζεΐνες ενώνονται και σχηματίζουν μικρά μόρια μεταξύ των λιποσφαιρίων στην υδατική φάση, γνωστά ως “καζεϊνικά μικκύλια”. Ο σχηματισμός αυτών έχει ως αποτέλεσμα να μην προστατεύονται τα σταγονίδια και να έχουν τάση για συνένωση (Dickinson & Golding, 1997).

Το καζεϊνικό νάτριο εκτός από τη χρήση του ως γαλακτωματοποιητής παρέχει θρεπτικά και λειτουργικά οφέλη στη βιομηχανία (Moreira et al., 2018) ως συστατικό σε πολλά τρόφιμα (Schutyser et al., 2018). Ακόμη, χρησιμοποιείται ευρέως ως πηγή πρωτεΐνης για την παρασκευή τυριών (<https://www.linguee.com>), ως πρόσθετο σε τρόφιμα και για την παρασκευή νανογαλακτωμάτων. Επίσης, εφαρμόζεται συνήθως σε ψημένα τρόφιμα, προϊόντα με βάση το κρέας και αναπληρώματα τυριού. Αρνητικό σημείο του είναι ότι δε διαλύεται σε διάλυμα άλατος καθώς και ότι είναι ακριβότερο σε σχέση με φυτικές πρωτεΐνες που χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία τροφίμων. Τέλος, μία μάζα ανθρώπων είναι αλλεργικοί στο καζεϊνικό νάτριο και αυτό συνδέεται με κάποιες ανθρώπινες ασθένειες, κυρίως αυτισμό και μερικά γαστρεντερικά προβλήματα (Moreira et al., 2018).

#### 2.4.2. Ηλιέλαιο

Σήμερα υπάρχει ολοένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρήση ηλιέλαιου στην ανθρώπινη διατροφή (Zilic et al., 2010) Αυτό αποτελεί ένα από τα τέσσερα σημαντικά βρώσιμα έλαια μετά το σογιέλαιο, το κραμβέλαιο και το βαμβακέλαιο (Wang et al., 2018). Παράγεται από τους σπόρους του φυτού Ηλιάνθος (**Σχήμα 9**) και πιο συγκεκριμένα της ποικιλίας *Helianthus annuus* και πρωτοεμφανίστηκε βιομηχανικά το 1835 (UN Food & Agriculture Organisation (FAO)). Οι σπόροι ηλιάνθου χρησιμοποιούνται λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε έλαιο, η οποία αντιπροσωπεύει το 80% της καλλιέργειας ηλιάνθου (Zilic et al., 2010).



**Σχήμα 9** : Ηλιέλαιο ([www.mednutrition.gr](http://www.mednutrition.gr)).

Το ακατέργαστο ηλιέλαιο αποτελείται κυρίως από τριακυλογλυκερόλες μαζί με ένα μικρό κλάσμα δευτερευόντων συστατικών όπως διακυλογλυκερόλες, φωσφολιπίδια, γλυκολιπίδια, ελεύθερα λιπαρά οξέα, αλειφατικές αλκοόλες, κηροί, υδρογονάνθρακες, φαινολικές ενώσεις, χλωροφύλλη, ιχνοστοιχεία και φυτοστερόλες. Ορισμένα δευτερεύοντα συστατικά όπως οι τοκοφερόλες και οι φυτοστερόλες έχουν θετική επίδραση στις διατροφικές και τεχνολογικές ιδιότητες του ελαίου. Ωστόσο, άλλα όπως τα φωσφολιπίδια, τα ελεύθερα λιπαρά οξέα και οι κηροί έχουν αρνητική επίδραση στην ποιότητα και τη σταθερότητα του ελαίου (Velasco et al., 2015). Από την άλλη πλευρά, το ηλιέλαιο που προκύπτει μετά την επεξεργασία αποτελείται από ένα πλήθος λιπαρών οξέων (παλμιτικό, στεατικό, ελαϊκό, λινολεϊκό οξύ) καθώς και από μικρές ποσότητες λεκιθίνης, τοκοφερολών, καροτενοειδών και βιταμίνες A,D και E (Alfred, 2002) που επιταχύνουν την οξειδωτική σταθερότητα (Wang et al., 2018).

Το ακατέργαστο έλαιο ηλιόσπορου περιέχει διάφορες ακαθαρσίες που πρέπει να αφαιρεθούν για να ληφθεί ηλιέλαιο με καλή διάρκεια ζωής. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται μπορούν να ομαδοποιηθούν ως: αποκήρωση, χημική εξουδετέρωση, λεύκανση και απόσμηση. Μετά τη λεύκανση και το φυσικό εξευγενισμό, το έλαιο πρέπει να εξευγενιστεί πλήρως (Dijkstra, 2015). Στο τέλος προκύπτει ένας υψηλής ποιότητας προϊόν, διαυγές, με ξανθωπό χρώμα και ελαφρά γλυκιά γεύση, πλούσιο σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα και ελεύθερο από τοξικές ουσίες (UN Food & Agriculture Organisation (FAO)). Υπάρχουν δύο τύποι ηλιέλαιου, αυτό με υψηλή περιεκτικότητα σε ελαϊκό οξύ (πλούσιο σε μονοακόρεστα λιπαρά οξέα) και αυτό σε λινελαϊκό (πλούσιο σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα).

Το ηλιέλαιο είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά και συγκεκριμένα σε βιταμίνη E και λιπαρά οξέα ( $\omega$ -6) που το καθιστούν αποτελεσματικό τόσο για χρήση στο μαγείρεμα όσο και για εξωτερική χρήση. Λόγω της περιεκτικότητας του σε βιταμίνη E, θεωρείται ότι έχει αντιγηραντική δράση, διότι αυτή αποτελεί ένα ισχυρό αντιοξειδωτικό που περιορίζει τις ελεύθερες ρίζες και μειώνει τον κίνδυνο εμφάνισης του καρκίνου. Εκτός αυτού, το ηλιέλαιο έχει και αντιφλεγμονώδη δράση λόγω της υψηλής περιεκτικότητας του σε  $\omega$ -6 (λινελαϊκό) λιπαρό οξύ. Επίσης, η παρουσία χολίνης και φαινολικού οξέος στο ηλιέλαιο, βοηθά στην πρόληψη των καρδιακών παθήσεων. Η αντικατάσταση των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων με μονοακόρεστα συνέβη ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος εμφάνισης καρδιαγγειακής νόσου και να βελτιωθεί η λειτουργία της καρδιάς ([www.greekgoldoils.gr](http://www.greekgoldoils.gr)).

Το ηλιέλαιο χρησιμοποιείται ωμό σε σαλάτες, σε σάλτσες για σαλάτες, στην παρασκευή μαγιονέζας και μαργαρίνης. Επίσης χρησιμοποιείται στη μαγειρική και στο τηγάνισμα όπου είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό λόγω της υψηλής θερμοκρασίας (230°C) που ξεκινούν οι αντιδράσεις να απελευθερώνουν τοξικές ουσίες και ελεύθερες ρίζες. Ακόμη το ηλιέλαιο έχει σημαντική χρήση και στη βιομηχανία τροφίμων και βοηθά στην παραγωγή χρωμάτων, πλαστικών και βερνικιών. Τέλος, χρησιμοποιείται ακόμη και ως λιπαντικό μέσο (<http://library.tee.gr>).

Τα αναπληρώματα τυριού, όπως προαναφέρθηκε στο *Υποκεφάλαιο 2.3* αποτελούν γαλακτώματα τύπου λάδι σε νερό, όπως και τα φυσικά τυριά. Επομένως, το ηλιέλαιο αποτελεί τη διεσπαρμένη φάση στα γαλακτώματα. Τα λιποσφαίρια ενσωματώνονται στο πρωτεϊνικό πλέγμα, το οποίο λειτουργεί ως γαλακτωματοποιητής. Σε μικρές έως μέτριες συγκεντρώσεις ηλιέλαιου το γαλάκτωμα δείχνει να έχει χαρακτήρα νευτώνειου υγρού ενώ σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αποκτά ιδιότητες μη νευτώνειου υγρού (Bachmann, 2001).

### 2.4.3.Γαλακτικό οξύ

Το **γαλακτικό οξύ** είναι καρβοξυλικό οξύ που διαθέτει μια υδροξυλομάδα (OH) ενωμένη με άτομο άνθρακα (COOH) (Badet et al., 2008). Αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προϊόντα λόγω των ευρέων εφαρμογών του. Περίπου το 70% του

παραγόμενου γαλακτικού οξέος χρησιμοποιείται στον τομέα της παραγωγής τροφίμων λόγω του κρίσιμου ρόλου του στην παρασκευή γιαουρτιού και τυριού.

Παράγεται είτε με ζυμωτικές μεθόδους είτε με μεθόδους χημικής σύνθεσης. Ωστόσο παγκοσμίως παράγεται με τη ζυμωτική μέθοδο όπου χρησιμοποιούνται ορισμένα στελέχη βακτηρίων (Es et al., 2018), μύκητες, ζυμομύκητες, κυανοβακτήρια και άλγη. Ακόμη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μεικτές καλλιέργειες στελεχών, οι οποίες αυξάνουν την παραγωγή γαλακτικού οξέος (Abdel-Rahman et al., 2013). Σχηματίζεται κατά τη ζύμωση του γλυκογόνου (γλυκόλυση) και βιομηχανικά παράγεται με ελεγχόμενη ζύμωση της γλυκόζης, όπου τα βακτήρια του γαλακτικού οξέος (π.χ. *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus* και *Lactobacillus bulgaricus*) όταν ζυμώνουν τους υδατάνθρακες μετατρέπουν την γλυκόζη και τη σακχαρόζη σε γαλακτικό οξύ (Bachmann, 2001). Η ζύμωση πραγματοποιείται στους 50 °C. Η αποτελεσματικότητα των διεργασιών ζύμωσης γαλακτικού οξέος εξαρτάται από (Abdel-Rahman et al., 2013):

- τις πηγές αζώτου
- το pH
- τους παράγοντες εξουδετέρωσης και αερισμού
- την επιλογή κατάλληλου θρεπτικού μέσου
- τη προσθήκη θρεπτικών ουσιών στα μέσα
- τον παραγωγό του γαλακτικού οξέος
- το υπόστρωμα ζύμωσης (καθαρά σάκχαρα ή βρώσιμες καλλιέργειες) και
- τους τρόπους λειτουργίας (Abdel-Rahman et al., 2013).

Στο τέλος της ζύμωσης, το μόριο της γλυκόζης με τα έξι άτομα άνθρακα διασπάται σε δύο μόρια με τρία άτομα άνθρακα το καθένα (γαλακτικό οξύ) κάτω από αναερόβιες συνθήκες.

Το καθαρό (άνυδρο) γαλακτικό οξύ (**Σχήμα 10**) είναι στερεό, λευκό, άοσμο κρυσταλλικό σώμα που διαλύεται πολύ εύκολα στο νερό με το οποίο σχηματίζει ένα διαυγές έως υποκίτρινο υγρό. Είναι υγροσκοπικό (απορροφά υγρασία από την ατμόσφαιρα), γι' αυτό και στο εμπόριο διατίθεται ως διάλυμα σε νερό με περιεκτικότητα που κυμαίνεται από 22-90% (Badet et al., 2008).



**Σχήμα 10:** Γαλακτικό οξύ (www.mednutrition.gr).

Προστίθεται στα παραγόμενα γαλακτώματα για τη ρύθμιση του pH όπου είναι επιθυμητό να κυμαίνεται μεταξύ 4,7-6 με ιδανικές τιμές 5,1-5,7 για γευστικούς λόγους (Bachmann, 2001). Σε τυριά με pH χαμηλότερο από 5,1, οι πρωτεΐνες βρίσκονται κοντά στο ισοηλεκτρικό σημείο τους με αποτέλεσμα την ασθενέστερη γαλακτωματοποίηση της λιπαρής φάσης στα τυριά. Από την άλλη πλευρά, τυριά με pH μεγαλύτερο από 6,1 σχηματίζουν ασθενέστερο γαλάκτωμα. Τέλος, τυριά με pH κοντά στο 5,7 χαρακτηρίζονται από καλή γαλακτωματοποίηση λίπους με ένα ισχυρά συνδεδεμένο δίκτυο πρωτεΐνης (Karoor & Metzger, 2007).

Το γαλακτικό οξύ και τα άλατά του χρησιμοποιούνται ως συντηρητικά (E270), κυρίως εναντίον των ζυμών και των μυκήτων γιατί έχει αντιμικροβιακή δράση και ενισχύει την

αντιοξειδωτική δράση άλλων ουσιών. Επίσης, προστατεύει από επιμολύνσεις, στο διάστημα από την παραγωγή μέχρι την ημερομηνία λήξης του προϊόντος. Ακόμη χρησιμοποιείται ως καταλύτης σε διάφορες χημικές διεργασίες και ως πρώτη ύλη για την παραγωγή πλαστικών και διαλυτών. Τέλος, είναι ένα απόλυτα ασφαλές πρόσθετο σύμφωνα με την Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχεδόν σε όλα τα επεξεργασμένα προϊόντα επομένως και στην παραγωγή αναπληρωμάτων τυριού (<http://www.food-info.net>), βελτιώνοντας ταυτόχρονα τη ποιότητά τους (Es et al., 2018).

#### 2.4.4.Χλωριούχο νάτριο (Μαγειρικό αλάτι)

Το μαγειρικό αλάτι (NaCl) αποτελείται κατά 97% με 99% από χλωριούχο νάτριο και στο εμπόριο κυκλοφορεί με προσμείξεις, κυρίως ιωδιούχου καλίου (KI). Η γεύση του είναι αλμυρή και είναι αρκετά υγροσκοπικό. Γενικά, το καθαρό αλάτι (**Σχήμα 11**) είναι στερεό, κρυσταλλικό σώμα, με ειδικό βάρος 2,165. Τήκεται στους 801° C, βράζει στους 1413° C και διαλύεται στο ψυχρό και στο θερμό νερό (El-Bakry, 2012).



**Σχήμα 11:** Μαγειρικό αλάτι ή χλωριούχο νάτριο ([www.mednutrition.gr](http://www.mednutrition.gr)).

Το κοινό μαγειρικό αλάτι προστίθεται στα παραγόμενα γαλακτώματα ως βελτιωτικό γεύσης. Επηρεάζει την υφή του τυριού και αποτρέπει την μετανάστευση των καζεϊνών από την καζεϊνική μάζα στη φάση του ορού. Έτσι, συμβάλλει στη διατήρηση της σταθερότητας του γαλακτώματος ενώ δεν επιτρέπει τη συγκράτηση υγρασίας με αποτέλεσμα να δρα και ως συντηρητικό αναστέλλοντας την ανάπτυξη ανεπιθύμητων μικροοργανισμών (Bachmann, 2001). Όταν βρίσκεται μέσα στον οργανισμό διευκολύνει την πέψη, συντελεί στην έκκριση των γαστρικών υγρών, εμποδίζει τις ζυμώσεις στο στομάχι και στο έντερο και βοηθάει τον μεταβολισμό των τροφών που περιέχουν πρωτεΐνες. Επίσης, συντελεί στην αύξηση του αριθμού των ερυθρών αιμοσφαιρίων και βοηθά στην ευκολότερη πρόσληψη του οξυγόνου. Τέλος, στη βιομηχανία χρησιμοποιείται για την παρασκευή του ανθρακικού νατρίου, του καυστικού νατρίου, του χλωρίου, του υδροχλωρίου, των υποχλωριωδών αλάτων, του θειικού νατρίου κλπ. και για παρασκευή ψυκτικών μιγμάτων.

Η συγκέντρωση του αλατιού στα φυσικά τυριά που παρασκευάζονται από γάλα, κυμαίνεται περίπου στα 0,7-4 g/100g, ενώ στα ανακατεργασμένα και αναπληρώματα τυριού από 1-2 g/100g. Μεγάλες συγκεντρώσεις αλατιού έχουν συνδεθεί με προβλήματα υγείας ενώ μικρές έχουν ως αποτέλεσμα την γρήγορη ανάπτυξη ανεπιθύμητων βακτηρίων. Έχει βρεθεί ότι η ιδανική συγκέντρωση αλατιού στα διάφορα είδη τυριών είναι 1,3 -1,6 g/100g (El-Bakry, 2012).

## 2.5.Ρεολογία

### 2.5.1.Γενικά

Τα τρόφιμα και ιδιαίτερα τα τυριά, είναι τα πιο πολύπλοκα γαλακτώματα και ως εκ τούτου είναι δύσκολο να σταθεροποιηθούν, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η υφή τους (Garti et al., 1999). Ο τρόπος με τον οποίο ένα τρόφιμο παραμορφώνεται, καταστρέφεται και ρέει είναι ένα βασικό συστατικό της υφής, γι' αυτό έχει γίνει προσπάθεια να προσδιοριστούν οι σχέσεις ανάμεσα στις ρεολογικές συμπεριφορές των τροφίμων και στα χαρακτηριστικά της υφής (Joyner, 2018). Αυτή προσδιορίζει την φρεσκάδα και την ποιότητα του τυριού (Subramanian et al., 2006). Έτσι, παρατηρείται μεγάλη σημασία σχετικά με την **ρεολογία** των τροφίμων, τις τεχνικές που επιλέγονται και τις ιδιότητες των προϊόντων (Garti et al., 1999).

Ο όρος **ρεολογία τροφίμων** χρησιμοποιήθηκε από τον Bingham το 1928. Είναι η μελέτη του τρόπου με τον οποίο ανταποκρίνονται τα υλικά τροφίμων σε μια εφαρμοζόμενη τάση (Canovas et al., 1996). Εναλλακτικά, ορίζεται η μελέτη της παραμόρφωσης και της ροής της ύλης των τελικών προϊόντων κάτω από την άσκηση πίεσης. Στην απλούστερη περίπτωση, η ρεολογική ιδιότητα που ενδιαφέρει τα στερεά υλικά είναι η ελαστικότητα και στα υγρά το ιξώδες. Τα τρόφιμα, δεν είναι ούτε ιξώδη ούτε ελαστικά, αλλά χαρακτηρίζονται με τον σύνθετο όρο **ιξωδοελαστικά**.

Οι ιδιότητες που αναφέρονται στη συμπεριφορά ενός υλικού όταν αυτό ρέει υπό την επίδραση δυνάμεων, καθώς και η συμπεριφορά του υλικού όταν παραμορφώνεται ή ρέει υπό την επίδραση δύναμης, ονομάζονται μηχανικές. Στην περίπτωση που λαμβάνεται υπόψη και ο χρόνος επίδρασης της δύναμης πάνω στο υλικό, τότε οι ιδιότητες ονομάζονται ρεολογικές (Ραφαηλίδης, 1987). Οι παράμετροι που καθορίζουν τη ρεολογική συμπεριφορά ενός υλικού είναι η δύναμη που επιδρά στο υλικό, η παραμόρφωση που υφίσταται το υλικό και ο χρόνος επίδρασης της δύναμης (Steffe, 1996).

Η επιστήμη της ρεολογίας εφαρμόζεται για τη μέτρηση της διάρκειας ζωής των τροφίμων, την μελέτη της υφής τους καθώς και τη συμπεριφορά του υλικού κατά την επεξεργασία του (Kelly, 2006). Ο προσδιορισμός των ρεολογικών ιδιοτήτων αποτελεί εργαλείο ποιοτικού ελέγχου της πρώτης ύλης, των ενδιάμεσων και των τελικών προϊόντων και είναι χρήσιμος στην αποσαφήνιση της δομής και της σύνθεσης των τροφίμων. Ακόμη, οι ρεολογικές ιδιότητες είναι σημαντικές στα μηχανικά χαρακτηριστικά (Canovas et al., 1996) και φυσικά χαρακτηριστικά των τροφίμων (μέγεθος, σχήμα, διάταξη σωματιδίων μέσα σε ένα τρόφιμο).

Οι ρεολογικές ιδιότητες των τυριών επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν την οσμή, τη γεύση, την εμφάνιση και άλλες ιδιότητες που είναι σημαντικές για τους καταναλωτές. Αυτοί διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες (Pomeranz & Meloan, 1994) :

- 1) Τύπος και ιδιότητες του γάλακτος, όπως σύσταση, ρυθμιστική ικανότητα κ.α.
- 2) Αλληλεπιδράσεις συστατικών γάλακτος.
- 3) Διαδικασία παρασκευής του τυριού.
- 4) Σύσταση του τυριού (υγρασία, λίπος, άλας και οξύτητα- pH).
- 5) Διαδικασίες μετά την παρασκευή του τυριού

Τέλος, οι ρεολογικές ιδιότητες προσδιορίζονται εφαρμόζοντας και μετρώντας τις δυνάμεις και τις παραμορφώσεις ως συνάρτηση του χρόνου (Daubert et al., 2003). Ο **Πίνακας 9** καταγράφει τις σημαντικότερες ρεολογικές ιδιότητες των τυριών.

**Πίνακας 9:** Καταγραφή κύριων ρεολογικών ιδιοτήτων των ανακατεργασμένων τυριών.

Όροι	Ορισμός	Βιβλιογραφία
Τάση	Η δύναμη η οποία εφαρμόζεται σε ένα υλικό και το εξαναγκάζει να κινηθεί.	Kapoor & Metzger (2008)
Παραμόρφωση	Η μετακίνηση σωματιδίων ενός υλικού έτσι ώστε να μη καταστρέφεται η συνέχεια του σώματος αλλά να μεταβάλλεται το σχήμα ή/ και ο όγκος.	
Σταθερότητα	Η ικανότητα των τυριών να παρουσιάζουν αντίσταση στην παραμόρφωση όταν υποβάλλονται σε εξωτερική δύναμη.	
Ευθραυστότητα	Η τάση του σκληρού τυριού να θρυμματίζεται όταν υπόκειται σε δράση εξωτερικής δύναμης.	
Συνεκτικότητα	Η ποσότητα παραμόρφωσης πριν από τη ρήξη.	
Εκτατότητα	Η τάση του τυριού να σχηματίζει χορδές όταν τεντώνεται.	
Σκληρότητα	Η μεγάλη αντίσταση στην παραμόρφωση όταν εφαρμόζεται τάση.	
Διάταση	Η τάση του τυριού κατά την θερμική επεξεργασία να σχηματίζει λωρίδες καθώς εκτείνεται.	Canovas et al. (1996)
Ελαστικότητα	Ελαστικό σώμα ορίζεται το υλικό που παραμορφώνεται αναστρέψιμα και η καταπόνηση του είναι ανάλογη με την τάση.	
Ιξώδες	Είναι το μέτρο της ικανότητας ενός ρευστού να αντιστέκεται στην κίνηση όταν εφαρμόζεται τάση. Όσο πιο μεγάλη είναι η τριβή (το ιξώδες) τόσο πιο μεγάλη είναι η δύναμη που πρέπει να εφαρμοστεί για να κινηθεί η στιβάδα του ρευστού.	Kelly (2006)
Συγκολλητικότητα	Η τάση του τυριού να αντιστέκεται στην αποκόλλησή του από το υλικό με το οποίο έρχεται σε επαφή.	

Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν τη **ρεομετρία** για να λάβουν αποτελέσματα των μετρήσεων υφής. Αυτή μετρά τον τρόπο ροής, παραμόρφωσης και θραύσης των υλικών και παρέχει ποσοτικές πληροφορίες σχετικά με τις μηχανικές ιδιότητες των τροφίμων. Τα ρεολογικά χαρακτηριστικά των τυριών μελετώνται με τη βοήθεια διαφόρων δοκιμών και κατατάσσονται σε οργανοληπτικές και ενόργανες, όπου οι ενόργανες μπορούν να ταξινομηθούν περαιτέρω σε εμπειρικές και θεμελιώδεις. Ο στόχος των οργανοληπτικών μεθόδων είναι να αποκτήσει μια υφή που γίνεται αντιληπτή κατά τη διάρκεια της κατανάλωσης. Εκτός από την οργανοληπτική εξέταση, κάποια από τα χαρακτηριστικά μπορούν να εξετασθούν και με τη χρήση μηχανημάτων (σκληρότητα, συνοχή, συγκολλητικότητα, ελαστικότητα, ιξώδες, ευθραυστότητα, μασητικότητα). Ο σκοπός των ενόργανων δοκιμών είναι να μετρήσουν την παράμετρο που σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά της υφής του τυριού. Μερικές εμπειρικές μέθοδοι είναι οι μιμητικές δοκιμές, οι δοκιμές κοπής, κάμψης, διεύθυνσης, στρέψης, εφελκυσμού, συμπίεσης, ο ερπυσμός και η χαλάρωση τάσης στο τυρί, η ανάλυση κατατομής της υφής (TPA).

Η ανάλυση προφίλ υφής (TPA) είναι μια δοκιμή συμπίεσης δύο κύκλων που αναπαριστά τις δύο πρώτες συμπίεσεις ενός τροφίμου κατά τη μάσηση (Joyner, 2018). Η σταθερή ταχύτητα της κεφαλής οδηγεί σε καμπύλες δύναμης-απόστασης υπολογίζοντας έτσι τη παραμόρφωση. Η καταγεγραμμένη καμπύλη δύναμης-μετατόπισης αντανακλά την αντοχή του τροφίμου από την παραμόρφωση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ερμηνεία ορισμένων σημαντικών μηχανικών χαρακτηριστικών, όπως σκληρότητα, ευθραυστότητα, ελαστικότητα, συγκολλητικότητα κλπ. Επίσης για την δοκιμή αυτή ισχύει ότι η σκληρότητα συνδέεται με τη μέγιστη δύναμη συμπίεσης, η ευθραυστότητα με την καμπύλη της μετατόπισης-δύναμης και η συγκολλητικότητα με την (αρνητική) δύναμη διαχωρισμού από μια δοκιμασία συμπίεσης (Chen & Stokes, 2012). Διάφοροι τύποι εξοπλισμού χρησιμοποιούνται για την ανάλυση TPA σε τυριά (Instron, Texture Analyser κλπ).

## **2.5.2. Επίδραση συστατικών στις ρεολογικές ιδιότητες τυριών**

Οι μεταβολές στις συγκεντρώσεις των συστατικών μπορούν να τροποποιήσουν τις ρεολογικές ιδιότητες των τυριών (Arancibia et al., 2015) με αποτέλεσμα να παρατηρούνται διαφορές ως προς την σκληρότητα, την συγκολλητικότητα, την συνοχή και την ελαστικότητα (Kelly, 2006). Οι παράμετροι που επηρεάζουν την ρεολογική συμπεριφορά και την υφή της τετηγμένης μάζας είναι η χημική σύσταση, τα γαλακτωματοποιητικά άλατα, οι συνθήκες επεξεργασίας, η ψύξη (Dimitreli & Thomareis, 2008) και το pH. Ακόμη, η υφή εξαρτάται και από την περιεκτικότητα των τυριών σε διάφορα συστατικά. Συγκεκριμένα, η περιεκτικότητα σε υγρασία, λίπος και πρωτεΐνες αποτελούν παράγοντες που συμβάλλουν στις ιξωδοελαστικές ιδιότητες των τυριών. Συγκεκριμένα, η υγρασία που λειτουργεί ως πλαστικοποιητής και το λίπος ως λιπαντικό, συμβάλλουν στην υγρή συμπεριφορά των δειγμάτων. Αντίθετα, οι πρωτεΐνες κάνουν τα δείγματα λιγότερο υγρά και περισσότερο στερεά (Bachmann et al., 2001). Παρακάτω ακολουθεί αναφορά για την επίδραση των βασικών συστατικών των τυριών ως προς τις διάφορες ρεολογικές ιδιότητές τους.

### **2.5.2.1. Επίδραση του λίπους**

Τα κορεσμένα λίπη είναι συνήθως υπεύθυνα για τη δημιουργία επιθυμητών ρεολογικών ιδιοτήτων στα γαλακτοκομικά προϊόντα. Ο ρόλος και ο τύπος του λίπους καθώς και η κατανομή μεγέθους των λιποσφαιριών σε συνδυασμό με τον βαθμό της παρα-καζεϊνικής ενυδάτωσης, καθορίζουν τις ρεολογικές ιδιότητες των τυριών (Gwartney et al., 2002 ; Massotti et al., 2018). Η μειωμένη λιποπεριεκτικότητα έχει ως αποτέλεσμα μαλακά, λιγότερο ελαστικά και πιο συνεκτικά τυριά (Bachmann et al., 2001). Αντίθετα, αυτά που εμφανίζουν αυξημένη λιποπεριεκτικότητα είναι πιο σταθερά (Gwartney et al., 2004) και πιο όξινα (Stampanoni et al., 1991). Σε προσπάθειες αντικατάστασης λίπους γάλακτος με φυτικά λίπη παρατηρήθηκαν μεταβολές στις ρεολογικές ιδιότητες. Συγκεκριμένα, το λίπος σόγιας προσδίδει σκληρότητα και συγκολλητικότητα στα αναπληρώματα τυριού αλλά μειώνει την συνεκτικότητα και την ελαστικότητα (Bachmann et al., 2001).

### **2.5.2.2. Επίδραση υγρασίας**

Η υγρασία δρα ως πλαστικοποιητής, μειώνοντας τις ιξωδοελαστικές ιδιότητες του ανακατεργασμένου τυριού (Dimitreli και Thomareis, 2007). Σύμφωνα με μελέτες η περιεκτικότητα σε υγρασία εξαρτάται από την ταχύτητα ανάμειξης (Pereira et al., 2001) και η επίδραση της συνίσταται στη μείωση της σκληρότητας. Για να αυξηθεί η περιεκτικότητα σε υγρασία στα τυριά είναι απαραίτητη η σωστή ενυδάτωση της καζεΐνης και αυτό επιτυγχάνεται μέσω σωστής επιλογής γαλακτωματοποιητικών αλάτων. Η περίσσεια νερού προάγει την εκτεταμένη υπερενυδάτωση της πρωτεΐνης και προκαλεί το φαινόμενο της υπεργαλακτωματοποίησης, με αποτέλεσμα φτωχή τήξη και μειωμένη ροή κατά τη θέρμανση (Massotti et al., 2018). Η αύξηση της υγρασίας μεταβάλλει τις ρεολογικές ιδιότητες και συγκεκριμένα προκαλεί την αύξηση του pH, την μείωση του ιξώδους και τα δείγματα αποκτούν λιγότερο ελαστική και συνεκτική αλλά υγρή συμπεριφορά (Dimitreli & Thomareis, 2008). Ακόμη τα τυριά με χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία είναι περισσότερο ομοιόμορφα και παρουσιάζουν υψηλές τιμές των  $G'$  και  $G''$ , ενώ ο συντελεστής Young, η μέγιστη τάση και η δύναμη συμπίεσης τείνουν να μειώνονται (Pereira et al., 2001).

### **2.5.2.3. Επίδραση πρωτεϊνών**

Οι πρωτεΐνες γαλακτωματοποιούν το ελεύθερο λίπος ενώ ο τύπος, η ποσότητα, η δομή, και η διαλυτότητα αυτών, ασκούν μεγάλη επίδραση στις ρεολογικές ιδιότητες του προϊόντος (Massotti et al., 2018). Σε αντίθεση με την υγρασία και το λίπος, όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, αυξάνονται οι ιξωδοελαστικές ιδιότητες των ανακατεργασμένων τυριών λόγω μεγάλης ελαστικότητας (Dimitreli & Thomareis, 2008). Η τελευταία σχετίζεται με την υγρασία της πρωτεΐνης, όπως και η ευθραυστότητα του τυριού (Bachmann et al., 2001). Επίσης, τα λιποσφαίρια όταν σταθεροποιούνται σχηματίζεται ένα δίκτυο παγίδευσης λίπους και η αύξηση της διαμέτρου τους αυξάνει τη σκληρότητα και την αντοχή των τυριών (Cunha et al., 2010). Μετά την ψύξη των τελικών προϊόντων, αυτά αποκτούν μία πιο συμπαγή συμπεριφορά (Dimitreli & Thomareis, 2008). Σύμφωνα με μελέτες τα αναπληρώματα τυριού εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές συγκολλητικότητας σε σχέση με τα φυσικά τυριά, λόγω του διαφορετικού τύπου λίπους (Cunha et al., 2010). Τέλος, έγιναν προσπάθειες να αντικατασταθεί μέρος των καζεϊνικών αλάτων με φυτικές πρωτεΐνες, με αποτέλεσμα το προϊόν να είναι πιο μαλακό και λιγότερο ελαστικό (Bachmann, 2001).

### **2.5.2.4. Επίδραση αμύλου**

Το άμυλο είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο πυκνωτικό μέσο στα τυριά και επιδρά στη ρεολογία και στην υφή (Arancibia et al., 2015). Η αύξηση της σταθερότητας, της ευθραυστότητας, της σκληρότητας και η μείωση της ρευστότητας σε τυριά απομίμησης προκύπτουν από την αύξηση της συγκέντρωσης του αμύλου. Σύμφωνα με τους Guinee et al. (2004), η επίδραση του προστιθέμενου αμύλου στις ιδιότητες του τυριού απομίμησης σχετίζεται με την αναλογία αμυλόζης/ αμυλοπηκτίνης. Ακόμη, οι Mounsey & O'Riordan (2001) διαπίστωσαν ότι η προσθήκη αμύλου αυξάνει το βαθμό γαλακτωματοποίησης του λίπους (Ye et al., 2008). Τέλος, οι Massotti et al. (2018) διαπίστωσαν ότι η αύξηση της περιεκτικότητάς του αλλάζει την υφή των τυριών από μαλακή σε σκληρή.

### **2.5.2.5. Επίδραση άλλων συστατικών**

Η προσθήκη κόμμεος γκουάρ είναι η λύση των προβλημάτων υφής που προκαλείται από τη μειωμένη λιποπεριεκτικότητα των τυριών. Η αντικατάστασή του με φυτικό κόμμι διατηρεί την υφή και η προσθήκη κηφικού οξέος βελτιώνει την ικανότητα επάλειψης (Kelly, 2006). Ωστόσο, η αυξημένη ποσότητα οξέων προκαλεί μείωση της συνεκτικότητας και της ελαστικότητας (Bachmann et al., 2001). Ακόμη, η ενσωμάτωση υδροκολλοειδών στα τυριά έχει ως αποτέλεσμα αυξημένη σταθερότητα, μειωμένη τήξη, με ποικίλα αποτελέσματα όσον αφορά στη δυνατότητα επάλειψης. Επίσης, η παρουσία ινουλίνης στο αναλογικό τυρί προκαλεί σημαντική αύξηση της σκληρότητας σε σύγκριση με δείγματα χωρίς ινουλίνη. Τέλος, η αύξηση της περιεκτικότητας σε αλάτι αυξάνει τη συνεκτικότητα, την ελαστικότητα και τη συγκολλητικότητα και η μείωση του έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της σκληρότητας (Massotti et al., 2018).

Συμπερασματικά, όταν στα τυριά αυξάνεται η περιεκτικότητα σε υγρασία και λίπος το ιξώδες μειώνεται, ενώ με τις πρωτεΐνες αυξάνεται. Αυτό σημαίνει ότι δείγματα με αυξημένα επίπεδα υγρασίας και λίπους παρουσιάζουν περισσότερο υγρή συμπεριφορά, ενώ αυτά με αυξημένη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες παρουσιάζουν πιο στερεή. Έτσι, η υγρασία λειτουργεί ως πλαστικοποιητής και το λίπος ως λιπαντικό. Αυτά τα δύο οδηγούν σε ασθενέστερη πρωτεϊνική μήτρα, ενώ οι πρωτεΐνες οδηγούν στο σχηματισμό ενός πυκνότερου δικτύου με αυξημένη αντοχή (Dimitreli & Thomareis, 2008).



### 3.Σκοπός της Πτυχιακής εργασίας

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.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η ανάπτυξη και η μελέτη μιας σειράς αναπληρωμάτων τυριού με μορφή κοπτόμενου αλλά και επαλειφόμενου τύπου. Αυτά περιέχουν πρωτεΐνες γάλακτος (καζεϊνικό νάτριο), φυτικό λίπος (ηλιέλαιο), νερό, μαγειρικό άλας και γαλακτικό οξύ σε διαφορετικές συγκεντρώσεις κάθε φορά, ώστε να μελετηθεί, η επίδραση του κάθε συστατικού στις 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 λιπαινώμενης συμπιεστής ροής, αντίστοιχα. Οι μετρήσεις όλες έγιναν σε θερμοκρασία ψύξης (4°C), δηλαδή στη θερμοκρασία που καταναλώνονται τα τυριά όταν εξαχθούν από τη συντήρηση.

Το πειραματικό μέρος της εργασίας εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Ελέγχου και Διασφάλισης Ποιότητας Τροφίμων του Α.Τ.Ε.Ι.Θ. Η μελέτη χωρίστηκε σε δύο μέρη. Ο σκοπός της προκαταρκτικής μελέτης ήταν να οριστούν τα όρια των συγκεντρώσεων των τριών βασικών συστατικών των τυριών, δηλαδή του καζεϊνικού νατρίου, του ηλιέλαιου και του νερού, για τα οποία είναι εφικτή η παρασκευή σταθερών γαλακτωμάτων. Ο σκοπός δε του βασικού μέρους ήταν να μελετηθούν οι φυσικοχημικές, μηχανικές και ρεολογικές ιδιότητες ενός συγκεκριμένου αριθμού τυριών ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για τις ιδανικές αναλογίες των συστατικών για την παρασκευή αποδεκτών τυριών.

## 4.Υλικά και μέθοδοι

### 4.1 Πειραματική διαδικασία παρασκευής δειγμάτων

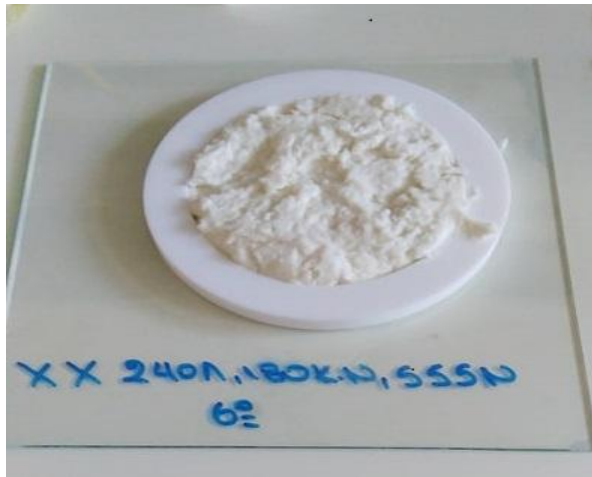
Το πειραματικό μέρος της παρούσας μελέτης εκπονήθηκε στο εργαστήριο Ελέγχου & Διασφάλισης Ποιότητας Τροφίμων του Α.Τ.Ε.Ι.Θ. Για την παρασκευή των αναπληρωμάτων τυριών χρησιμοποιήθηκε καζεϊνικό νάτριο, ηλιέλαιο, νερό, γαλακτικό οξύ και αλάτι (NaCl). Σε όλα τα δείγματα που παρασκευάστηκαν, οι περιεκτικότητες του καζεϊνικού νατρίου, του ηλιέλαιου και του νερού μεταβάλλονταν, ενώ αυτές του γαλακτικού οξέος και του αλατιού έμεναν σταθερές στο 1 και 1,5 % αντίστοιχα. Το γαλακτικό οξύ προστέθηκε ως ρυθμιστικός παράγοντας του pH των προϊόντων και το αλάτι ως βελτιωτικό γεύσης και ως σταθεροποιητής της δομής του μείγματος.

Το πειραματικό μέρος χωρίστηκε σε δύο διαφορετικά τμήματα. Στην προκαταρκτική μελέτη παρασκευάστηκαν δείγματα αναπληρωμάτων τυριών με ακραίες συγκεντρώσεις καζεϊνικού νατρίου, ηλιέλαιου και νερού προκειμένου να βρεθούν τα όρια των συγκεντρώσεων μέχρι τα οποία μπορούν να παρασκευαστούν σταθερά γαλακτώματα, αλλά και τα όρια των συγκεντρώσεων στα οποία έχουμε αλλαγή της μορφής των γαλακτωμάτων από κοπτόμενα τυριά σε επαλειφόμενα. Αφού βρέθηκαν τα όρια, ξεκίνησε το κύριο πειραματικό μέρος της μελέτης. Αρχικά, δημιουργήθηκε το πειραματικό σχέδιο, με τη βοήθεια των πειραμάτων μείξης και τη χρήση του στατιστικού προγράμματος Minitab, το οποίο υποδείκνυε την παρασκευή 24 διαφορετικών δειγμάτων εκ των οποίων τα 12 είχαν κοπτόμενη μορφή και τα υπόλοιπα 12 επαλειφόμενα.

Οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των δειγμάτων ήταν ένας ζυγός ακριβείας για τη μέτρηση του βάρους των πρώτων υλών και ο εργαστηριακός ομογενοποιητής Stephan Universal Machine UMC 5 για την ομογενοποίηση αυτών. Οι πρώτες ύλες, αφού ζυγίζονταν στις ποσότητες που υπαγορεύονταν από το πειραματικό σχέδιο κάθε φορά, τοποθετούνταν στον κάδο ανάμιξης του εργαστηριακού αναμίκτη, στον οποίο προηγουμένως είχε τοποθετηθεί το μαχαίρι. Ο κάδος ανάμιξης στη συνέχεια τοποθετούνταν στη συσκευή και έκλεινε ερμητικά με το καπάκι του, στο οποίο ελέγχονταν οι δυο βαλβίδες του (βαλβίδα δημιουργίας κενού και βαλβίδα εκτόνωσης κενού) να είναι κλειστές. Στην συνέχεια, η συσκευή ετίθετο σε λειτουργία και στο πρώτο λεπτό η ανάμιξη γινόταν με χαμηλές στροφές. Μετά το πέρας του πρώτου λεπτού, αναπτυσσόταν κενό εσωτερικά του κάδου και οι στροφές της συσκευής ανέρχονταν στις 1000 ανά λεπτό. Όταν η θερμοκρασία του μίγματος έφτανε τους 90°C, το μίγμα συνέχιζε να αναδεύεται για άλλα 5 λεπτά στα 2000 rpm. Με τη λήξη της ανάδευσης των 40 λεπτών, έκλεινε ο διακόπτης του υδατόλουτρου, άνοιγε η βαλβίδα εκτόνωσης του κενού, αφαιρούνταν το καπάκι του κάδου και απομακρυνόταν ο κάδος από τη συσκευή. Στη συνέχεια, το μίγμα μεταφερόταν σε ειδικά καλούπια για τη μετέπειτα μελέτη της υφής του, μετά τη στερεοποίησή του.

Τα καλούπια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν δύο ειδών. Το ένα είδος ήταν μεταλλικοί δακτύλιοι ύψους 2,2 cm και διαμέτρου 2,2 cm που χρησιμοποιούνταν για την ανάλυση προφίλ υφής (TPA) και το δεύτερο είδος ήταν δακτύλιοι από τεφλόν ύψους 1 cm και διαμέτρου 10 cm, που χρησιμοποιούνταν για την ανάλυση της λιπαινόμενης συμπιεστής ροής (squeeze flow). Και τα δυο είδη καλουπιών επαλείφονταν με παραφινέλαιο πριν την εισαγωγή του μίγματος σε αυτά, για να είναι εύκολη η εξαγωγή των δειγμάτων και τυλίγονταν με διαφανή μεμβράνη για να μην αφυδατωθεί η επιφάνεια των δειγμάτων που περιείχαν. Το υπόλοιπο μίγμα που περίσσευε κλεινόταν αεροστεγώς σε γυάλινα βάζα προκειμένου να μελετηθούν μελλοντικά οι φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Τέλος, καλούπια και βάζα φυλάσσονταν σε θερμοκρασία 4°C.

Στο **Σχήμα 12** φαίνονται φωτογραφίες κατά τη διάρκεια του πειράματος.



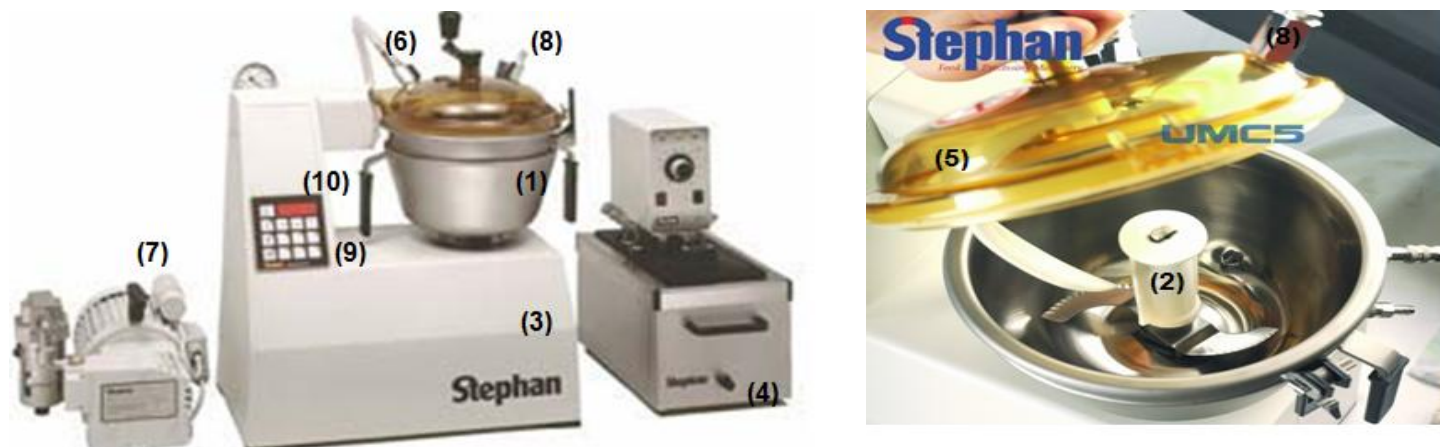
Σχήμα 12: Φωτογραφίες κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

## 4.2. Περιγραφή εργαστηριακού ομογενοποιητή-παστεριωτήρα

Για την παρασκευή των δειγμάτων αναπληρωμάτων τυριών που μελετήθηκαν χρησιμοποιήθηκε η συσκευή ομογενοποίησης Stephan Universal Machine UMC 5, η οποία πρόσφερε τη δυνατότητα ταυτόχρονης θέρμανσης υπό κενό. Η συσκευή αυτή είναι ευέλικτη και πολυδύναμη, προσφέρει αποτελεσματική κοπή και ομοιογενή ανάμιξη, δημιουργώντας σταθερά γαλακτώματα σε πολύ μικρούς χρόνους. Εφαρμόζεται και για τους δύο τύπους γαλακτωμάτων (νερό σε λάδι και λάδι σε νερό) αλλά και πηκτών, αλοιφών ή μειγμάτων σκόνης.

Η διάταξη της συσκευής παρουσιάζεται στα **Σχήμα 13**. Πρόκειται για μία συσκευή που αποτελείται από ένα κυλινδρικό κάδο ανάμιξης από ανοξείδωτο χάλυβα (1), όπου τοποθετείται το προς επεξεργασία μείγμα. Εσωτερικά αυτού τοποθετείται το μαχαίρι (2) το οποίο διαθέτει δυο ανοξείδωτες επιφάνειες κοπής, ενώ ο άξονάς του είναι καλυμμένος από πλαστικό. Τόσο ο κάδος όσο και το μαχαίρι αφαιρούνται εύκολα ώστε να καθαρίζεται μετά από κάθε χρήση. Η διάταξη μαχαιριών κοπής συνδέεται με τον κινητήρα (3), ο οποίος διαθέτει ταχύτητες ανάμιξης από 300 έως 3000 rpm.

Χαρακτηριστικό του κάδου ανάμιξης είναι τα διπλά τοιχώματα που διαθέτει, ανάμεσα στα οποία κυκλοφορεί νερό, το οποίο τροφοδοτείται από το υδατόλουτρο (4) με κυκλοφορητή. Η σύνδεση του κάδου με υδατόλουτρο καθιστά εύκολη την αυξομείωση της θερμοκρασίας του προϊόντος, η οποία δύναται να κυμανθεί από 0 έως 95 °C. Ο κάδος ανάμιξης κλείνει αεροστεγώς με διαφανές πλαστικό καπάκι (5). Στο καπάκι αυτό βρίσκεται ενσωματωμένο ένας χειροκίνητος αναδευτήρας (6) από πολυαμίδιο, ο οποίος χρησιμεύει για την αποκόλληση προϊόντος από τα τοιχώματα του κάδου, ώστε να αποφεύγεται η θερμική καταπόνησή του. Το καπάκι ασφαλίζει και η συσκευή συνδέεται με αντλία κενού (7), ώστε να απάγεται ο αέρας από τη μάζα του υπό παρασκευή μίγματος. Το καπάκι επίσης διαθέτει βαλβίδα (8) για την εκτόνωση του συστήματος, όταν η παρασκευή του δείγματος έχει ολοκληρωθεί. Τέλος, η διαχείριση της συσκευής γίνεται μέσω ενός πληκτρολογίου αφής (9) πάνω από το οποίο υπάρχει οθόνη (10) όπου καταδεικνύεται ο χρόνος και η θερμοκρασία του δείγματος ανά πάσα στιγμή (<http://www.astephan.de>).



**Σχήμα 13:** Η συσκευή ομογενοποίησης Stephan Universal Machine UMC 5; (1) κάδος ανάμιξης, (2) μαχαίρι συσκευής (3) κινητήρας συσκευής, (4) υδατόλουτρο, (5) καπάκι κάδου, (6) χειροκίνητος αναδευτήρας, (7) αντλία κενού, (8) βαλβίδα κενού, (8) βαλβίδα κενού (9) πληκτρολόγιο, (10) οθόνη όπου καταδεικνύεται ο χρόνος και η θερμοκρασία του δείγματος ανά πάσα στιγμή (<http://www.astephan.de>).

### 4.3. Φυσικοχημικές αναλύσεις

#### 4.3.1. Προσδιορισμός pH

Η μέτρηση του pH των τυριών έγινε με τη βοήθεια φορητού πεχαμέτρου (Σχήμα 14), μοντέλο HI 8424 NEW (Hanna Instruments), το οποίο είναι συνδεδεμένο με ηλεκτρόδιο βύθισης στη μάζα, που είναι μοντέλο HI 1230B (Hanna Instruments). Αρχικά ρυθμίζεται το όργανο με τη βοήθεια δύο ρυθμιστικών διαλυμάτων με pH 7 και 4. Έπειτα, αφού το δείγμα έχει εξισορροπηθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, γίνεται η μέτρηση του pH με βύθιση του ηλεκτροδίου στη μάζα του προϊόντος. Μετά από μερικά δευτερόλεπτα σταθεροποίησης, λαμβάνεται η ένδειξη στην οθόνη του πεχαμέτρου. Να σημειωθεί ότι μετά από κάθε εμφύσηση σε οποιοδήποτε διάλυμα, γίνεται έκπλυση του ηλεκτροδίου με απεσταγμένο 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](http://www.hannacan.com)).



**Σχήμα 14:** Πεχάμετρο ([www.mednutrition.gr](http://www.mednutrition.gr)).

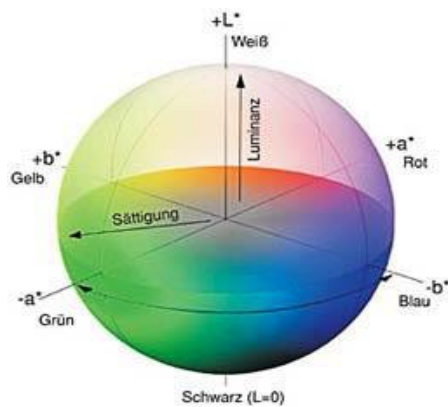
### 4.3.2. Προσδιορισμός χρώματος

Η μέτρηση του χρώματος των δειγμάτων αναπληρωμάτων τυριού πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ενός χρωματομέτρου HunterLab που διαθέτει σύστημα οπτικού αισθητήρα D25 με επεξεργαστή DP-9000 (**Σχήμα 15**). 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  $45^\circ$  από την κάθετο. Το ανακλώμενο φως στη συνέχεια συλλέγεται σε έναν υποδοχέα που βρίσκεται ακριβώς πάνω από το δείγμα στις  $0^\circ$  από την κάθετο. Ο επεξεργαστής DP-9000 μετατρέπει τα σήματα από τον οπτικό αισθητήρα σε τιμές χρώματος σχετικές με την πηγή φωτός και  $2^\circ$  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.

Το κάθε χρώμα περιγράφεται από 3 συντεταγμένες, οι οποίες συμβολίζονται με τα γράμματα  $L^*$ ,  $a^*$  και  $b^*$  (**Σχήμα 16**). 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. Το χρώμα είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τα προϊόντα απομίμησης (<https://repository.kallipos.gr>). Σύμφωνα με τους Noronha et al. (2008), ένα καθαρό λευκό χρώμα θεωρείται ιδιαίτερα επιθυμητό χαρακτηριστικό στο τυρί απομίμησης.



**Σχήμα 15:** Χρωματόμετρο HunterLab D25 DP9000 (<https://repository.kallipos.gr>).

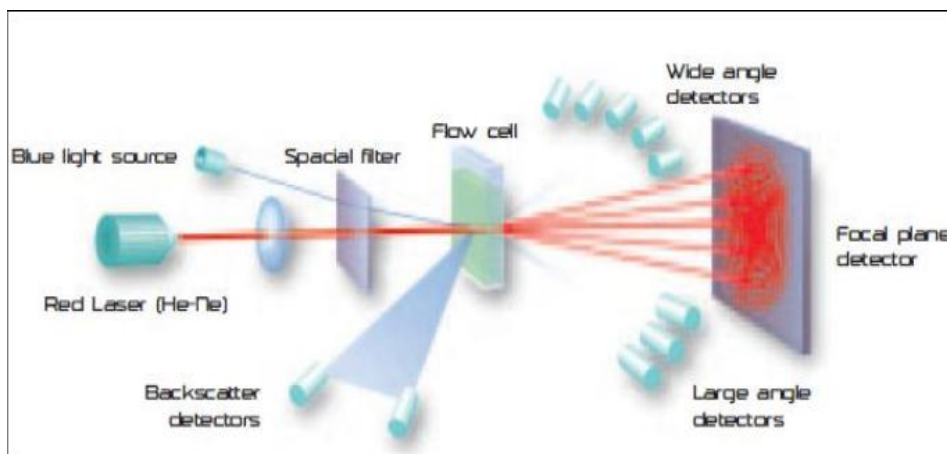


**Σχήμα 16:** Απεικόνιση του χρωματικού μοντέλου CIELab ([www.hunterlab.com](http://www.hunterlab.com)).

#### 4.4. Μέτρηση μεγέθους λιποσφαιριών

##### 4.4.1 Η συσκευή Mastersizer 2000

Για τον προσδιορισμό του μεγέθους των σταγονιδίων ηλιέλαιου των 24 δειγμάτων και την εκτίμηση της σταθερότητάς τους, χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Mastersizer 2000, της εταιρίας Malvern. Η αρχή λειτουργίας του οργάνου (**Σχήμα 17**) 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 και μειώνεται, σε μια καλή προσέγγιση, σε σχέση με τα σωματίδια εγκάρσια διατομής. Μεγάλα σωματίδια επομένως, σκεδάζουν το φως σε μικρές γωνίες με υψηλή ένταση, ενώ τα μικρά σωματίδια σκεδάζουν σε ευρύτερες οπτικές γωνίες αλλά με χαμηλή ένταση.



**Σχήμα 17:** Απεικόνιση της λειτουργίας της συσκευής Malvern Mastersizer 2000 Hydro ([www.labmakelaar.com](http://www.labmakelaar.com)).

Το υπό μελέτη υλικό τοποθετείται σε ειδική κυψελίδα (flow cell) και ακτινοβολείται από διπλή δέσμη φωτός. Η μία δέσμη laser He-Ne είναι χαμηλής συχνότητας («κόκκινη δέσμη») και η άλλη είναι υψηλότερης συχνότητας («μπλε δέσμη»), ώστε να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια. Αυτές εστιάζονται, φιλτράρονται και στη συνέχεια προσπίπτουν πάνω στα σωματίδια του υλικού ώστε να σκεδάζονται (ή ακόμα και οπισθοσκεδάζονται) σε γωνίες

αντιστρόφως ανάλογες του μεγέθους των σωματιδίων. Οι σκεδαζόμενες δέσμες ανιχνεύονται με κατάλληλα γωνιακά τοποθετημένους φωτοευαίσθητους ανιχνευτές, προκειμένου να επιτυγχάνεται βέλτιστη ανάλυση σε μεγάλο εύρος μεγεθών και τελικά να συσσωρεύονται σε 100 μέρη διαφορετικής κλάσης μεγέθους. Έτσι το όργανό αυτό με δεδομένη τη γωνία σκέδασης και με γνωστούς τους δείκτες διάθλασης του μέσου διασποράς και των διεσπαρμένων σωματιδίων, μπορεί να προσδιορίσει με ακρίβεια την ταχύτητα και 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 στηρίζεται σε βασικές αρχές, δεν χρειάζεται βαθμονόμηση και μπορεί πολύ εύκολα να ελεγχθεί ως προς την αξιοπιστία του.

Το Mastersizer λοιπόν (**Σχήμα 18**), χρησιμοποιεί το μοτίβο σκέδασης φωτός που σχετίζεται με ένα δείγμα, ώστε να υπολογίσει την κατανομή στο μέγεθος των σωματιδίων και να ολοκληρώσει τη μέτρηση σε λίγα δευτερόλεπτα. Για τον σκοπό αυτόν, περιλαμβάνει μία 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 δύο μονάδες εισαγωγής, τις Hydro 2000 και Scirocco 2000 για τη διεξαγωγή μετρήσεων σε υγρά αλλά και στερεά δείγματα αντίστοιχα ([www.labmakelaar.com](http://www.labmakelaar.com)).



**Σχήμα 18:** Απεικόνιση της συσκευής Malvern Mastersizer 2000 Hydro([www.labmakelaar.com](http://www.labmakelaar.com)).

Για τις μετρήσεις στο Mastersizer 2000, δημιουργήθηκε μια πρότυπη μέθοδος λειτουργίας (SOP, Standard Operating Procedure) στο λογισμικό του μηχανήματος ειδική για τη μελέτη του μεγέθους των λιποσταγονιδίων ηλιέλαιου που περιείχαν τα δείγματά. Πριν από τη μέτρηση του κάθε δείγματος, το μηχάνημα υπόκειται σε 3 συνεχόμενες πλύσεις με απιονισμένο νερό, διάρκειας ενός λεπτού η καθεμία με τον αναδευτήρα της συσκευής να λειτουργεί στις 3000 στροφές. Για τη 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 αναδεύεται συνεχώς γίνεται μέτρηση της διαύγειας του νερού. Αν η μέτρηση είναι στα επιτρεπόμενα όρια, τότε γίνεται εισαγωγή 10-30 ml δείγματος, ανάλογα με τη συγκέντρωση του ηλιέλαιου που αυτό περιέχει. 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. Για το κάθε δείγμα πραγματοποιούνται 3 μετρήσεις ([www.labmakelaar.com](http://www.labmakelaar.com)).



#### 4.4.2 Προετοιμασία δειγμάτων

Για την προετοιμασία δυο δειγμάτων ογκομετρήθηκαν 990 ml νερό και ζυγίστηκαν 3,75 g EDTA. Σε ένα ποτήρι του 1 L εισήχθη το νερό και το EDTA και αφέθηκε το μείγμα να αναδευτεί. Στη συνέχεια ενώ το μείγμα αναδευόταν, ρίχτηκε NaOH 1N μέχρις ότου η ένδειξη του πεχαμέτρου που είχε τοποθετηθεί στο ποτήρι με το μείγμα να δείξει pH 9. Μετά προστέθηκαν 1,25 g διαλύματος Tween 20.

Σε σύνολο 4 ποτήρια των 250 ml προστέθηκαν στα δύο από 2 g του ενός δείγματος και στα άλλα δύο από 2 g του άλλου δείγματος, σε όσο το δυνατό μικρότερα κομμάτια. Στην πορεία προστέθηκαν λίγα ml από το διάλυμα που είχε παρασκευαστεί προηγουμένως και το μείγμα υπέστη ομογενοποίηση. Αφού συμπληρώθηκαν τα ποτήρια με το διάλυμα, ώστε το μείγμα να αποκτήσει όγκο 200 ml, προστέθηκε και άλλο NaOH ώστε η ένδειξη του πεχαμέτρου να δείξει pH 10 και αφέθηκαν τα μείγματά να αναδευτούν για 1 ώρα. Πριν τοποθετηθούν στο ψυγείο για μια νύχτα, ξανά έγινε μέτρηση του pH και ρυθμίστηκε πάλι στο 10 γιατί συνήθως μετά από ανάδευση μιας ώρας το pH είχε μειωθεί ([www.labmakelaar.com](http://www.labmakelaar.com)).

#### 4.5.Ρεολογικές Δοκιμές

##### 4.5.1.Αναλυτής υφής

Ο αναλυτής υφής TA-XT Plus Universal Texture Analyser (**Σχήμα 19**) 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 (<http://www.masontechnology.ie>).



**Σχήμα 19:** Συσκευή TA-XT Plus Universal Texture Analyser (<http://www.masontechnology.ie>).

Στον **Πίνακα 10** συνοψίζονται οι προδιαγραφές της συσκευής TA-XT Plus Universal Texture Analyser, όπως αυτές αναγράφονται στο λογισμικό της.

**Πίνακας 10:** Προδιαγραφές Texture Analyser (<http://www.masontechnology.ie>).

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

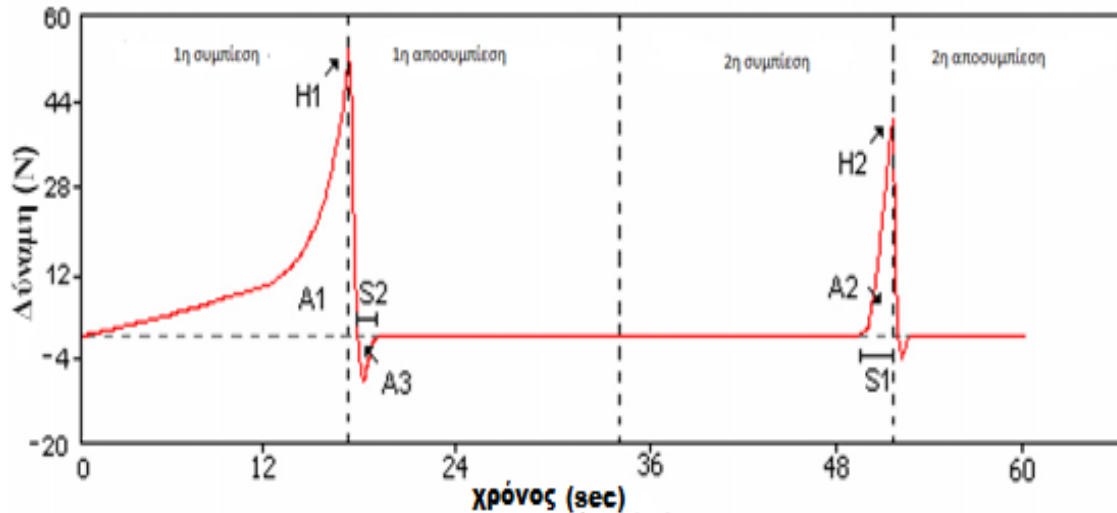
#### 4.5.2.Δοκιμή TPA: Texture Profile Analysis

Ο αναλυτής υφής TA-XT Plus Universal Texture Analyser 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 μάσησης.

Στην παρούσα εργασία, η ταχύτητα κίνησης της πλάκας έχει οριστεί στα 0,00033 m/s (2 cm/min). Καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμής, το ηλεκτρονικό καταγραφικό του οργάνου κατέγραφε τη στιγμιαία δύναμη. Για το κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν έξι επαναλήψεις (<http://www.masontechnology.ie>).

#### 4.5.2.1. Υπολογισμός μηχανικών παραμέτρων TPA

Ο υπολογισμός των μηχανικών 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 20**.



**Σχήμα 20:** 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  $A2/A1$ .
- ❖ **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  $\sigma$ ,  $F$ ,  $A$  και  $\epsilon$  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 1 επί τη συνεκτικότητα.
- ❖ **K (mJ)**: Μασητικότητα. Αντιστοιχεί στην ενέργεια μύσησης που απαιτείται στο στόμα ώστε στερεά τροφή να μετατραπεί σε ημίρρευστη. Προκύπτει από το γινόμενο της κομμιώδους υφής επί την ελαστικότητα (<http://www.masontechnology.ie>).

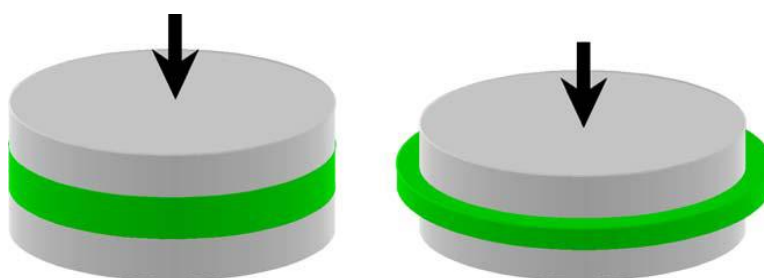
Να σημειωθεί ότι οι τιμές A1, A2, A3 και S1, S2, για να μετατραπούν σε Joule και m (ή mm), αντίστοιχα πολλαπλασιάστηκαν με την ταχύτητα της πλάκας TPA ( $v=0,00033$  m/s).

#### 4.5.3. 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: 80%
- Χρόνος παραμονής: 3min σε παραμόρφωση 80%

Στο **Σχήμα 21** φαίνεται πώς γίνεται η συμπίεση ενός δείγματος με σταθερή επαφή μεταξύ αυτού και των δύο παράλληλων πλακών.

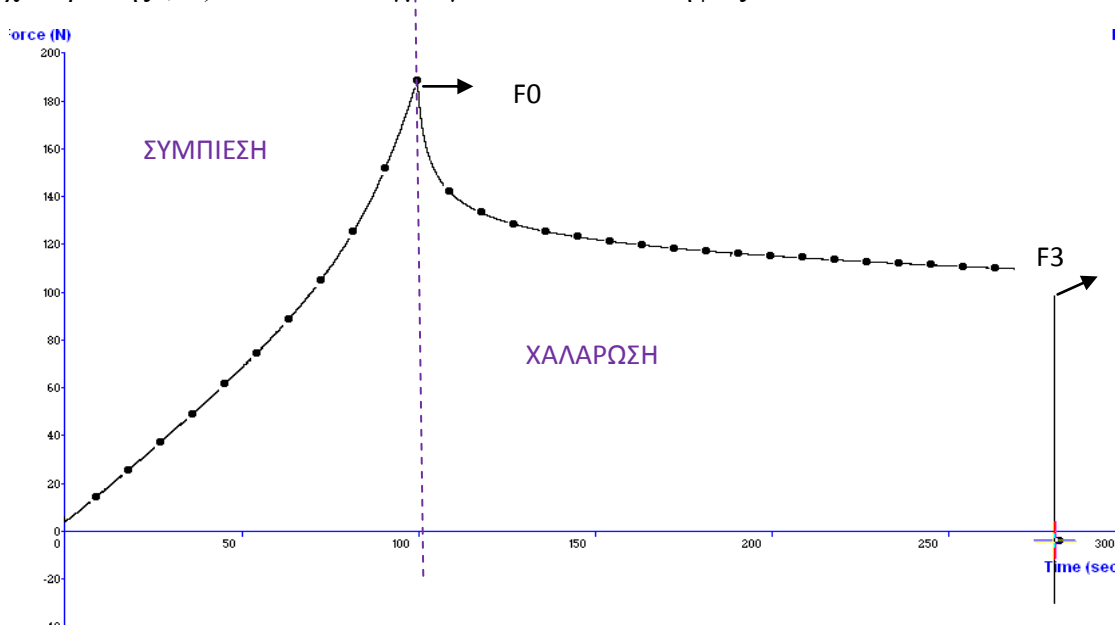


**Σχήμα 21:** Συμπίεση δείγματος με σταθερή επαφή μεταξύ του δείγματος και των δύο παράλληλων πλακών (Shukla et al., 1995).

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 παραφινέλαιο 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 παραφινέλαιο της επιφάνειας των δακτυλίων που ήταν ακάλυπτη. Με προσεχτικές κινήσεις αφαιρούνταν ο δακτύλιος από τερφλόν 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 παραφινέλαιο 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 (Terpstra et al., 2007).

Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του αναλυτή υφής στην δοκιμή της λιπαινόμενης συμπίεσης ροής, στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή καταγράφεται ένα γράφημα, που αναπαριστά την καμπύλη δύναμης-χρόνου (Σχήμα 22). Στο τέλος της συμπίεσης, όπου αντιστοιχεί η μέγιστη παραμόρφωση (80%), η δύναμη ονομάζεται δύναμη συμπίεσης (F0). Επίσης, μετά από 3 min χαλάρωσης σε σταθερή παραμόρφωση (80%), προκύπτει η δύναμη χαλάρωσης (F3). Για κάθε δείγμα γίνονται 3 επαναλήψεις.



Σχήμα 22: Καμπύλη δύναμης – χρόνου που προκύπτει κατά τη δοκιμή Squeeze flow (Terpstra et al., 2007).

Στη συνέχεια, υπολογίζεται η φαινομενική τάση στο τέλος της συμπίεσης στα 2 mm (F0/A) και στο τέλος της χαλάρωσης στα 3 min (F3/A). Η διάμετρος της πλάκας είναι 0,1 m και η επιφάνειά της ορίζεται ως εξής:

$$\text{Απλάκας} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \times 0.1^2}{4} = 7.85 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

#### 4.6. Μέθοδος αποτύπωσης αποτελεσμάτων

Στη 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 (B, H1, H2, A1, A2, A3, C, S1, S2,

Μέτρο Young, G, K), 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 τον ορισμό του πειραματικού σχεδίου, την ανάλυση των αποτελεσμάτων και τον σχεδιασμό των γραφημάτων ήταν το Minitab 17.0 και καταγράφεται αναλυτικά στα Υποκεφάλαια 5.2 και 5.3, αντίστοιχα. Αρχικά, υπολογίστηκαν μέσοι όροι των τιμών από τις επαναλήψεις της κάθε ρεολογικής, μηχανικής και φυσικοχημικής ιδιότητας για καθένα από τα 24 δείγματα. Για την εύρεση του μοντέλου που περιγράφει επιτυχώς την επίδραση των τριών συστατικών των αναπληρωμάτων τυριού ( $p=3$ ) στις ρεολογικές, μηχανικές και φυσικοχημικές ιδιότητες επιλέχθηκε η μέθοδος της Πολλαπλής Παλινδρόμησης (Mixture Regression). Η επιλογή των στατιστικά σημαντικών παραγόντων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της μεθόδου προοδευτικής ή σταδιακής ένταξης των μεταβλητών (Forward selection). Με τη μέθοδο αυτή επιλέγεται πρώτα μια ανεξάρτητη μεταβλητή και ακολούθως εισάγονται στην εξίσωση νέες μεταβλητές, μια κάθε φορά, μέχρις ότου η παραπέρα ένταξη αυτών να μην αυξάνει σημαντικά το συντελεστή πολλαπλού προσδιορισμού  $R^2$  (Πετρίδης, 2016).

Στα στοιχεία που προέκυψαν από τη μελέτη των ιδιοτήτων αυτών εφαρμόστηκε το μοντέλο της γραμμικής αλλά και της δευτεροβάθμιας πολυωνυμικής εξίσωσης για όσες μεταβλητές απόκρισης είχαν συντελεστή προσδιορισμού ( $R^2$ ) μεγαλύτερο από 50% και η σημαντικότητα της παλινδρόμησης ( $P_{\text{regression}}$ ) και της γραμμικότητας του μοντέλου ( $P_{\text{linear}}$ ) ήταν στατιστικά σημαντική (δηλαδή  $P < 0.05$ ). Αντίθετα, όσες μεταβλητές απόκρισης είχαν συντελεστή προσδιορισμού ( $R^2$ ) χαμηλότερο του 50% και μη στατιστικά σημαντική παλινδρόμηση και γραμμικότητα, απορρίπτονταν από το μοντέλο και δεν ακολουθούσε περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων τους. Η εξίσωση του μοντέλου πρόβλεψης είναι :

$$\text{Γραμμική: } Y = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3$$

$$\text{Δευτεροβάθμια: } Y = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 \quad \text{όπου:}$$

- $b_1, b_2, b_3$  είναι οι συντελεστές 1ου βαθμού, οι οποίοι δηλώνουν την γραμμική σχέση της εκάστοτε εξαρτημένης μεταβλητής (Y) με το κάθε ένα από τα τρία συστατικά (ηλιέλαιο, νερό, καζεϊνικό νάτριο) αντίστοιχα. Έτσι αν ο συντελεστής έχει θετικό πρόσημο σημαίνει ότι με την αύξηση του κάθε συστατικού αυξάνεται η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής, ενώ αν το πρόσημο είναι αρνητικό σημαίνει ότι με την μείωση του συστατικού του μίγματος η τιμή της εξαρτημένης αυξάνεται.
- $b_{12}, b_{13}, b_{23}$ : συντελεστές αλληλεπίδρασης 2ου βαθμού οι οποίοι αναφέρονται στην διπλή μίξη των τριών συστατικών και δείχνουν τη θετική (θετικό πρόσημο) ή αρνητική (αρνητικό πρόσημο) δράση τους στις εξαρτημένες μεταβλητές. Αν ένας συντελεστής αλληλεπίδρασης είναι θετικός, υποδεικνύει ότι οι εκάστοτε όροι που αλληλεπιδρούν έχουν συνεργιστική ή συμπληρωματική δράση, δηλαδή όταν αυξάνεται ο ένας αυξάνεται και ο άλλος. Έτσι η αύξηση αμφοτέρων προκαλεί την αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής. Όταν ένας συντελεστής αλληλεπίδρασης είναι αρνητικός σημαίνει ότι οι όροι που αλληλεπιδρούν έχουν ανταγωνιστική δράση, δηλαδή όταν αυξάνεται ο ένας μειώνεται ο άλλος και το αντίστροφο, έχει συνέπεια τη μείωση της εξαρτημένης (Πετρίδης, 2016).

Τέλος, τα αποτελέσματα της ανάλυσης απεικονίστηκαν γραφικά με γραφήματα ισοϋψών καμπυλών (Contour plot) καθώς και ιχνογραφημάτων απόκρισης (Cox Response Trace plot) των κύριων αξόνων.

## 5.Αποτελέσματα και Συζήτηση

### 5.1 Αποτελέσματα προκαταρκτικής μελέτης

Στην προκαταρκτική μελέτη, σε πρώτη φάση, παρασκευάστηκαν δείγματα ανακατεργασμένων τυριών με ακραίες συγκεντρώσεις καζεϊνικού νατρίου, νερού και ηλιέλαιου προκειμένου να βρεθούν τα όρια των συγκεντρώσεων μέχρι τα οποία μπορούν να παρασκευαστούν σταθερά γαλακτώματα, τα οποία κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους δεν παρουσιάζουν διαχωρισμό των συστατικών τους. Τα σταθερά γαλακτώματα διακρίνονται σε επαλειφόμενα και κοπτόμενα τυριά. Επιπροσθέτως, παρασκευάστηκαν δείγματα τα οποία αποτελούσαν μεταβατικά γαλακτώματα από την κοπτόμενη μορφή στην επαλειφόμενη. Τα όρια όλων των γαλακτωμάτων ορίστηκαν βάσει της ρεολογικής συμπεριφοράς τους στον Αναλυτή Υφής και παρουσιάζονται στον **Πίνακα 11**.

**Πίνακας 11:** Ελάχιστα και μέγιστα όρια των τριών βασικών συστατικών των δειγμάτων.

Συστατικά	Ελάχιστα όρια %	Μέγιστα όρια %
Ηλιέλαιο	20,8	31,7
Καζεϊνικό νάτριο	13	18
Νερό	50	60,2

Τα αναπληρώματα τυριού που μελετούνται σε αυτήν την εργασία είναι υψηλής λιποπεριεκτικότητας με ελάχιστη & μέγιστη περιεκτικότητα σε ηλιέλαιο να είναι το 20,8% & 31,7 %, αντίστοιχα ώστε να μπορεί να δώσει σταθερό γαλάκτωμα. Να σημειωθεί ότι όριο σταθερού γαλακτώματος για συγκεκριμένη ποσότητα ελαίου ορίζεται το γαλάκτωμα το οποίο περιείχε όσο το δυνατό περισσότερο νερό χωρίς να προκαλείται η αποβολή του κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Μείγματα κάτω από την ελάχιστη περιεκτικότητα σε ηλιέλαιο παρουσίαζαν θρόμβωση και έδιναν δείγματα με κοκκώδη μορφή λόγω της ελλιπούς γαλακτωματοποίησης και της αποβολής περίσσειας νερού (συναίρεση). Αντίθετα, μείγματα πάνω από την μέγιστη περιεκτικότητα σε ηλιέλαιο έδιναν πολύ ρευστά δείγματα λόγω των πολύ περισσότερων μορίων του νερού συγκριτικά με τα πολύ λίγα μόρια καζεϊνικού νατρίου.

Όσον αφορά την περιεκτικότητα σε νερό σε συνδυασμό με ηλιέλαιο, λόγω της αδυναμίας του ομογενοποιητή Stephan να επεξεργάζεται πάρα πολύ σκληρά δείγματα, το ελάχιστο δυνατό άθροισμα ολικών υγρών (νερό και ηλιέλαιο) βρέθηκε να είναι 79,5%, με όρια για κοπτόμενο τύπο τυριού 79,5% - 81,5%. Αντίθετα, το μέγιστο δυνατό άθροισμα ολικών υγρών βρέθηκε να είναι 84,5%, με όρια για επαλειφόμενο τύπο τυριού 83%-84,5%. Ενδιάμεσα, δηλαδή από 81,5%-83%, υπάρχει μία σύγχυση και ο τύπος του τυριού εξαρτάται κάθε φορά από την περιεκτικότητα σε νερό και ηλιέλαιο.

Κατά την προκαταρκτική μελέτη, βρέθηκε ότι τα δείγματα με περιεκτικότητα σε νερό πάνω από 60% δεν ήταν ποτέ σταθερά όποια και να ήταν η περιεκτικότητα των υπόλοιπων συστατικών τους. Ο διαχωρισμός του νερού εμφανιζόταν μέσα στις επόμενες ώρες. Ο μέγιστος λόγος νερό/καζεϊνικό νάτριο στα επαλειφόμενα τύπο τυριού είναι 4,19 με περιεκτικότητα σε νερό 54,5% και ηλιέλαιο 30% ενώ ο ελάχιστος στο κοπτόμενο τύπο τυριού είναι 2,85 με περιεκτικότητα σε νερό 50% και ηλιέλαιο 30%. Οι αριθμοί αυτοί βρέθηκαν μέσα από μελέτες και πειράματα που πραγματοποιήθηκαν, παρασκευάζοντας δείγματα με μικρότερο και μεγαλύτερο από τους παραπάνω λόγους νερό/καζεϊνικό νάτριο, ώστε να βρεθούν τα όρια των 3 συστατικών που θα μπορούν να δώσουν ένα σταθερό γαλάκτωμα, είτε επαλειφόμενο είτε κοπτόμενο. Οι περιεκτικότητες των δοκιμαστικών δειγμάτων και το αποτέλεσμα τους καταγράφεται στον **Πίνακα 12**. Ο αριθμός 4,19 ορίστηκε ως μέγιστος λόγος νερό/καζεϊνικό νάτριο στον επαλειφόμενο τύπο τυριού, διότι μέχρι αυτό το όριο

μπορούσε να δοθεί ένα επαλειφόμενο γαλάκτωμα, που να περιέχει τέτοια ποσότητα καζεϊνικού νατρίου που να μπορεί να διαλυθεί επιτυχώς από το νερό χωρίς όμως να το μετατρέψει σε τελειώς ρευστό μίγμα. Με άλλα λόγια 1g καζεϊνικού νατρίου απαιτεί μέχρι 4,19 g νερού, ώστε να δώσει επαλειφόμενο δείγμα. Αντίθετα, ο αριθμός 2,85 ορίστηκε ως ελάχιστος λόγος νερό/καζεϊνικό νάτριο στον κοπτόμενο τύπο τυριού, διότι μέχρι αυτό το όριο μπορούσε να δοθεί ένα κοπτόμενο γαλάκτωμα, που να περιέχει τέτοια ποσότητα καζεϊνικού νατρίου που να μπορεί να διαλυθεί επιτυχώς από το νερό χωρίς να υπάρχει διαχωρισμός φάσεων ή μη ομοιογενές μίγμα. Με άλλα λόγια, 1 g καζεϊνικού νατρίου απαιτεί μέχρι 2,85 g νερού, ώστε να δώσει κοπτόμενο δείγμα

**Πίνακας 12:** Καταγραφή περιεκτικότητας δοκιμαστικών δειγμάτων.

A/A Δείγματος	Λόγος νερό/καζεϊνικό νάτριο	Ηλιέλαιο (%)	Καζεϊνικό νάτριο (%)	Νερό (%)	Συμπέρασμα
1	4,38	27,5	13	57	Ρευστό
2	4,57	25	13	59,5	Ρευστό
3	2,34	24	22	51,5	διαχωρισμός φάσεων
4	2,72	25,3	19,4	52,8	διαχωρισμός φάσεων

Από τα παραπάνω δοκιμαστικά δείγματα του **Πίνακα 12**, φαίνεται ότι εντός ορίων των 3 βασικών συστατικών, όταν η περιεκτικότητα σε καζεϊνικό νάτριο είναι 13% και αυξηθεί ο λόγος νερό/καζεϊνικό νάτριο πάνω από 4,19, το νερό δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 54,5% και το ηλιέλαιο να είναι κάτω από 30%, διότι ως τελικό αποτέλεσμα θα προκύψει ένα ρευστό γαλάκτωμα, χωρίς συνεκτικότητα. Επίσης, αν ξεπεραστούν τα όρια του καζεϊνικού νατρίου (όρια 13-18%) και μειωθεί ο λόγος νερό/καζεϊνικό νάτριο κάτω από 2,85, θα προκύψουν δείγματα στα οποία διαχωρίζεται η λιπαρή από την υδατική φάση, λόγω ανεπαρκούς διαλυτοποίησης του καζεϊνικού νατρίου και συνεπώς ανεπιτυχούς γαλακτωματοποίησης.

## 5.2 Πειραματικό σχέδιο

Αφού βρέθηκαν τα όρια στα οποία θα κυμαίνονταν οι περιεκτικότητες των αναπληρωμάτων τυριού στα τρία βασικά συστατικά, επόμενο βήμα της μελέτης ήταν να οριστεί ένα πειραματικό σχέδιο για την παρασκευή ορισμένου αριθμού αντιπροσωπευτικών δειγμάτων. Με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος Minitab, χρησιμοποιήθηκε το πείραμα μείξης (mixture experiment). Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόστηκε το απλοποιημένο διάπλεγμα του **Σχήματος 23**.

Τα σχέδια Simplex χρησιμοποιούνται ευρέως για την μελέτη της δράσης των συστατικών μίξης σε μία μεταβλητή απόκρισης. Ένα από τα δημοφιλέστερα είναι το απλοποιημένο διάπλεγμα, το οποίο στις κορυφές έχει τα καθαρά συστατικά (χωρίς μίξεις) και εσωτερικά του τριγώνου διαφορετικούς συνδυασμούς μίξης ανά συστατικό (Πετρίδης, 2016). Οι διαφορετικές αναλογίες μίξης τριών συστατικών σε ένα τέτοιο διάπλεγμα, μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τέσσερις τύπους σημείων :

A) σημεία κορυφής, τα οποία αποτελούν μίξη ενός μόνου συστατικού σε ποσοστό συμμετοχής 100%.

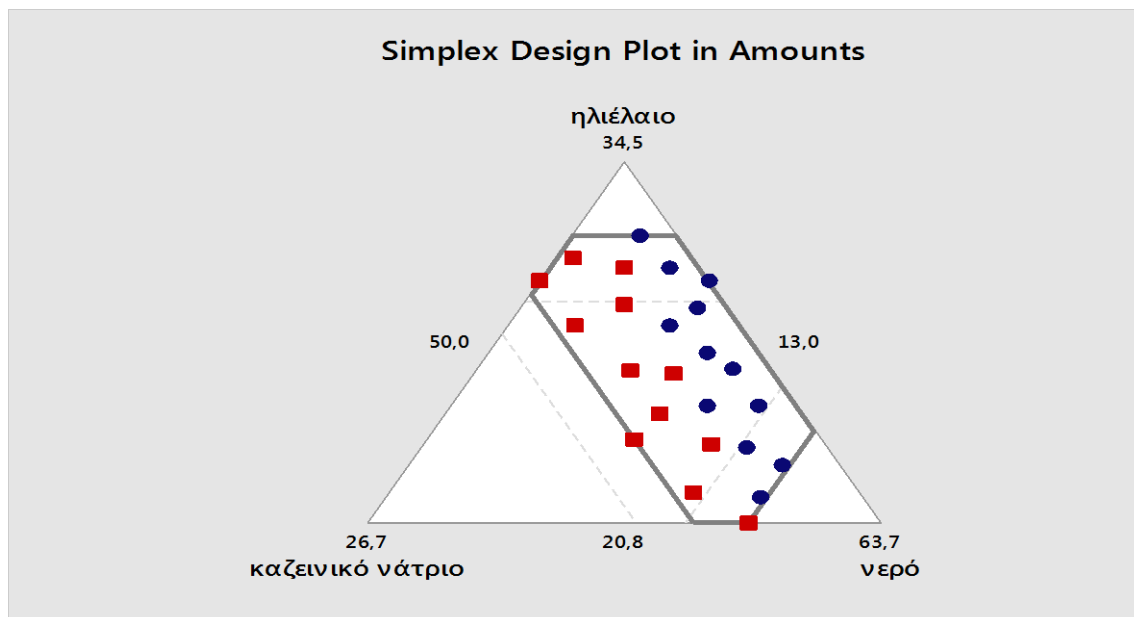
B) κεντρικό σημείο, το οποίο αποτελεί μία πλήρη μίξη, στην οποία όλα τα συστατικά είναι παρόντα ταυτόχρονα σε ίση αναλογία μίξης 1/3.

Γ) σημεία διπλής και τριπλής μίξης. Τα διχοτομικά σημεία είναι σημεία διπλής μίξης, στην οποία κάθε συστατικό συμμετέχει κατά 1/2. Τα τριχοτομικά σημεία είναι σημεία τριπλής μίξης, στην οποία το ένα συστατικό συμμετέχει σε αναλογία 1/3 και τα άλλα 2 συστατικά σε αναλογία 2/3.



Δ)αξονικά σημεία, είναι σημεία τριπλής μίξης με την διαφορά ότι το ένα συστατικό βρίσκεται πάντα σε αναλογία 2/3, ενώ τα υπόλοιπα δύο σε αναλογία 1/6.

Στο συγκεκριμένο πείραμα, επιλέχθηκε το σχέδιο ακραίων κορυφών (extreme vertices), επειδή καλύπτεται μόνο ένα μέρος της επιφάνειας του πειραματικού σχεδίου. Συγκεκριμένα, στο **Σχήμα 23**, το πεδίο που περικλείεται στο πολύγωνο περιέχει αθροιστικά 24 μείξεις, ενώ μείξεις εκτός του πεδίου αυτού θεωρούνται αδύνατον να μετρηθούν ρεολογικά επειδή ήταν ασταθή ή πολύ σκληρά. Κάθε σημείο έχει διαφορετική περιεκτικότητα στα τρία συστατικά σε σχέση με τα υπόλοιπα και αυτό φαίνεται και από τον **Πίνακα 13**. Το πολύγωνο χωρίζεται σε δυο περιοχές χαρακτηρίζοντας τα δείγματα ως επαλειφόμενα (μπλε χρώμα) ή κοπτόμενα (κόκκινο χρώμα). Το πλήθος του κάθε τύπου τυριού είναι δώδεκα.



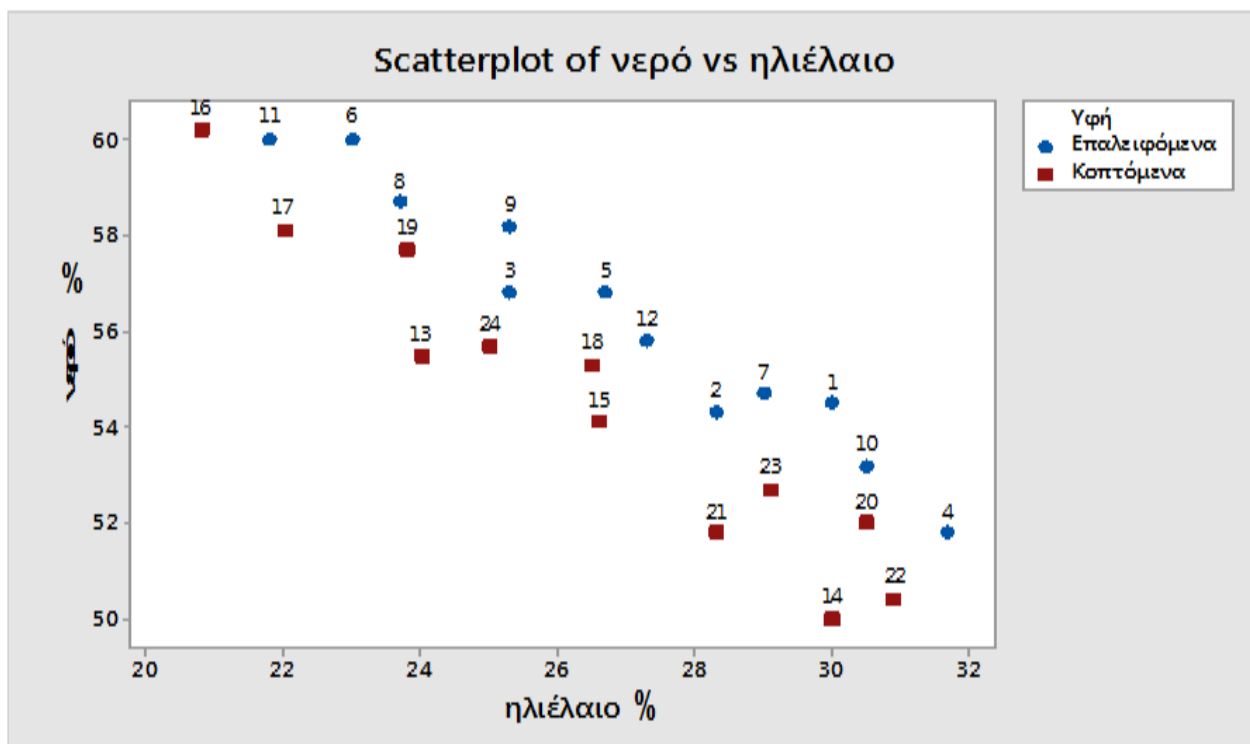
**Σχήμα 23:** Πειραματικό σχέδιο μίξης τριών συστατικών δημιουργώντας το πολύγωνο σχήμα ως ενεργό πειραματικό πεδίο για την παρασκευή 24 δειγμάτων αναπληρωμάτων τυριού.

Στον **Πίνακα 13** φαίνονται τα 24 δείγματα που προέκυψαν και εξετάστηκαν μετέπειτα της προκαταρκτικής μελέτης με τις αντίστοιχες περιεκτικότητές τους σε ηλιέλαιο, νερό και καζεϊνικό νάτριο. Να σημειωθεί ότι τα πρώτα δώδεκα δείγματα ανήκουν στην κατηγορία των επαλειφόμενων και τα επόμενα δώδεκα στην κατηγορία των κοπτόμενων.

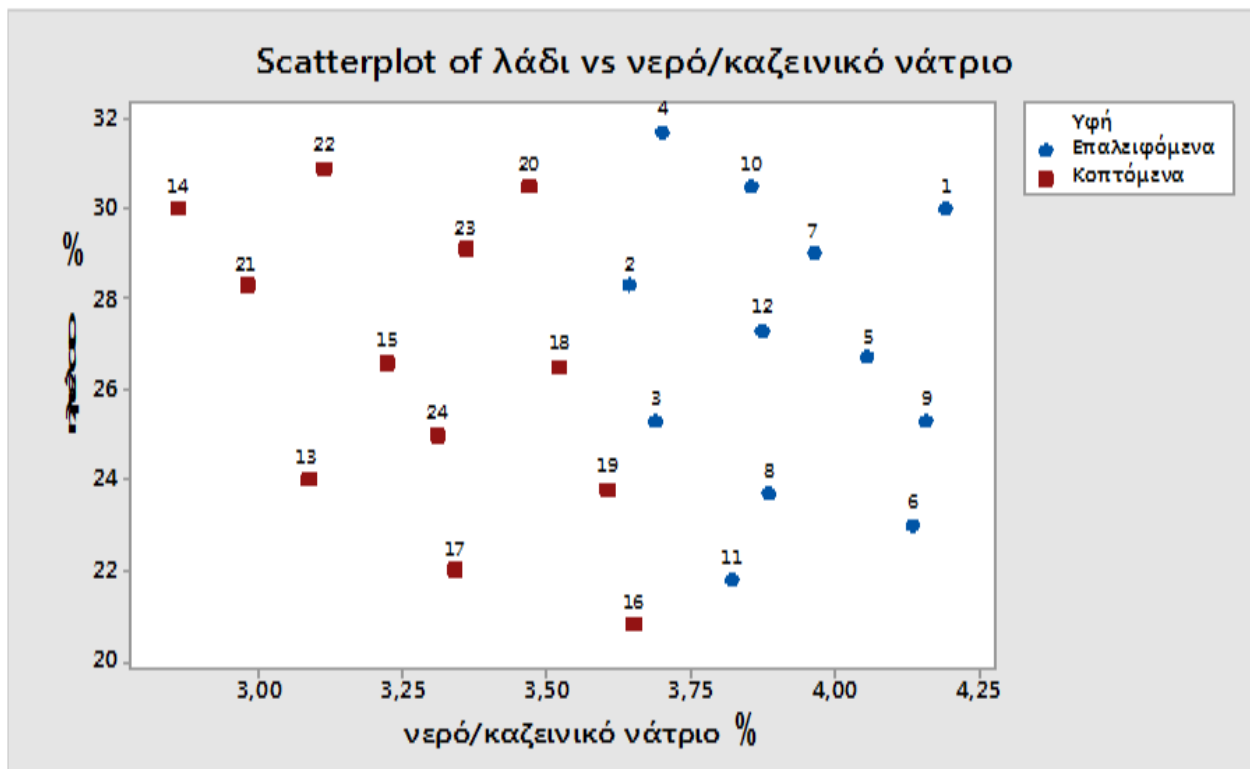
**Πίνακας 13:** Καταγραφή περιεκτικότητας του κάθε δείγματος σε ηλιέλαιο, καζεϊνικό νάτριο και νερό, όπως ορίστηκαν από το πειραματικό σχέδιο.

Τύπος τυριού	Επαλειφόμενα			Τύπος τυριού	Κοπτόμενα		
	Δείγμα	Ηλιέλαιο (%)	καζεϊνικό νάτριο (%)		Νερό (%)	Δείγμα	Ηλιέλαιο (%)
<b>1</b>	30	13	54,5	<b>13</b>	24	18	55,5
<b>2</b>	28,3	14,9	54,3	<b>14</b>	30	17,5	50
<b>3</b>	25,3	15,4	56,8	<b>15</b>	26,6	16,8	54,1
<b>4</b>	31,7	14	51,8	<b>16</b>	20,8	16,5	60,2
<b>5</b>	26,7	14	56,8	<b>17</b>	22	17,4	58,1
<b>6</b>	23	14,5	60	<b>18</b>	26,5	15,7	55,3
<b>7</b>	29	13,8	54,7	<b>19</b>	23,8	16	57,7
<b>8</b>	23,7	15,1	58,7	<b>20</b>	30,5	15	52
<b>9</b>	25,3	14	58,2	<b>21</b>	28,3	17,4	51,8
<b>10</b>	30,5	13,8	53,2	<b>22</b>	30,9	16,2	50,4
<b>11</b>	21,8	15,7	60	<b>23</b>	29,1	15,7	52,7
<b>12</b>	27,3	14,4	55,8	<b>24</b>	25	16,8	55,7

Στο Σχήμα 24 & 25 απεικονίζονται οι θέσεις των δειγμάτων στις περιοχές που ορίζονται με βάση τις περιεκτικότητες σε ηλιέλαιο και νερό και με βάση το λόγο νερό/καζεϊνικό νάτριο και την περιεκτικότητα σε ηλιέλαιο, αντίστοιχα.



**Σχήμα 24:** Διάγραμμα διασποράς των δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητά τους σε νερό και ηλιέλαιο.



**Σχήμα 25:** Διάγραμμα διασποράς των δειγμάτων με βάση την περιεκτικότητά τους σε ηλιέλαιο και το λόγο νερό/καζεϊνικό νάτριο.

Από το **Σχήμα 24** φαίνεται ότι στον επαλειφόμενο & κοπτόμενο τύπο τυριού, όταν η περιεκτικότητα σε ηλιέλαιο είναι μικρή, απαιτείται πολύ μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό και το αντίθετο. Από το **Σχήμα 25** ο κοπτόμενος τύπος τυριού εμφανίζεται σε όλο το εύρος του ηλιέλαιου (20,8%-31,7%) με λόγο νερό/καζεϊνικό νάτριο από 2,85-3,60 ή 3,65 (θα εξηγηθεί παρακάτω) και αντίστοιχα ο επαλειφόμενος τύπος από 3,60 ή 3,65-4,19. Όπως προαναφέρθηκε και στο *Υποκεφάλαιο 5.1.* κάτω από την περιοχή των 2,85 το δείγμα χαρακτηρίζεται ως μη ομοιογενές, ενώ πάνω από την περιοχή των 4,19 το δείγμα χαρακτηρίζεται ως ρευστό. Η περιοχή 3,70-4,13 είναι η περιοχή των παχύρευστων επαλειφόμενων δειγμάτων με χαρακτηριστικά παραδείγματα τα δείγματα 4 & 10, τα οποία έχουν πολύ μεγάλη περιεκτικότητα σε ηλιέλαιο και πολύ μικρή σε νερό και τα δείγματα 5 & 6 με πολύ νερό και μέτρια ποσότητα σε ηλιέλαιο.

Η περιοχή 3,60-3,65 χαρακτηρίζεται ως μεταβατική περιοχή κοπτόμενου τύπου προς επαλειφόμενου. Τα δείγματα σε αυτό το όριο εμφάνιζαν χαρακτηριστικά και από τους δύο τύπους τυριών, ενώ το τελικό αποτέλεσμα καθοριζόταν από την περιεκτικότητα σε ηλιέλαιο και νερό. Προκειμένου να γίνει κατανοητή αυτή η σύγχυση στα συγκεκριμένα όρια ακολουθεί ο **Πίνακας 14**. Μέσα από το συγκεκριμένο παράδειγμα φαίνεται ότι με μέτρια ποσότητα νερού και μεγάλη σε ηλιέλαιο το δείγμα 2 χαρακτηρίζεται ως επαλειφόμενο, ενώ με πολύ μεγάλη ποσότητα νερού και πολύ μικρή σε ηλιέλαιο το δείγμα 16 χαρακτηρίζεται ως κοπτόμενο.

**Πίνακας 14:** Καταγραφή ορίων μεταβατικής περιοχής.

A/A Δείγματος	Λόγος νερό/καζεϊνικό νάτριο	Ηλιέλαιο (%)	Καζεϊνικό νάτριο (%)	Νερό (%)
2	3,64	28,3	14,9	54,3
16	3,65	20,8	16,5	60,2
19	3,60	23,8	16	57,7

### 5.3 Αποτελέσματα μετρήσεων

Η εξαγωγή των αποτελεσμάτων έγινε με τη χρήση της **Πολλαπλής Παλινδρόμησης**. Για όλες τις μεταβλητές απόκρισης που εξετάστηκαν, δηλαδή όσες είναι στατιστικά σημαντικές, καταγράφεται αναλυτικά ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση για κάθε ένα από τα 24 δείγματα. Συγκεκριμένα, για αυτές, από τον **Πίνακα διακύμανσης** (Analysis of Variance) (καταγράφεται στο **Παράρτημα**), διαπιστώνεται η στατιστική σημαντικότητα του γραμμικού μοντέλου ή  $P_{\text{linear}}$  και της παλινδρόμησης ή  $P_{\text{regression}}$  ( $P < 0,05$ ), όπως επίσης ότι καμία αλληλεπίδραση μεταξύ των συστατικών (δευτεροβάθμιο μοντέλο) δεν είναι στατιστικά σημαντική. Από τη στατιστική επεξεργασία αυτών προέκυψαν πολυωνυμικές εξισώσεις, οι οποίες εκφράζουν τις ιδιότητες που μελετήθηκαν σε συνάρτηση με τις περιεκτικότητες των δειγμάτων σε ηλιέλαιο, νερό και καζεϊνικό νάτριο. Πρέπει να σημειωθεί ότι η στατιστική σημαντικότητα των συστατικών δεν ελέγχεται διότι αν κάποιο από αυτά κριθεί ότι πρέπει να αφαιρεθεί τότε δεν μπορεί να παραχθεί προϊόν. Η σύγκριση των δειγμάτων μπορεί να γίνει με βάση το μέγεθος των συντελεστών προσδιορισμού ( $R^2$ ,  $R^2_{\text{pred}}$ ), οι οποίοι δείχνουν κατά πόσο οι εξισώσεις αυτές μπορούν να αποτελέσουν μοντέλα πρόβλεψης. Συγκεκριμένα ο προσδιοριστικός συντελεστής  $R^2$  της προσαρμογής του μοντέλου μετρά το ποσοστό διακύμανσης που εξηγείται στο μοντέλο ενώ ο προβλεπτικός συντελεστής ( $R^2_{\text{pred}}$ ) προσδιορίζει το ποσοστό διακύμανσης όταν εισάγονται νέες τιμές στο μοντέλο και θα πρέπει να μην απέχει περισσότερο από 20% του προσδιοριστικού συντελεστή  $R^2$ , ώστε να θεωρηθούν τα αποτελέσματα αξιόπιστα και να είναι έγκυρο το μοντέλο. Τέλος να σημειωθεί ότι στο μοντέλο αυτό, ο έλεγχος της έλλειψης γραμμικής προσαρμογής (*Lack of fit test*) δεν υφίσταται διότι το πειραματικό σχέδιο εκτελέστηκε μία φορά και επομένως μία μόνο επανάληψη καταγράφηκε.

#### 5.3.1 Φυσικοχημικές μεταβλητές

##### 5.3.1.1. pH

Στον **Πίνακα 15** δίνονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις των τιμών του pH του κάθε δείγματος.

**Πίνακας 15:** Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των τιμών του pH για κάθε ένα από τα 24 δείγματα.

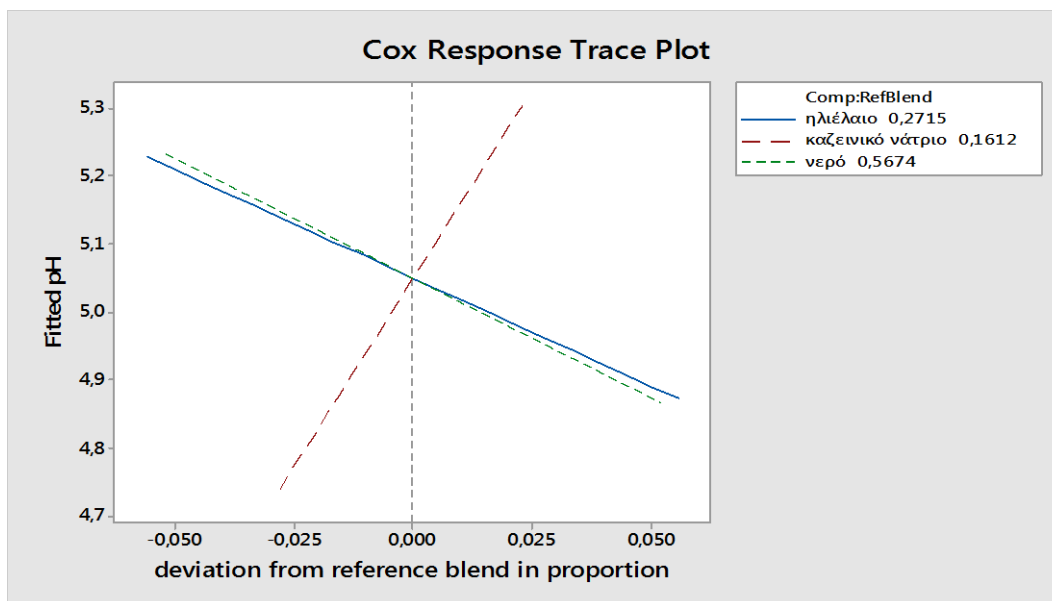
Τύπος τυριού	Επαλειφόμενα		Τύπος τυριού	Κοπτόμενα	
Δείγμα	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Δείγμα	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
1	4,790	±0,000	13	5,185	±0,021
2	4,930	±0,000	14	5,045	±0,007
3	4,970	±0,014	15	5,245	±0,007
4	4,705	±0,007	16	5,335	±0,007
5	4,745	±0,021	17	5,220	±0,028
6	4,835	±0,007	18	5,220	±0,028
7	4,645	±0,049	19	5,050	±0,042
8	5,115	±0,007	20	5,165	±0,035
9	4,885	±0,021	21	5,165	±0,035
10	4,765	±0,035	22	5,265	±0,021
11	5,170	±0,014	23	5,135	±0,007
12	4,830	±0,028	24	5,140	±0,014

Στα Σχήματα 26 & 27 απεικονίζονται το ιχνογράφημα απόκρισης (*trace plot*) και το γράφημα των ισοϋψών (*contour plot*), αντίστοιχα, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών συστατικών σε σχέση με τη μεταβλητή pH για τα 24 δείγματα. Η εξίσωση παλινδρόμησης που προέκυψε είναι η εξής:

$$\text{pH} = 0,028 \text{ ηλιέλαιο} + 0,146 \text{ καζεϊνικό νάτριο} + 0,036 \text{ νερό} \\ \text{με } R^2=66,12\% \text{ και } R^2_{\text{pred}}=54,04\%.$$

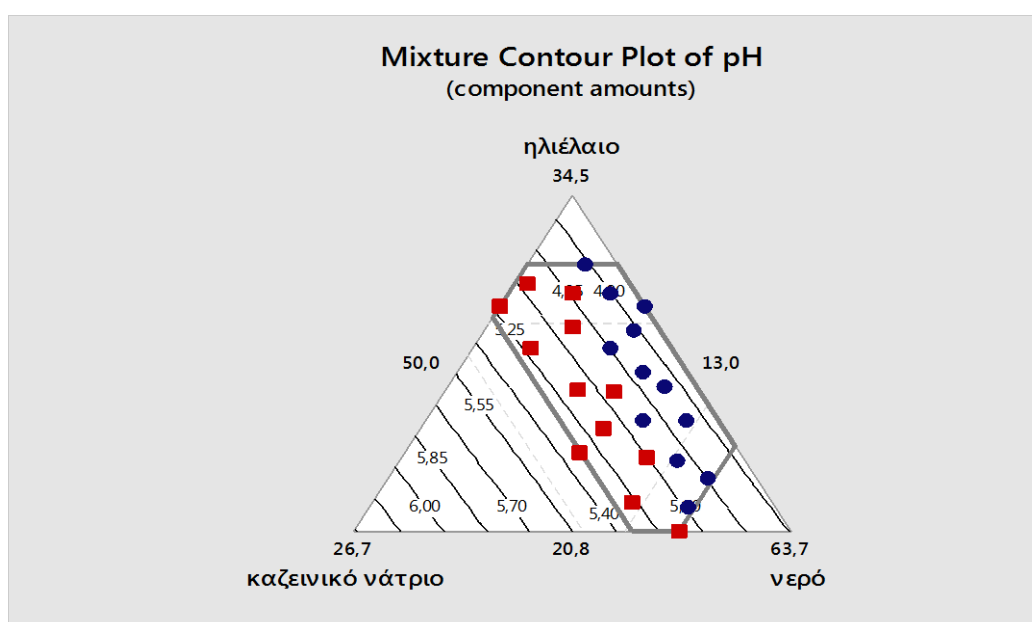
Από τον Πίνακα των συντελεστών παλινδρόμησης (ή Estimated Regression Coefficients), όπως φαίνεται και στο Παράρτημα Α, διαπιστώνεται ότι την ισχυρότερη δράση στο pH ασκεί το καζεϊνικό νάτριο (συντελεστής παλινδρόμησης 0,146) με 4,5 φορές περίπου σημαντικότερη επίδραση από τα άλλα δυο συστατικά. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή αποτελεί ένδειξη ότι η αυξανόμενη ποσότητα καζεϊνικού νατρίου και στους δυο τύπους τυριών αυξάνει το pH. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην αλκαλικότητα του καζεϊνικού νατρίου.

Να σημειωθεί ότι, τα υπόλοιπα δυο συστατικά, δηλαδή το ηλιέλαιο και το νερό, έχουν μεν θετικό πρόσημο στο συντελεστή παλινδρόμησης, αλλά απέχουν πολύ σε σχέση με το συντελεστή παλινδρόμησης του καζεϊνικού νατρίου και είναι πολύ κοντά στο μηδέν, με αποτέλεσμα να μειώνουν την τιμή του pH, όπως φαίνεται και στο ιχνογράφημα απόκρισης (Σχήμα 26). Επίσης, ο προσδιοριστικός συντελεστής  $R^2$  της προσαρμογής του μοντέλου εμφανίζει τιμή κοντά στο 60% που σημαίνει ότι υπάρχει μέτρια προσαρμοστικότητα, και η διαφορά του προβλεπτικού συντελεστή  $R^2_{\text{pred}}$  από τον προσδιοριστικό συντελεστή  $R^2$  είναι κάτω από 20%, που σημαίνει ότι το μοντέλο θεωρείται έγκυρο (Πετρίδης, 2016).



**Σχήμα 26:** Ιχνογράφημα απόκρισης του pH σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δυο τύπους τυριών.

Από το ιχνογράφημα απόκρισης (Σχήμα 26) διαπιστώνεται ότι και για τους δυο τύπους τυριών, προκύπτει μία αυξητική τάση του pH που προσεγγίζει την τιμή 5,3 όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε καζεϊνικό νάτριο και οι δυο άλλοι όροι αναγκαστικά μειώνονται στη σύσταση. Οι προσθήκες του ηλιέλαιου και του νερού προκαλούν έντονη και ισότιμη μείωση του pH μέχρι 4,87 κάνοντας τα δείγματα πιο όξινα.



**Σχήμα 27:** Περίγραμμα ισοϋψών του pH σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δυο τύπους τυριών.

Σύμφωνα με την εξέλιξη του περιγράμματος ισοϋψών (Σχήμα 27) αναπτύσσεται μία γραμμική αυξητική μεταβολή του pH με παράλληλη διάταξη ευθειών, ένδειξη γραμμικότητας, η οποία βαίνει προς την κορυφή του καζεϊνικού νατρίου. Η τάση αυτή σημαίνει ότι η τιμή του pH εξαρτάται αρκετά από την δράση της περιεκτικότητας σε καζεϊνικό νάτριο. Παρατηρείται ότι στον επαλειφόμενο τύπο τυριών (σημεία με μπλε χρώμα),

η τιμή του pH εκτείνεται από 4,8 μέχρι 5, ενώ στον κοπτόμενο τύπο τυριών (σημεία με κόκκινο χρώμα) από 5 μέχρι 5,30. Αντίθετα, οι Lee et al. (2004) έδειξαν ότι αύξηση της υγρασίας στα αναπληρώματα τυριού είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του pH τους.

### 5.3.1.2. Χρωματική παράμετρος $a^*$

Στον Πίνακα 16 δίνονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις της χρωματικής παραμέτρου  $a^*$  του κάθε δείγματος.

**Πίνακας 16:** Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των τιμών της χρωματικής παραμέτρου  $a^*$  για κάθε ένα από τα 24 δείγματα.

Τύπος τυριού Δείγμα	Επαλειφόμενα		Τύπος τυριού Δείγμα	Κοπτόμενα	
	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση		Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
1	-1,92	±0,023	13	-1,00	±0,000
2	-1,42	±0,006	14	-0,55	±0,006
3	-1,35	±0,010	15	-0,73	±0,006
4	-1,72	±0,006	16	-1,00	±0,015
5	-1,36	±0,000	17	-0,57	±0,006
6	-1,24	±0,000	18	-0,96	±0,015
7	-1,59	±0,006	19	-0,34	±0,006
8	-1,48	±0,000	20	-0,81	±0,000
9	-1,69	±0,035	21	-1,02	±0,010
10	-2,03	±0,006	22	-0,78	±0,006
11	-1,36	±0,006	23	-1,01	±0,000
12	-1,00	±0,000	24	-0,86	±0,006

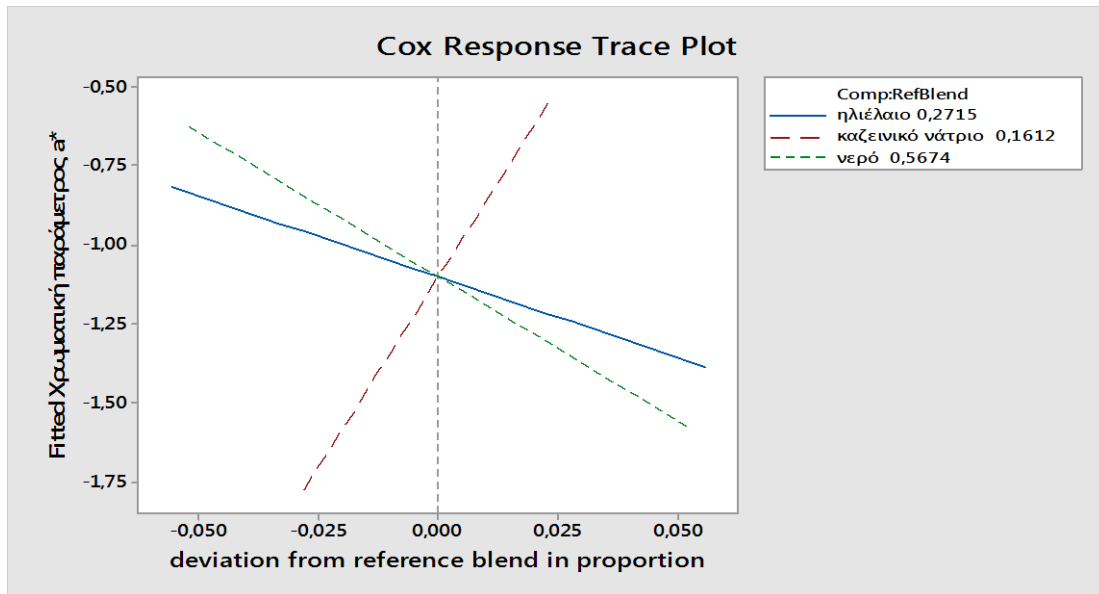
Στα Σχήματα 28 & 29 απεικονίζονται το ιχνογράφημα απόκρισης (*trace plot*) και το γράφημα των ισοϋψών (*contour plot*) αντίστοιχα, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών συστατικών με τη χρωματική παράμετρο  $a^*$  για τα 24 δείγματα. Η εξίσωση παλινδρόμησης που προέκυψε είναι η εξής:

$$\text{Χρωματική παράμετρος } a^* = -0,049 \text{ ηλιέλαιο} + 0,195 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 0,051 \text{ νερό}$$

$$\text{με } R^2 = 59,4\% \text{ και } R^2_{\text{pred}} = 47,59\%.$$

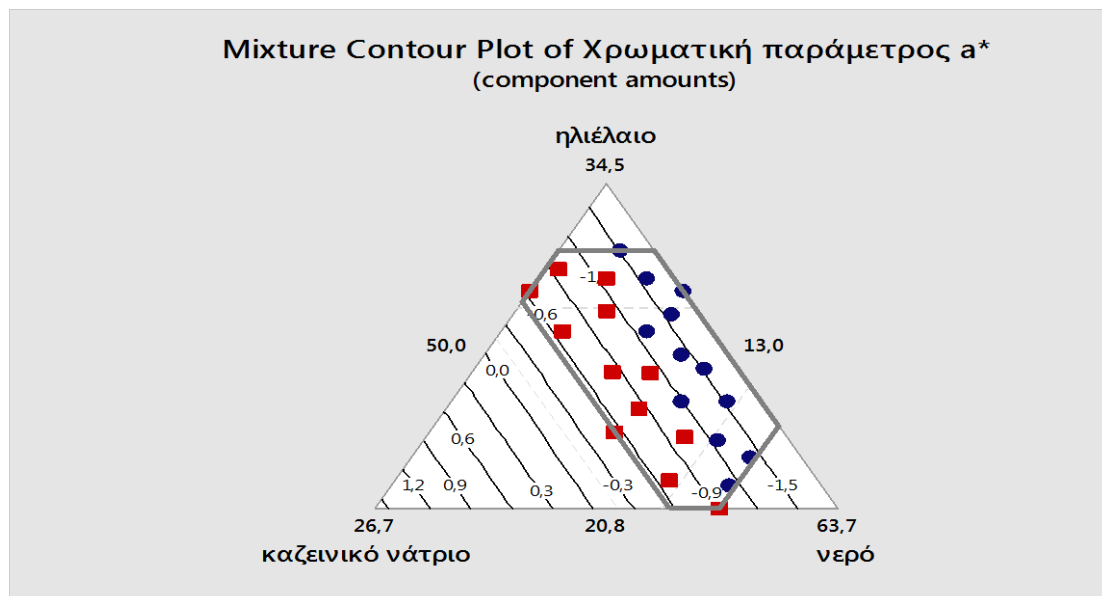
Από τον Πίνακα των συντελεστών παλινδρόμησης (ή Estimated Regression Coefficients), όπως φαίνεται και στο Παράρτημα Α, διαπιστώνεται ότι την ισχυρότερη δράση στη χρωματική παράμετρο  $a^*$  ασκεί το καζεϊνικό νάτριο (συντελεστής παλινδρόμησης 0,195) με 3,9 φορές περίπου σημαντικότερη επίδραση από τα άλλα δύο συστατικά. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή αποτελεί ένδειξη ότι η αυξανόμενη ποσότητα καζεϊνικού νατρίου και στους δυο τύπους τυριών αυξάνει τη χρωματική παράμετρο  $a^*$ , ενώ αντίθετα τα αρνητικά πρόσημα των λοιπών δύο προκαλούν τη μείωσή του. Επίσης, ο προσδιοριστικός συντελεστής  $R^2$  της προσαρμογής του μοντέλου εμφανίζει τιμή κοντά στο 60% που σημαίνει ότι υπάρχει μέτρια προσαρμοστικότητα και η διαφορά του προβλεπτικού συντελεστή  $R^2_{\text{pred}}$  από τον

προσδιοριστικό συντελεστή  $R^2$  είναι κάτω από 20%, που σημαίνει ότι το μοντέλο θεωρείται έγκυρο (Πετρίδης, 2016).



**Σχήμα 28:** Ιχνογράφημα απόκρισης της χρωματικής παραμέτρου  $a^*$  σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δύο τύπους τυριών.

Από το ιχνογράφημα απόκρισης (**Σχήμα 28**) διαπιστώνεται ότι και για τους δύο τύπους τυριών, προκύπτει μία αυξητική τάση της  $a^*$  που προσεγγίζει την τιμή  $-0,55$  όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε καζεϊνικό νάτριο. Αντίθετα, η προσθήκη του ηλιέλαιου και του νερού προκαλεί έντονη μείωση της  $a^*$  μέχρι  $-1,30$  και  $-1,58$ , αντίστοιχα.



**Σχήμα 29 :** Περίγραμμα ισοϋψών της χρωματικής παραμέτρου  $a^*$  σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δύο τύπους τυριών.

Σύμφωνα με την εξέλιξη του περιγράμματος ισοϋψών (**Σχήμα 29**) αναπτύσσεται μία γραμμική αυξητική μεταβολή της  $a^*$  με παράλληλη διάταξη ευθειών, ένδειξη γραμμικότητας,



η οποία βαίνει προς την κορυφή του καζεϊνικού νατρίου. Η τάση αυτή σημαίνει ότι η τιμή της  $a^*$  εξαρτάται αρκετά από τη δράση της περιεκτικότητας σε καζεϊνικό νάτριο. Παρατηρείται ότι στον επαλειφόμενο τύπο τυριών (σημεία με μπλε χρώμα), η τιμή της παραμέτρου  $a^*$  εκτείνεται από -1,8 μέχρι -1,2 ενώ στον κοπτόμενο τύπο τυριών (σημεία με κόκκινο χρώμα) από -1,2 μέχρι -0,6. Σύμφωνα με τους Cunha et al. (2010), η αρνητική τιμή της χρωματικής παραμέτρου  $a^*$  έχει την τάση να δημιουργεί πράσινο χρώμα στα δείγματα λόγω της ύπαρξης του ηλιέλαιου. Όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε φυτικό λίπος, τόσο πιο αρνητική είναι η τιμή του  $a^*$ , με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερος κορεσμός στο πράσινο.

### 5.3.2. Μηχανικές μεταβλητές της ανάλυσης προφίλ υφής (TPA)

#### 5.3.2.1. Ευθραυστότητα B

Στον Πίνακα 17 δίνονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις της ευθραυστότητας B μόνο για τον κοπτόμενο τύπο τυριού, διότι αυτή η ιδιότητα δεν υπάρχει στις καμπύλες δύναμη-χρόνος στον επαλειφόμενο τύπο.

Πίνακας 17: Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των τιμών της μεταβλητής ευθραυστότητας B (N) για κάθε ένα από τα 12 δείγματα.

Τύπος τυριού Δείγμα	Επαλειφόμενα		Τύπος τυριού Δείγμα	Κοπτόμενα	
	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση		Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
1	-	-	13	6,76	±1,508
2	-	-	14	9,61	±2,241
3	-	-	15	6,26	±1,639
4	-	-	16	4,39	±0,283
5	-	-	17	4,38	±1,039
6	-	-	18	4,53	±1,179
7	-	-	19	4,69	±1,228
8	-	-	20	5,10	±0,750
9	-	-	21	12,81	±0,383
10	-	-	22	7,53	±1,481
11	-	-	23	6,75	±0,812
12	-	-	24	6,15	±0,792

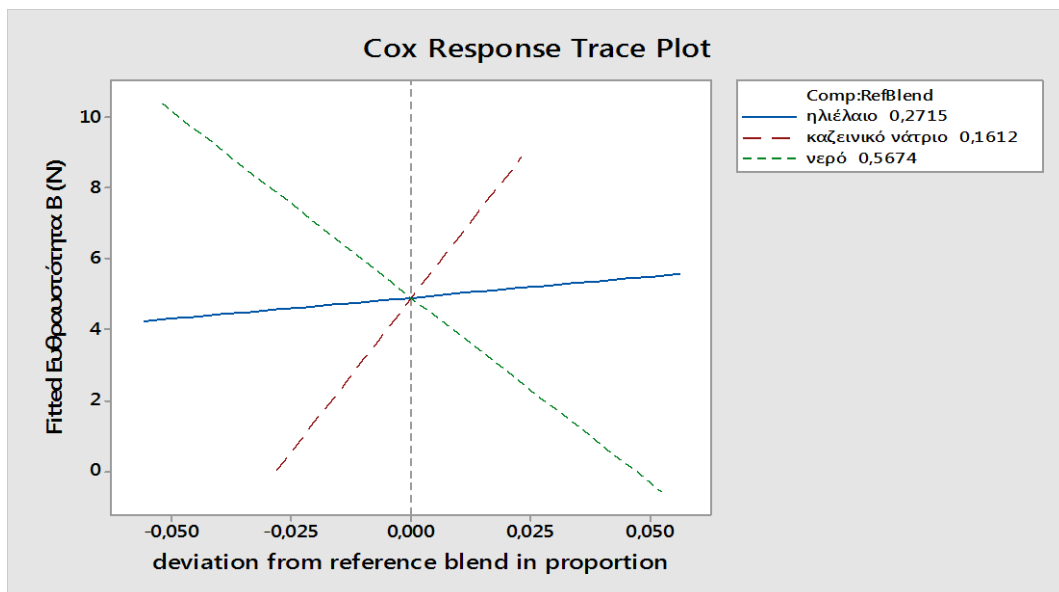
Στα Σχήματα 30 & 31 απεικονίζονται το ιχνογράφημα απόκρισης (*trace plot*) και το γράφημα των ισοϋψών (*contour plot*) αντίστοιχα, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών συστατικών σε σχέση με τη μεταβλητή της ευθραυστότητας B για τα 12 δείγματα. Η εξίσωση παλινδρόμησης που προέκυψε είναι η εξής:

$$\text{Ευθραυστότητα B} = 0,139 \text{ ηλιέλαιο} + 1,536 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 0,414 \text{ νερό}$$

$$\text{με } R^2=70,14 \% \text{ και } R^2_{\text{pred}}=55,67 \%$$

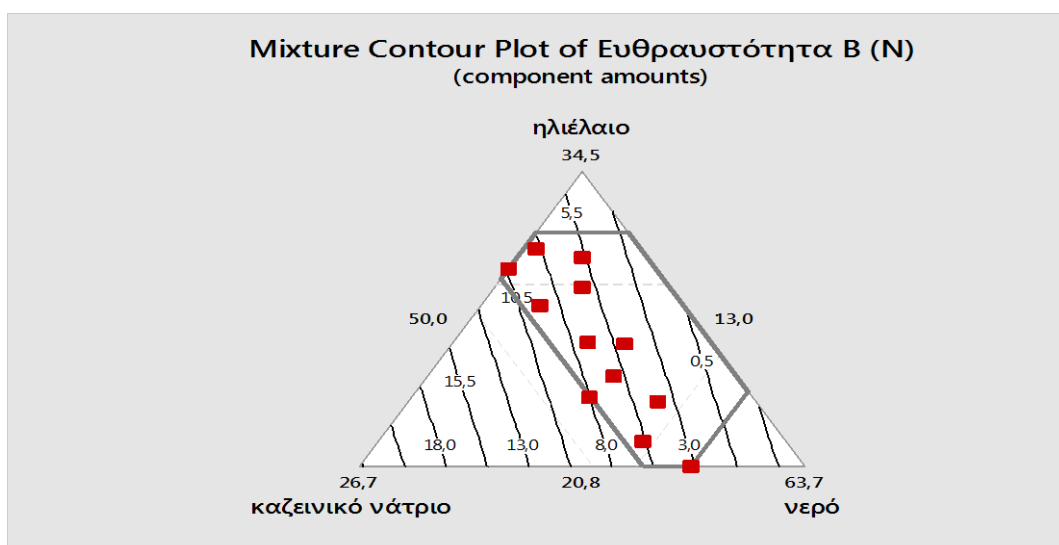
Από τον Πίνακα των συντελεστών παλινδρόμησης (ή Estimated Regression Coefficients), όπως φαίνεται και στο Παράρτημα Α, διαπιστώνεται ότι την ισχυρότερη δράση στην ευθραυστότητα B ασκεί το καζεϊνικό νάτριο (συντελεστής παλινδρόμησης 1,536)

και πολύ λίγο το ηλιέλαιο (0,139) με 3,7 & 0,33 φορές περίπου σημαντικότερη επίδραση από το νερό. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή του καζεϊνικού νατρίου αποτελεί ένδειξη ότι η αυξανόμενη ποσότητά του στον κοπτόμενο τύπο τυριού αυξάνει την τιμή της ευθραυστότητας B, ενώ το αρνητικό πρόσημο του νερού προκαλεί τη μείωσή της. Επίσης, ο προσδιοριστικός συντελεστής  $R^2$  της προσαρμογής του μοντέλου εμφανίζει τιμή κοντά στο 70% που σημαίνει ότι υπάρχει αρκετά καλή προσαρμοστικότητα και η διαφορά του προβλεπτικού συντελεστή  $R^2_{pred}$  από τον προσδιοριστικό συντελεστή  $R^2$  είναι κάτω από 20% , που σημαίνει ότι το μοντέλο θεωρείται έγκυρο (Πετρίδης, 2016).



**Σχήμα 30:** Ιχνογράφημα απόκρισης της ευθραυστότητας B σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος μόνο για τον τύπο των κοπτόμενων τυριών.

Από το ιχνογράφημα απόκρισης (Σχήμα 30) διαπιστώνεται ότι και για τους δύο τύπους τυριών, προκύπτει μία αυξητική τάση της ευθραυστότητας B που προσεγγίζει την τιμή 8,75N όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε καζεϊνικό νάτριο. Αντίθετα, η προσθήκη του ηλιέλαιου θεωρείται αμελητέα, ενώ του νερού προκαλεί έντονη μείωση της ευθραυστότητας B.



**Σχήμα 31:** Περίγραμμα ισοϋψών της ευθραυστότητας B σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος μόνο για τον τύπο των κοπτόμενων τυριών.

Σύμφωνα με την εξέλιξη του περιγράμματος ισοϋψών (**Σχήμα 31**) αναπτύσσεται μία γραμμική αυξητική μεταβολή της ευθραυστότητας B με παράλληλη διάταξη ευθειών, ένδειξη γραμμικότητας, η οποία βαίνει προς την κορυφή του καζεϊνικού νατρίου. Η τάση αυτή σημαίνει ότι η τιμή της ευθραυστότητας B εξαρτάται αρκετά από την δράση της περιεκτικότητας σε καζεϊνικό νάτριο. Παρατηρείται ότι στον κοπτόμενο τύπο τυριών (σημεία με κόκκινο χρώμα), η τιμή της ευθραυστότητας B εκτείνεται από 3N μέχρι 10,5N. Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας συμφωνούν με αυτά του Marshall (2006), ο οποίος μελετώντας τη ρεολογική συμπεριφορά των ανακατεργασμένων τυριών, διαπίστωσε ότι η υγρασία δρα ως πλαστικοποιητής προκαλώντας μείωση των ρεολογικών παραμέτρων και μεταξύ αυτών και της ευθραυστότητας. Όσον αφορά στο ηλιέλαιο, αυτό φαίνεται να προκαλεί πολύ μικρή αύξηση της ευθραυστότητας που μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα. Αυτό σημαίνει ότι τα λιποσφαίρια δεν ασκούν καμιά επίδραση στην αντοχή του πρωτεϊνικού πλέγματος, γεγονός που πρέπει να οφείλεται στο πολύ μικρό μέγεθός τους. Εντούτοις, οι Gwartney et al. (2006) σε μελέτη των χαρακτηριστικών της υψής τυριών με υψηλά αλλά και χαμηλά λιπαρά, διαπίστωσαν ότι τυριά με χαμηλότερο ποσοστό λίπους ήταν πιο εύθραυστα.

### 5.3.2.2. Σκληρότητα H1

Στον **Πίνακα 18** δίνονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις της σκληρότητας H1 του κάθε δείγματος.

**Πίνακας 18:** Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των τιμών της μεταβλητής σκληρότητας H1 (N) για κάθε ένα από τα 24 δείγματα.

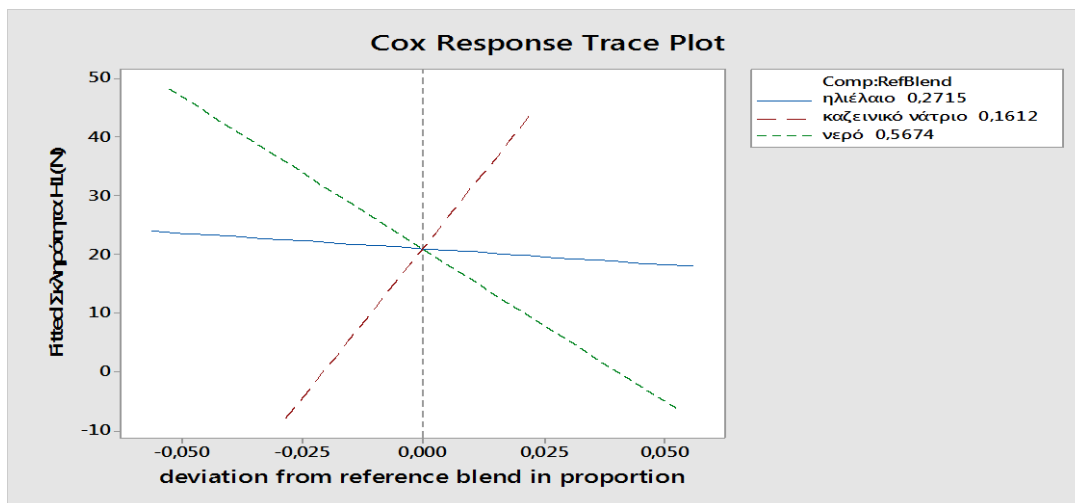
Τύπος τυριού	Επαλειφόμενα		Τύπος τυριού	Κοπτόμενα	
	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση		Δείγμα	Μέσος όρος
<b>1</b>	3,34	±0,219	<b>13</b>	45,99	±2,883
<b>2</b>	8,42	±0,719	<b>14</b>	43,09	±5,149
<b>3</b>	10,49	±1,075	<b>15</b>	42,15	±5,058
<b>4</b>	3,92	±0,238	<b>16</b>	17,98	±2,745
<b>5</b>	3,42	±0,811	<b>17</b>	21,42	±2,100
<b>6</b>	2,43	±0,282	<b>18</b>	15,80	±2,949
<b>7</b>	3,38	±0,370	<b>19</b>	24,08	±4,256
<b>8</b>	6,36	±0,207	<b>20</b>	31,48	±7,333
<b>9</b>	2,38	±0,363	<b>21</b>	42,26	±5,903
<b>10</b>	3,28	±0,377	<b>22</b>	33,08	±4,938
<b>11</b>	12,64	±0,472	<b>23</b>	31,38	±2,618
<b>12</b>	6,30	±0,394	<b>24</b>	33,94	±6,483

Στα **Σχήματα 32 & 33** απεικονίζονται το *ιχνογράφημα απόκρισης (trace plot)* και το *γράφημα των ισοϋψών (contour plot)* αντίστοιχα, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών συστατικών σε σχέση με τη μεταβλητή της σκληρότητας H1 για τα 24 δείγματα. Η εξίσωση παλινδρόμησης που προέκυψε είναι η εξής:

$$\text{Σκληρότητα H1} = -0,189 \text{ ηλιέλαιο} + 9,013 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 2,092 \text{ νερό}$$

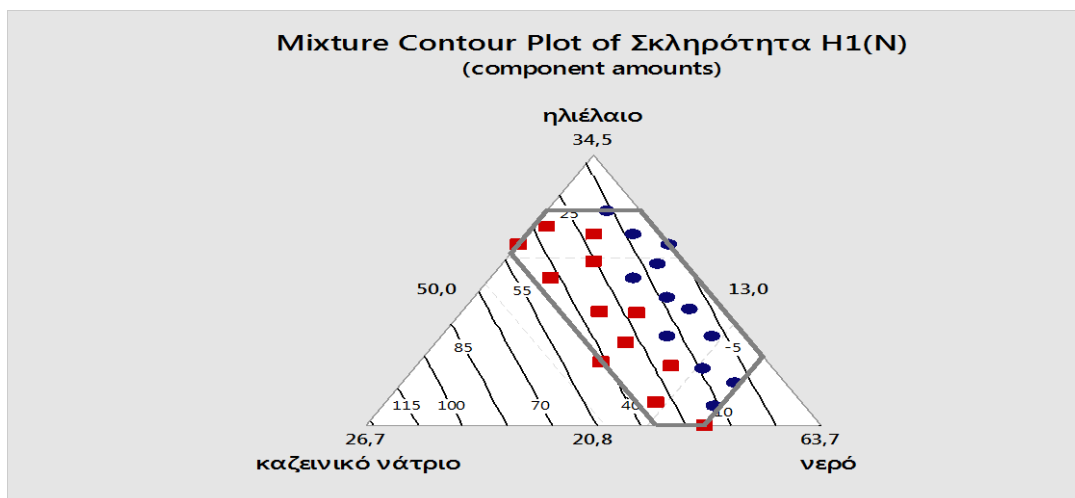
$$\text{με } R^2 = 88,36\% \text{ και } R^2_{\text{pred}} = 84,83 \text{ \%}.$$

Από τον Πίνακα των συντελεστών παλινδρόμησης (ή Estimated Regression Coefficients), όπως φαίνεται και στο **Παράρτημα Α**, διαπιστώνεται ότι την ισχυρότερη δράση στην σκληρότητα H1 ασκεί το καζεϊνικό νάτριο (συντελεστής παλινδρόμησης 9,013) με 4,3 φορές περίπου σημαντικότερη επίδραση από τα άλλα δύο συστατικά. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή αποτελεί ένδειξη ότι η αυξανόμενη ποσότητα καζεϊνικού νατρίου και στους δυο τύπους τυριών αυξάνει τη σκληρότητα H1, ενώ αντίθετα τα αρνητικά πρόσημα των λοιπών δύο προκαλούν τη μείωσή της. Επίσης, ο προσδιοριστικός συντελεστής  $R^2$  της προσαρμογής του μοντέλου εμφανίζει τιμή κοντά στο 90% που σημαίνει ότι υπάρχει πολύ καλή προσαρμοστικότητα και η διαφορά του προβλεπτικού συντελεστή  $R^2_{pred.}$  από τον προσδιοριστικό συντελεστή  $R^2$  είναι κάτω από 20%, που σημαίνει ότι το μοντέλο θεωρείται έγκυρο (Πετρίδης, 2016).



**Σχήμα 32:** Ιχνογράφημα απόκρισης της σκληρότητας H1 σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δυο τύπους τυριών.

Από το ιχνογράφημα απόκρισης (**Σχήμα 32**) διαπιστώνεται ότι και για τους δυο τύπους τυριών, προκύπτει μία αυξητική τάση της σκληρότητας H1 που προσεγγίζει την τιμή 44,7N όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε καζεϊνικό νάτριο. Αντίθετα, η προσθήκη του ηλιέλαιου θεωρείται αμελητέα και του νερού προκαλεί έντονη μείωση της σκληρότητας H1.



**Σχήμα 33:** Περίγραμμα ισοψών της σκληρότητας H1 σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δύο τύπους τυριών.

Σύμφωνα με την εξέλιξη του περιγράμματος ισοϋψών (**Σχήμα 33**), αναπτύσσεται μία γραμμική αυξητική μεταβολή της σκληρότητας H1 με παράλληλη διάταξη ευθειών, ένδειξη γραμμικότητας, η οποία βαίνει προς την κορυφή του καζεϊνικού νατρίου. Η τάση αυτή σημαίνει ότι η τιμή της σκληρότητας H1 εξαρτάται αρκετά από τη δράση της περιεκτικότητας σε καζεϊνικό νάτριο. Παρατηρείται ότι στον επαλειφόμενο τύπο τυριών (σημεία με μπλε χρώμα), η τιμή της σκληρότητας H1 εκτείνεται από -5N μέχρι 15N ενώ στον κοπτόμενο τύπο τυριών (σημεία με κόκκινο χρώμα) από 15N μέχρι 50N .

Σύμφωνα με έρευνα του Luyten (1988), στο τυρί Gouda, όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε νερό τόσο μειώνεται η σκληρότητα των τυριών. Επίσης, οι Subramanian & Gunasekaran (1997) σε μελέτη πάνω στο τυρί Mozzarella διαπίστωσαν ότι μείωση της ποσότητας του νερού και του ηλιέλαιου, τα οποία δρουν ως λιπαντικό, αυξάνουν τη σκληρότητα του τυριού. Σύμφωνα με τους Cunha et al. (2010), διαπιστώθηκε ότι η υψηλή πρωτεϊνική πυκνότητα σχετίζεται με τις αυξημένες τιμές σκληρότητας, εφόσον το πρωτεϊνικό πλέγμα είναι το δομικό συστατικό που αποδίδει μεγαλύτερη αντίσταση στην παραμόρφωση. Τέλος, οι Hennelly et al. (2005) συμπέραναν επίσης ότι η αύξηση της περιεκτικότητας των αναπληρωμάτων τυριού σε νερό είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των τιμών σκληρότητας.

### 5.3.2.3. Σκληρότητα 2 (H2)

Στον **Πίνακα 19** δίνονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις της σκληρότητας H2 του κάθε δείγματος.

**Πίνακας 19:** Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των τιμών της μεταβλητής σκληρότητας H2 (N) για κάθε ένα από τα 24 δείγματα.

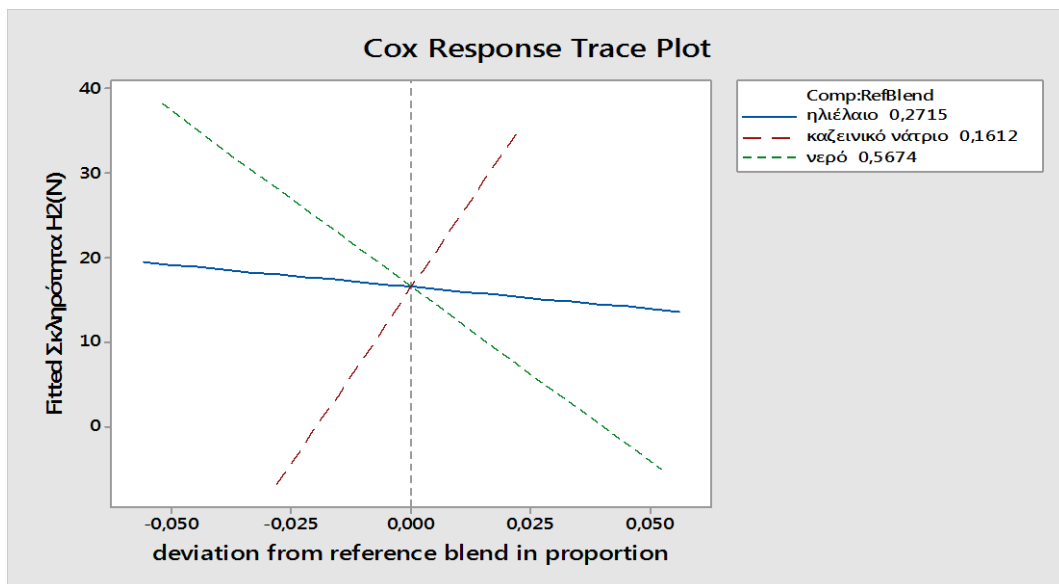
Τύπος τυριού Δείγμα	Επαλειφόμενα		Τύπος τυριού Δείγμα	Κοπτόμενα	
	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση		Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
<b>1</b>	2,56	±0,336	<b>13</b>	41,29	±2,317
<b>2</b>	7,10	±0,601	<b>14</b>	34,58	±6,348
<b>3</b>	8,35	±1,254	<b>15</b>	31,02	±6,379
<b>4</b>	3,06	±0,261	<b>16</b>	14,78	±2,845
<b>5</b>	2,27	±1,198	<b>17</b>	16,98	±2,270
<b>6</b>	1,93	±0,251	<b>18</b>	12,28	±2,687
<b>7</b>	2,66	±0,336	<b>19</b>	18,10	±5,457
<b>8</b>	5,74	±0,378	<b>20</b>	21,96	±4,605
<b>9</b>	1,80	±0,367	<b>21</b>	34,14	±6,374
<b>10</b>	2,50	±0,292	<b>22</b>	25,76	±4,154
<b>11</b>	9,64	±3,599	<b>23</b>	24,90	±2,380
<b>12</b>	4,86	±0,365	<b>24</b>	24,20	±4,437

Στα **Σχήματα 34 & 35** απεικονίζονται το *ιχνογράφημα απόκρισης (trace plot)* και το *γράφημα των ισοϋψών (contour plot)* αντίστοιχα, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών συστατικών σε σχέση με την μεταβλητή της σκληρότητας H2 για τα 24 δείγματα. Η εξίσωση παλινδρόμησης που προέκυψε είναι η εξής:

**Σκληρότητα H2** = -0,220 ηλιέλαιο + 7,297 καζεϊνικό νάτριο -1,670 νερό

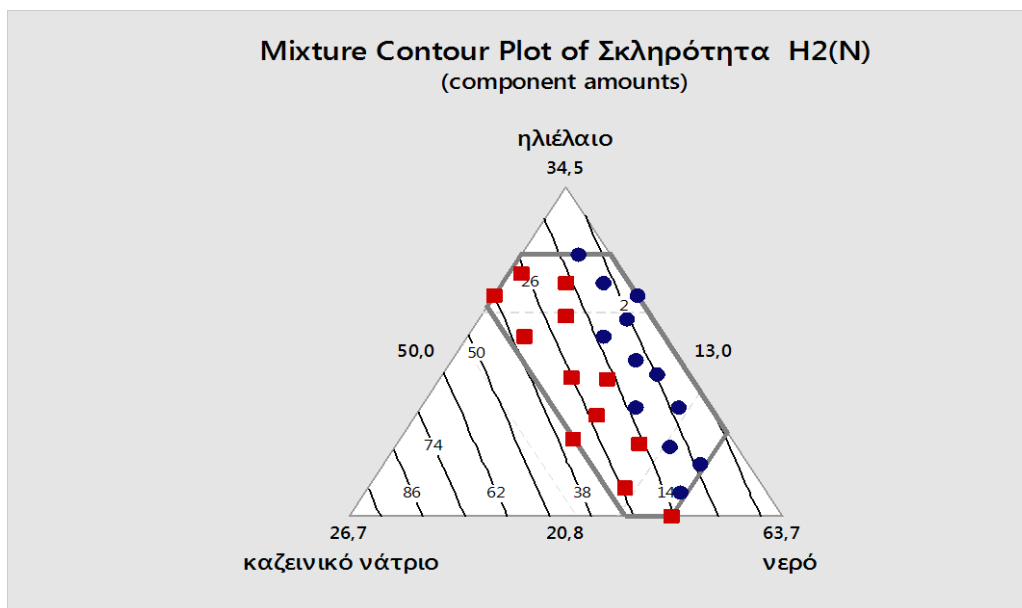
με  $R^2 = 89,74\%$  και  $R^2_{\text{pred}} = 86,08\%$ .

Από τον Πίνακα των συντελεστών παλινδρόμησης (ή Estimated Regression Coefficients), όπως φαίνεται και στο **Παράρτημα Α**, διαπιστώνεται ότι την ισχυρότερη δράση στην σκληρότητα H2 ασκεί το καζεϊνικό νάτριο (συντελεστής παλινδρόμησης 7,297) με 4,4 φορές περίπου σημαντικότερη επίδραση από τα άλλα δυο συστατικά. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή αποτελεί ένδειξη ότι η αυξανόμενη ποσότητα καζεϊνικού νατρίου και στους δύο τύπους τυριών αυξάνει την σκληρότητα H2, ενώ αντίθετα τα αρνητικά πρόσημα των λοιπών δύο προκαλούν τη μείωσή της. Επίσης, ο προσδιοριστικός συντελεστής  $R^2$  της προσαρμογής του μοντέλου εμφανίζει τιμή κοντά στο 90% που σημαίνει ότι υπάρχει πολύ καλή προσαρμοστικότητα και η διαφορά του προβλεπτικού συντελεστή  $R^2_{\text{pred}}$  από τον προσδιοριστικό συντελεστή  $R^2$  είναι κάτω από 20% , που σημαίνει ότι το μοντέλο θεωρείται έγκυρο (Πετρίδης, 2016).



**Σχήμα 34:** Ιχνογράφημα απόκρισης της σκληρότητας H2 σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δύο τύπους τυριών.

Από το ιχνογράφημα απόκρισης (**Σχήμα 34**) διαπιστώνεται ότι και για τους δύο τύπους τυριών, προκύπτει μία αυξητική τάση της σκληρότητας H2 που προσεγγίζει την τιμή 37N, όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε καζεϊνικό νάτριο. Αντίθετα, η προσθήκη του ηλιέλαιου θεωρείται αμελητέα και του νερού προκαλεί έντονη μείωση της σκληρότητας H2.



**Σχήμα 35:** Περίγραμμα ισοϋψών της σκληρότητας H2 σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δύο τύπους τυριών.

Σύμφωνα με την εξέλιξη του περιγράμματος ισοϋψών (**Σχήμα 35**), αναπτύσσεται μία γραμμική αυξητική μεταβολή της σκληρότητας H2 με παράλληλη διάταξη ευθειών, ένδειξη γραμμικότητας, η οποία βαίνει προς την κορυφή του καζεϊνικού νατρίου. Η τάση αυτή σημαίνει ότι η τιμή της σκληρότητας H2 εξαρτάται αρκετά από τη δράση της περιεκτικότητας σε καζεϊνικό νάτριο. Παρατηρείται ότι στον επαλειφόμενο τύπο τυριών (σημεία με μπλε χρώμα), η τιμή της σκληρότητας H2 εκτείνεται από 1N μέχρι 12N ενώ στον κοπτόμενο τύπο τυριών (σημεία με κόκκινο χρώμα) από 12N μέχρι 40N.

Η σκληρότητα 2 παρουσιάζει παρόμοια αποτελέσματα με τη σκληρότητα 1, καθώς είναι δύο μεταβλητές που παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση. Ωστόσο, οι τιμές της σκληρότητας 2 κυμαίνονται πιο χαμηλά από τις τιμές της σκληρότητας 1 καθώς ήδη κατά την πρώτη συμπίεση των δειγμάτων έχουν σπάσει κάποιοι δεσμοί. Σύμφωνα με τους Cunha et al. (2010), η διάμετρος των λιποσταγονιδίων των αναλογικών τυριών είναι αρκετά μεγάλη, με αποτέλεσμα η υψηλή πυκνότητα της πρωτεΐνης να συσχετίζεται με την αυξημένη σκληρότητα τους, δεδομένου ότι η πρωτεϊνική μήτρα είναι το δομικό συστατικό που προσδίδει μεγαλύτερη αντοχή.

#### 5.3.2.4. Έργο κατά την πρώτη συμπίεση A1

Στον **Πίνακα 20** δίνονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις του έργου κατά την πρώτη συμπίεση A1 του κάθε δείγματος.

**Πίνακας 20:** Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των τιμών της μεταβλητής έργου κατά την πρώτη συμπίεση A1 (J) για κάθε ένα από τα 24 δείγματα.

Τύπος τυριού		Επαλειφόμενα		Τύπος τυριού		Κοπτόμενα	
Δείγμα	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Δείγμα	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Δείγμα	Μέσος όρος
1	0,016	±0,001	13	0,205	±0,012		
2	0,033	±0,019	14	0,161	±0,091		
3	0,062	±0,004	15	0,160	±0,021		
4	0,020	±0,002	16	0,097	±0,010		
5	0,019	±0,003	17	0,112	±0,011		
6	0,010	±0,006	18	0,086	±0,010		
7	0,016	±0,002	19	0,109	±0,018		
8	0,034	±0,003	20	0,127	±0,025		
9	0,012	±0,002	21	0,197	±0,030		
10	0,016	±0,001	22	0,157	±0,018		
11	0,064	±0,003	23	0,140	±0,012		
12	0,033	±0,002	24	0,152	±0,035		

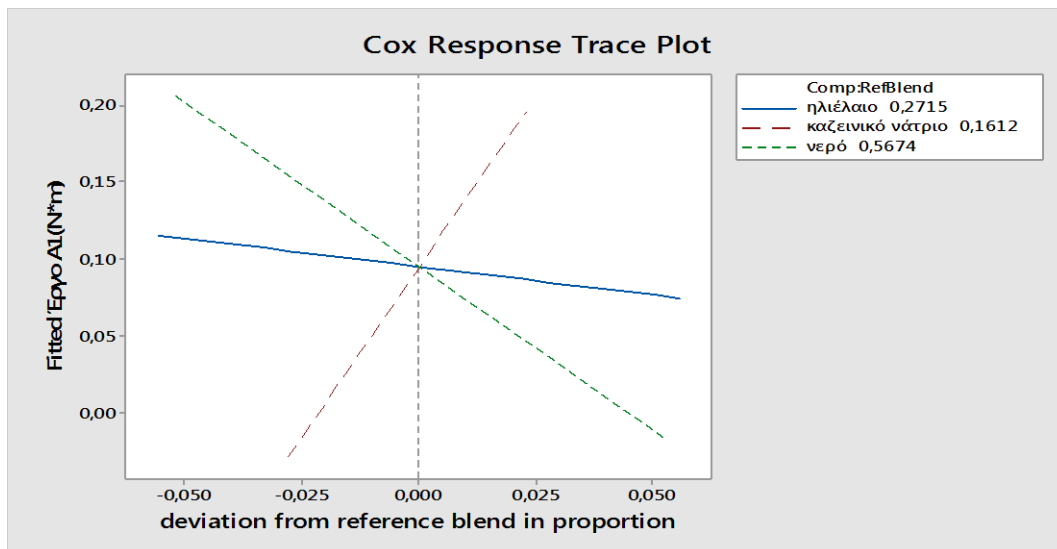
Στα **Σχήματα 36 & 37** απεικονίζονται το *ιχνογράφημα απόκρισης (trace plot)* και το *γράφημα των ισοϋψών (contour plot)* αντίστοιχα, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών συστατικών σε σχέση με την μεταβλητή του έργου κατά την πρώτη συμπίεση A1 για τα 24 δείγματα. Η εξίσωση παλινδρόμησης που προέκυψε είναι η εξής:

$$\text{Έργο A1} = -0,002 \text{ ηλιέλαιο} + 0,038 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 0,008 \text{ νερό}$$

$$\text{με } R^2=89,74 \% \text{ και } R^2_{\text{pred}}=85,82 \%.$$

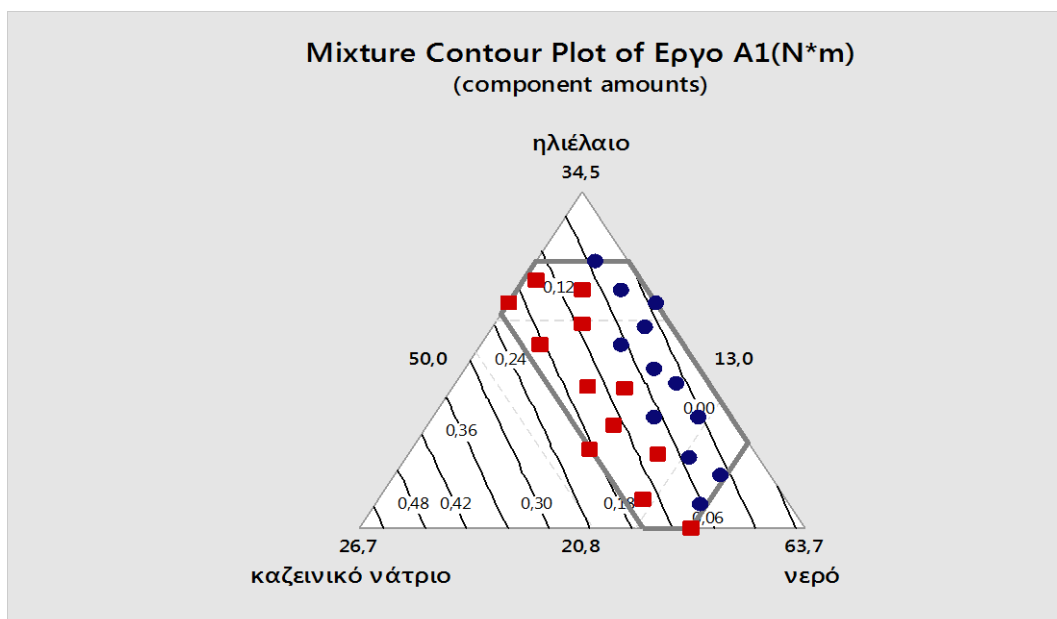
Από τον *Πίνακα των συντελεστών παλινδρόμησης* (ή Estimated Regression Coefficients), όπως φαίνεται και στο **Παράρτημα Α**, διαπιστώνεται ότι την ισχυρότερη δράση στο έργο A1 ασκεί το καζεϊνικό νάτριο (συντελεστής παλινδρόμησης 0,038). Το θετικό πρόσημο του συντελεστή αποτελεί ένδειξη ότι η αυξανόμενη ποσότητα καζεϊνικού νατρίου και στους δύο τύπους τυριών αυξάνει το έργο A1, ενώ αντίθετα τα αρνητικά πρόσημα των λοιπών δύο προκαλούν τη μείωσή του. Επίσης, ο προσδιοριστικός συντελεστής  $R^2$  της προσαρμογής του μοντέλου εμφανίζει τιμή κοντά στο 90% που σημαίνει ότι υπάρχει πολύ καλή προσαρμοστικότητα και η διαφορά του προβλεπτικού συντελεστή  $R^2_{\text{pred}}$  από τον προσδιοριστικό συντελεστή  $R^2$  είναι κάτω από 20%, που σημαίνει ότι το μοντέλο θεωρείται έγκυρο (Πετρίδης, 2016).





**Σχήμα 36:** Ιχνογράφημα απόκρισης του έργου κατά την πρώτη συμπίεση Α1 σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δύο τύπους τυριών.

Από το ιχνογράφημα απόκρισης (Σχήμα 36) διαπιστώνεται ότι και για τους δύο τύπους τυριών, προκύπτει μία αυξητική τάση του έργου Α1 που προσεγγίζει την τιμή 0.19 J, όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε καζεϊνικό νάτριο. Αντίθετα, η προσθήκη του ηλιέλαιου θεωρείται αμελητέα και του νερού προκαλεί έντονη μείωση του έργου Α1.



**Σχήμα 37:** Περίγραμμα ισοϋψών του έργου κατά την πρώτη συμπίεση Α1 σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δύο τύπους τυριών.

Σύμφωνα με την εξέλιξη του περιγράμματος ισοϋψών (Σχήμα 37), αναπτύσσεται μία γραμμική αυξητική μεταβολή του έργου Α1 με παράλληλη διάταξη ευθειών, ένδειξη γραμμικότητας, η οποία βαίνει προς την κορυφή του καζεϊνικού νατρίου. Η τάση αυτή σημαίνει ότι η τιμή του έργου Α1 εξαρτάται αρκετά από τη δράση της περιεκτικότητας σε καζεϊνικό νάτριο. Παρατηρείται ότι στον επαλειφόμενο τύπο τυριών (σημεία με μπλε χρώμα), η τιμή του έργου Α1 εκτείνεται μέχρι 0,07J, ενώ στον κοπτόμενο τύπο τυριών (σημεία με κόκκινο χρώμα) από 0,07J μέχρι 0,21J. Σύμφωνα με τον Luyten (1988), η ενέργεια που

απαιτείται για να κοπεί το τυρί Gouda μειώνεται με αύξηση της περιεκτικότητάς του σε λίπος.

### 5.3.2.5. Έργο κατά τη δεύτερη συμπίεση A2

Στον Πίνακα 21 δίνονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις του έργου κατά την δεύτερη συμπίεση A2 του κάθε δείγματος

**Πίνακας 21:** Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των τιμών της μεταβλητής έργου κατά τη δεύτερη συμπίεση A2 (J) για κάθε ένα από τα 24 δείγματα.

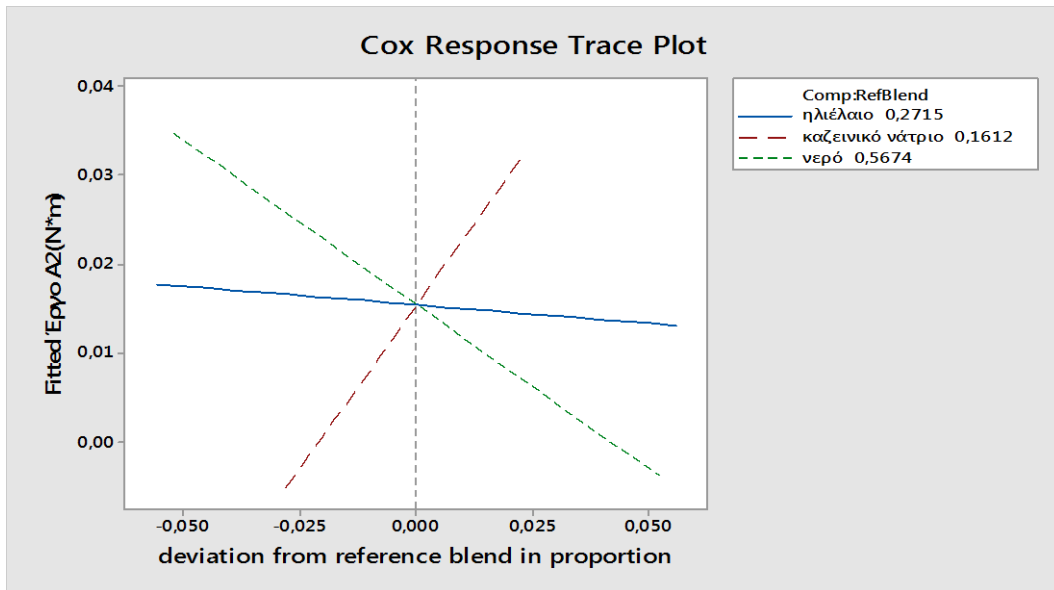
Τύπος τυριού		Επαλειφόμενα		Τύπος τυριού		Κοπτόμενα	
Δείγμα	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Δείγμα	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Δείγμα	Μέσος όρος
1	0,0042	±0,001	13	0,0266	±0,015		
2	0,0053	±0,003	14	0,0314	±0,018		
3	0,0054	±0,003	15	0,0309	±0,004		
4	0,0050	±0,000	16	0,0154	±0,001		
5	0,0032	±0,002	17	0,0245	±0,001		
6	0,0023	±0,001	18	0,0102	±0,006		
7	0,0021	±0,002	19	0,0157	±0,002		
8	0,0058	±0,001	20	0,0201	±0,004		
9	0,0030	±0,000	21	0,0331	±0,004		
10	0,0022	±0,002	22	0,0265	±0,005		
11	0,0078	±0,002	23	0,0225	±0,002		
12	0,0054	±0,001	24	0,0234	±0,004		

Στα Σχήματα 38 & 39 απεικονίζονται το ιχνογράφημα απόκρισης (*trace plot*) και το γράφημα των ισοϋψών (*contour plot*) αντίστοιχα, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών συστατικών σε σχέση με τη μεταβλητή του έργου κατά τη δεύτερη συμπίεση (A2) για τα 24 δείγματα. Η εξίσωση παλινδρόμησης που προέκυψε είναι η εξής:

$$\text{Έργο A2} = -1,559 \times 10^{-4} \text{ ηλιέλαιο} + 0,006 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 0,001 \text{ νερό}$$

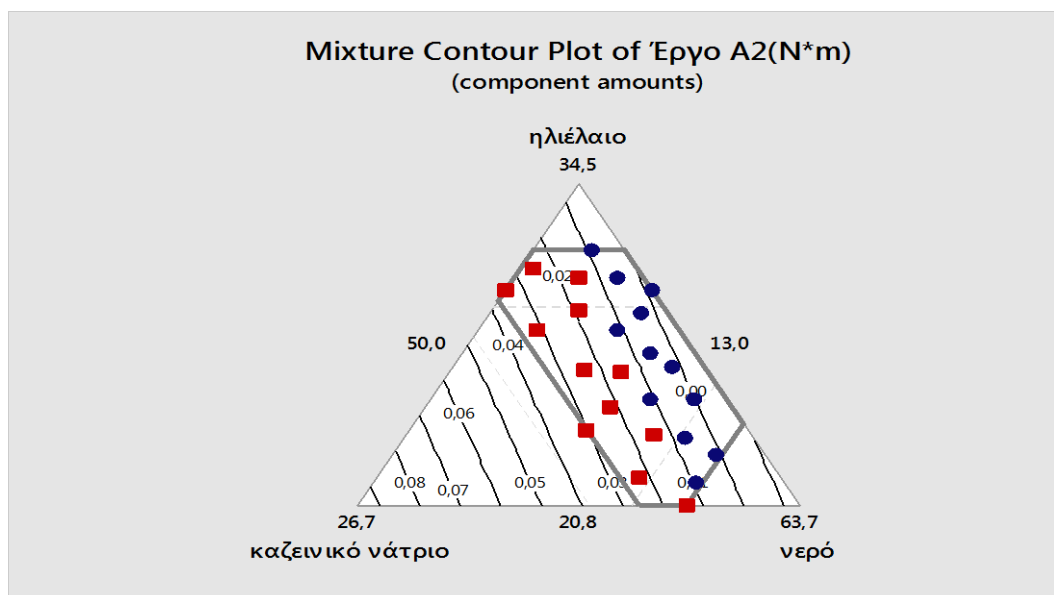
$$\text{με } R^2 = 89,38\% \text{ και } R^2_{\text{pred}} = 86,55\%.$$

Από τον Πίνακα των συντελεστών παλινδρόμησης (ή Estimated Regression Coefficients), όπως φαίνεται και στο Παράρτημα Α, διαπιστώνεται ότι την ισχυρότερη δράση στο έργο A2 ασκεί το καζεϊνικό νάτριο (συντελεστής παλινδρόμησης 0,006) με 6 φορές περίπου σημαντικότερη επίδραση από τα άλλα δύο συστατικά. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή αποτελεί ένδειξη ότι η αυξανόμενη ποσότητα καζεϊνικού νατρίου και στους δύο τύπους τυριών αυξάνει το έργο A2, ενώ αντίθετα τα αρνητικά πρόσημα των λοιπών δύο προκαλούν τη μείωσή του. Επίσης, ο προσδιοριστικός συντελεστής  $R^2$  της προσαρμογής του μοντέλου εμφανίζει τιμή κοντά στο 90% που σημαίνει ότι υπάρχει πολύ καλή προσαρμοστικότητα και η διαφορά του προβλεπτικού συντελεστή  $R^2_{\text{pred}}$  από τον προσδιοριστικό συντελεστή  $R^2$  είναι κάτω από 20%, που σημαίνει ότι το μοντέλο θεωρείται έγκυρο (Πετρίδης, 2016).



**Σχήμα 38:** Ιχνογράφημα απόκρισης του έργου κατά τη δεύτερη συμπίεση A2 σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δύο τύπους τυριών.

Από το ιχνογράφημα απόκρισης (**Σχήμα 38**) διαπιστώνεται ότι και για τους δύο τύπους τυριών, προκύπτει μία αυξητική τάση του έργου A2 που προσεγγίζει την τιμή 0,032N\*m όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε καζεϊνικό νάτριο. Αντίθετα, η προσθήκη του ηλιέλαιου θεωρείται αμελητέα και του νερού προκαλεί έντονη μείωση του έργου A2.



**Σχήμα 39:** Περίγραμμα ισοϋψών του έργου κατά την δεύτερη συμπίεση A2 σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δύο τύπους τυριών.

Σύμφωνα με την εξέλιξη του περιγράμματος ισοϋψών (**Σχήμα 39**), αναπτύσσεται μία γραμμική αυξητική μεταβολή του έργου A2 με παράλληλη διάταξη ευθειών, ένδειξη γραμμικότητας, η οποία βαίνει προς την κορυφή του καζεϊνικού νατρίου. Η τάση αυτή σημαίνει ότι η τιμή του έργου A2 εξαρτάται αρκετά από τη δράση της περιεκτικότητας σε καζεϊνικό νάτριο. Παρατηρείται ότι στον επαλειφόμενο τύπο τυριών (σημεία με μπλε χρώμα), η τιμή του έργου A2 εκτείνεται μέχρι 0,01J, ενώ στον κοπτόμενο τύπο τυριών (σημεία με

κόκκινο χρώμα) από 0,01J μέχρι 0,035J. Το έργο συμπίεσης 2 παρουσιάζει τα ίδια αποτελέσματα με το έργο συμπίεσης 1, καθώς είναι δύο μεταβλητές που παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση.

### 5.3.2.6 Κομμώδης υφή G

Στον Πίνακα 22 δίνονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις της κομμώδους υφής G του κάθε δείγματος.

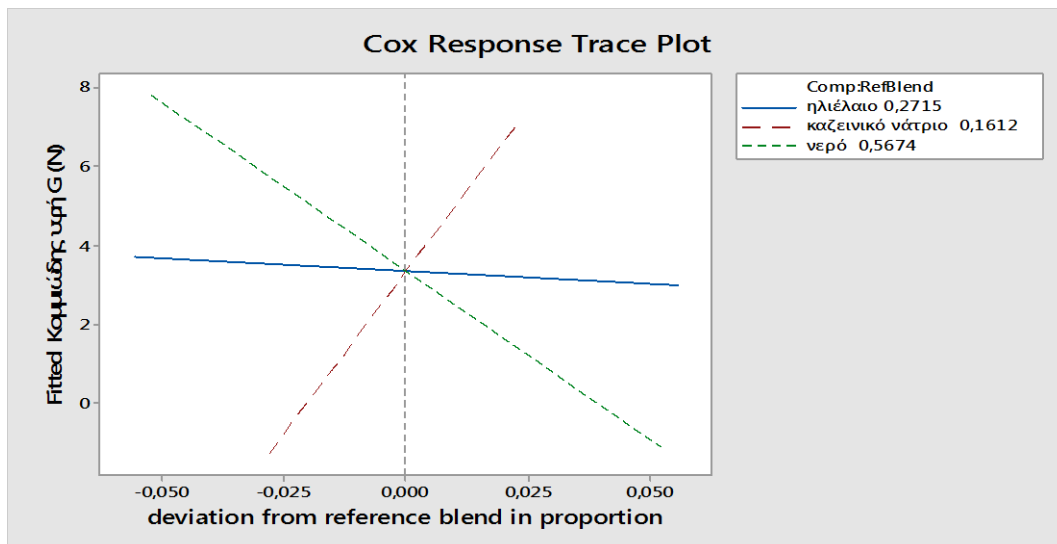
**Πίνακας 22:** Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των τιμών της κομμώδους υφής G (N) για κάθε ένα από τα 24 δείγματα.

Τύπος τυριού		Επαλειφόμενα		Κοπτόμενα	
Δείγμα	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Δείγμα	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
1	0,87	±0,143	13	6,02	±3,490
2	1,10	±0,699	14	6,72	±3,879
3	0,90	±0,515	15	8,18	±1,159
4	0,97	±0,101	16	2,83	±0,310
5	0,55	±0,328	17	4,69	±0,520
6	0,45	±0,260	18	1,82	±1,078
7	0,43	±0,392	19	3,47	±0,640
8	1,07	±0,160	20	5,00	±1,188
9	0,61	±0,094	21	7,18	±1,254
10	0,44	±0,405	22	5,62	±1,364
11	1,53	±0,388	23	5,05	±0,641
12	1,02	±0,085	24	5,29	±0,925

Στο Σχήμα 40 & 41 απεικονίζεται το ιχνογράφημα απόκρισης (*trace plot*) και το γράφημα των ισοϋψών (*contour plot*) αντίστοιχα, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών συστατικών σε σχέση με την μεταβλητή της κομμώδους υφής G για τα 24 δείγματα. Η εξίσωση παλινδρόμησης που προέκυψε είναι η εξής:

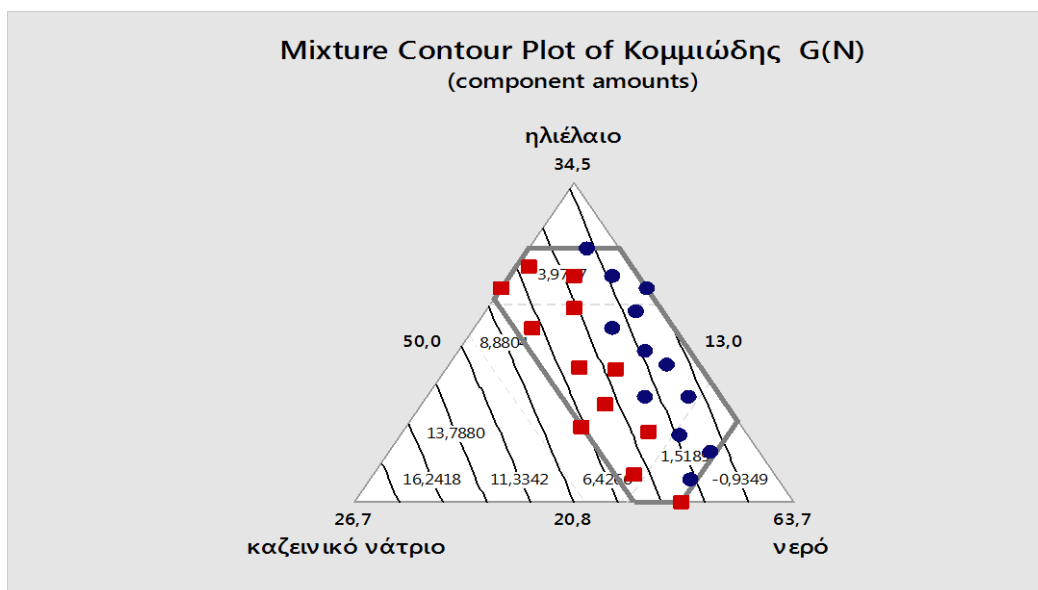
$$\text{Κομμώδης υφή G} = -0,014 \text{ ηλιέλαιο} + 1,447 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 0,343 \text{ νερό} \\ \text{με } R^2=84\% \text{ και } R^2_{\text{pred}}=80,09\%.$$

Από τον Πίνακα των συντελεστών παλινδρόμησης (ή Estimated Regression Coefficients), όπως φαίνεται και στο Παράρτημα Α, διαπιστώνεται ότι την ισχυρότερη δράση στην κομμώδη υφή G ασκεί το καζεϊνικό νάτριο (συντελεστής παλινδρόμησης 1,447) με 4,5 φορές περίπου σημαντικότερη επίδραση από τα άλλα δύο συστατικά. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή αποτελεί ένδειξη ότι η αυξανόμενη ποσότητα καζεϊνικού νατρίου και στους δύο τύπους τυριών αυξάνει την κομμώδη υφή G, ενώ αντίθετα τα αρνητικά πρόσημα των λοιπών δύο προκαλούν τη μείωσή της. Επίσης, ο προσδιοριστικός συντελεστής  $R^2$  της προσαρμογής του μοντέλου εμφανίζει τιμή κοντά στο 85% που σημαίνει ότι υπάρχει πολύ καλή προσαρμοστικότητα και η διαφορά του προβλεπτικού συντελεστή  $R^2_{\text{pred}}$  από τον προσδιοριστικό συντελεστή  $R^2$  είναι κάτω από 20% , που σημαίνει ότι το μοντέλο θεωρείται έγκυρο (Πετρίδης, 2016).



**Σχήμα 40:** Ιχνογράφημα απόκρισης της κομμώδους υφής G σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δύο τύπους τυριών.

Από το ιχνογράφημα απόκρισης (Σχήμα 40) διαπιστώνεται ότι και για τους δύο τύπους τυριών, προκύπτει μία αυξητική τάση της κομμώδους υφής G που προσεγγίζει την τιμή 7,2N, όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε καζεϊνικό νάτριο. Αντίθετα, η προσθήκη του ηλιέλαιου θεωρείται αμελητέα και του νερού προκαλεί έντονη μείωσή του.



**Σχήμα 41:** Περίγραμμα ισοϋψών της κομμώδους υφής G σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δύο τύπους τυριών.

Σύμφωνα με την εξέλιξη του περιγράμματος ισοϋψών (Σχήμα 41), αναπτύσσεται μία γραμμική αυξητική μεταβολή της κομμώδους υφής G με παράλληλη διάταξη ευθειών, ένδειξη γραμμικότητας, η οποία βαίνει προς την κορυφή του καζεϊνικού νατρίου. Η τάση αυτή σημαίνει ότι η τιμή της κομμώδους υφής G εξαρτάται αρκετά από την δράση της περιεκτικότητας σε καζεϊνικό νάτριο. Παρατηρείται ότι στον επαλειφόμενο τύπο τυριών (σημεία με μπλε χρώμα), η τιμή της κομμώδους υφής G εκτείνεται μέχρι 1,5N ενώ στον κοπτόμενο τύπο τυριών (σημεία με κόκκινο χρώμα) από 1,5N μέχρι 7N. Σύμφωνα με τους Cunha et al. (2010), η αντικατάσταση μέρους κρέμας γάλακτος με υδρογονωμένο φυτικό

λίπος, τροποποιεί την κομμωδή υφή. Συγκεκριμένα, το νερό λειτουργώντας ως πλαστικοποιητής παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνεται συμβάλλει στην μείωση της κομμωδούς υφής.

### 5.3.2.7 Μασητικότητα K

Στον Πίνακα 23 δίνονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις της μασητικότητας K μόνο του κοπτόμενου τύπου τυριών, γιατί η ιδιότητα αυτή δεν εμφανίζεται στις καμπύλες δύναμης-χρόνου για τον επαλειφόμενο τύπο τυριού.

Πίνακας 23: Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των τιμών της μασητικότητας K (J) για κάθε ένα από τα 12 δείγματα.

Τύπος τυριού Δείγμα	Επαλειφόμενα		Τύπος τυριού Δείγμα	Κοπτόμενα	
	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση		Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
1	-	-	13	0,0196	±0,012
2	-	-	14	0,0259	±0,016
3	-	-	15	0,0334	±0,004
4	-	-	16	0,0115	±0,002
5	-	-	17	0,0208	±0,002
6	-	-	18	0,0065	±0,004
7	-	-	19	0,0118	±0,003
8	-	-	20	0,0165	±0,004
9	-	-	21	0,0285	±0,007
10	-	-	22	0,0300	±0,016
11	-	-	23	0,0209	±0,003
12	-	-	24	0,0210	±0,004

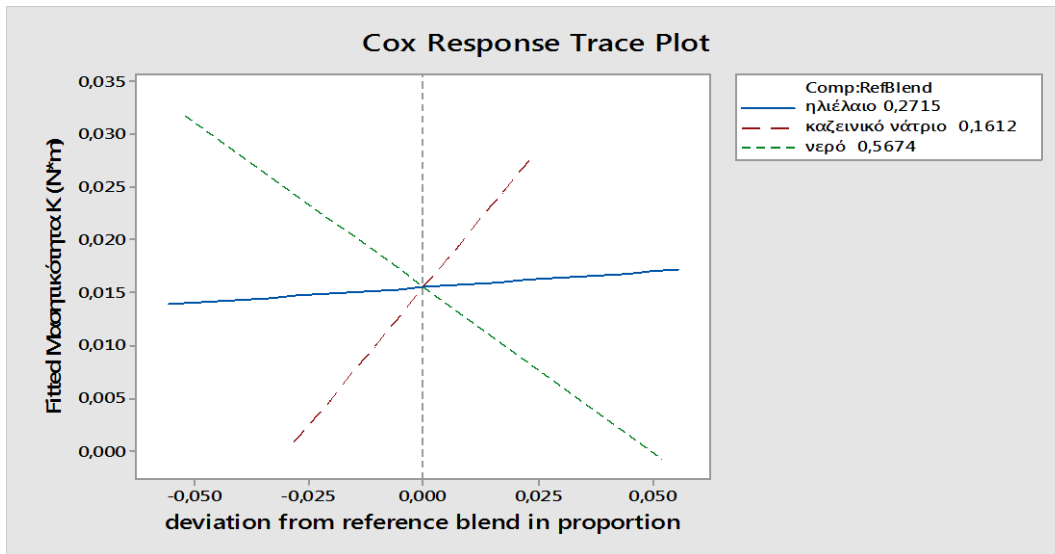
Στο Σχήμα 42 & 43 απεικονίζεται το ιχνογράφημα απόκρισης (*trace plot*) και το γράφημα των ισοϋψών (*contour plot*) αντίστοιχα, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών συστατικών σε σχέση με τη μεταβλητή της μασητικότητας K για τα 24 δείγματα. Η εξίσωση παλινδρόμησης που προέκυψε είναι η εξής:

$$\text{Μασητικότητα K} = 0,00038 \text{ ηλιέλαιο} + 0,0046 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 0,0012 \text{ νερό}$$

$$\text{με } R^2=57,86\% \text{ και } R^2_{\text{pred}}=33,67\%.$$

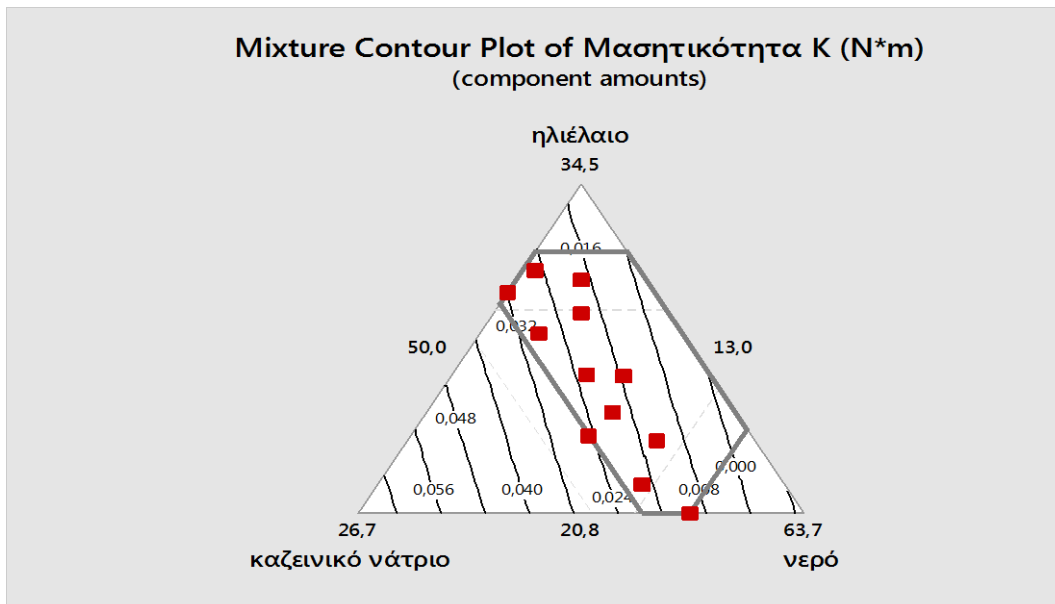
Από τον Πίνακα των συντελεστών παλινδρόμησης (ή Estimated Regression Coefficients), όπως φαίνεται και στο Παράρτημα Α, διαπιστώνεται ότι την ισχυρότερη δράση στην μασητικότητα K ασκεί το καζεϊνικό νάτριο (συντελεστής παλινδρόμησης 0,0046) με 3,8 φορές περίπου σημαντικότερη επίδραση από τα άλλα δύο συστατικά. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή αποτελεί ένδειξη ότι η αυξανόμενη ποσότητα καζεϊνικού νατρίου και στους δύο τύπους τυριών αυξάνει την μασητικότητα K, ενώ αντίθετα τα αρνητικό πρόσημο του νερού προκαλεί τη μείωσή της. Επίσης, ο προσδιοριστικός συντελεστής  $R^2$  της προσαρμογής του μοντέλου εμφανίζει τιμή κοντά στο 60% που σημαίνει ότι υπάρχει μέτρια προσαρμοστικότητα και η διαφορά του προβλεπτικού συντελεστή  $R^2_{\text{pred}}$  από τον

προσδιοριστικό συντελεστή  $R^2$  είναι κάτω από 20%, που σημαίνει ότι το μοντέλο θεωρείται έγκυρο (Πετρίδης, 2016).



**Σχήμα 42:** Ιχνογράφημα απόκρισης της μασητικότητας K σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος μόνο για τον τύπο των κοπτόμενων τυριών.

Από το ιχνογράφημα απόκρισης (Σχήμα 42) διαπιστώνεται ότι και για τους δυο τύπους τυριών, προκύπτει μία αυξητική τάση της μασητικότητας K που προσεγγίζει την τιμή 0,027 J, όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε καζεϊνικό νάτριο. Αντίθετα, η προσθήκη του ηλιέλαιου θεωρείται αμελητέα και του νερού προκαλεί έντονη μείωση της μασητικότητας K.



**Σχήμα 43:** Περίγραμμα ισοϋψών της μασητικότητας K σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος μόνο για τον τύπο των κοπτόμενων τυριών.

Σύμφωνα με την εξέλιξη του περιγράμματος ισοϋψών (Σχήμα 43), αναπτύσσεται μία γραμμική αυξητική μεταβολή της μασητικότητας K με παράλληλη διάταξη ευθειών, ένδειξη γραμμικότητας, η οποία βαίνει προς την κορυφή του καζεϊνικού νατρίου. Η τάση αυτή σημαίνει ότι η τιμή της μασητικότητας K εξαρτάται αρκετά από τη δράση της

περιεκτικότητας σε καζεϊνικό νάτριο. Παρατηρείται ότι στον κοπτόμενο τύπο τυριών (σημεία με κόκκινα χρώμα), η τιμή της μασητικότητας K εκτείνεται από 0,009J μέχρι 0,032J. Σύμφωνα με τους Calleros & Carter (1998), οι διαφορετικοί τύποι λίπους επηρεάζουν διαφορετικά τη μασητικότητα λόγω διάφορων παραγόντων (μορφή, μέγεθος, κατανομή των λιποσταγονιδίων). Ωστόσο, στα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας φαίνεται ότι ο συγκεκριμένος τύπος φυτικού λίπους επηρεάζει λιγότερο τη μασητικότητα, κάνοντας την επίδρασή του αμελητέα.

### 5.3.2.8. Εκτατότητα S2

Στον **Πίνακα 24** δίνονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις της εκτατότητας S2 μόνο των επαλειφόμενων δειγμάτων, διότι αυτή η ιδιότητα δεν εμφανίζεται στις καμπύλες δύναμης-χρόνο για τον κοπτόμενο τύπο τυριού.

**Πίνακας 24:** Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των τιμών της μεταβλητής εκτατότητας S2 (m) για κάθε ένα από τα 12 δείγματα.

Τύπος τυριού Δείγμα	Επαλειφόμενα		Τύπος τυριού Δείγμα	Κοπτόμενα	
	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση		Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
1	0,0075	±0,003	13	-	-
2	0,0032	±0,001	14	-	-
3	0,0032	±0,000	15	-	-
4	0,0068	±0,001	16	-	-
5	0,0070	±0,002	17	-	-
6	0,0055	±0,002	18	-	-
7	0,0072	±0,004	19	-	-
8	0,0036	±0,001	20	-	-
9	0,0072	±0,001	21	-	-
10	0,0083	±0,002	22	-	-
11	0,0034	±0,001	23	-	-
12	0,0043	±0,001	24	-	-

Στα **Σχήματα 44 & 45** απεικονίζονται το γράφημα των *ισοϋψών* (*contour plot*) και το *ιχνογράφημα απόκρισης* (*trace plot*) αντίστοιχα, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών συστατικών σε σχέση με τη μεταβλητή εκτατότητας S2 για τα 12 δείγματα. Η εξίσωση παλινδρόμησης που προέκυψε είναι η εξής:

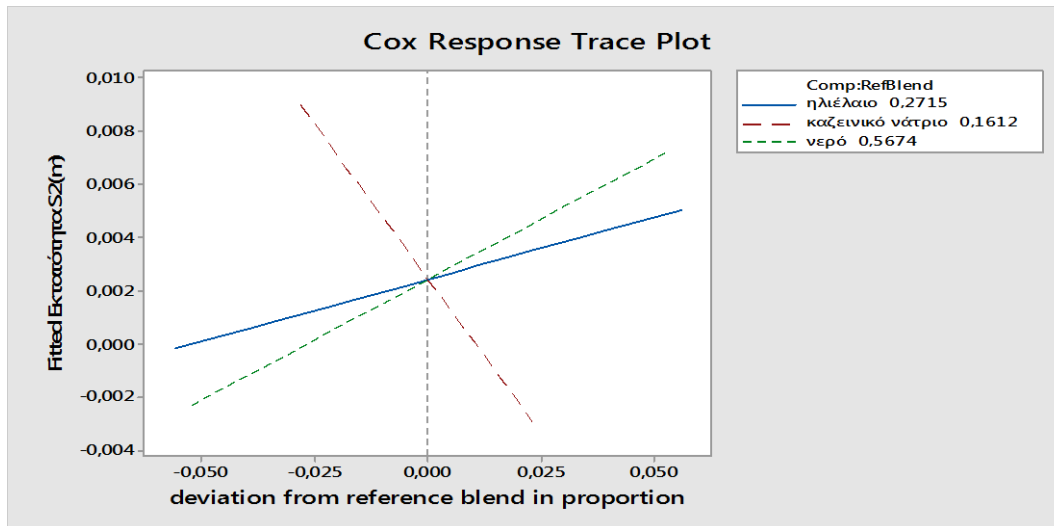
$$\text{Εκτατότητα S2} = 0,00037 \text{ ηλιέλαιο} - 0,0020 \text{ καζεϊνικό νάτριο} + 0,00043 \text{ νερό}$$

$$\text{με } R^2=80,27 \% \text{ και } R^2_{\text{pred}}=63,38 \%.$$

Από τον *Πίνακα των συντελεστών παλινδρόμησης* (ή Estimated Regression Coefficients), όπως φαίνεται και στο **Παράρτημα Α**, διαπιστώνεται ότι την ισχυρότερη δράση στην εκτατότητα S2 ασκεί το καζεϊνικό νάτριο (συντελεστής παλινδρόμησης 0,0020) με 5 φορές περίπου σημαντικότερη επίδραση από τα άλλα δύο συστατικά. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή του ηλιέλαιου και του νερού αποτελεί ένδειξη ότι η αυξανόμενη ποσότητά τους στον επαλειφόμενο τύπο τυριών αυξάνει την εκτατότητα S2, ενώ αντίθετα το

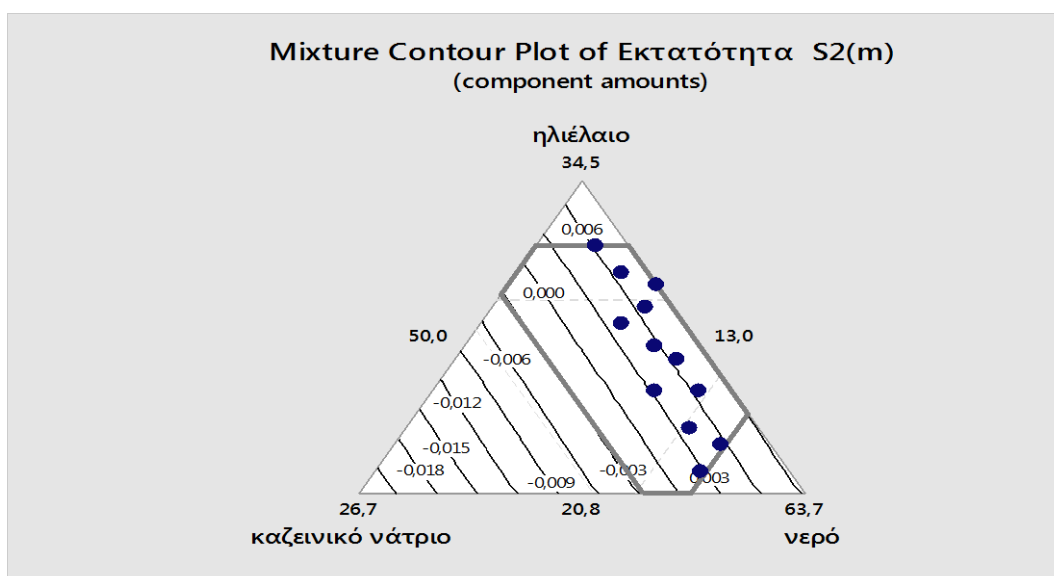


αρνητικό πρόσημο του καζεϊνικού νατρίου προκαλεί τη μείωσή της. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα του προϊόντος σε υγρή φάση (νερό και ηλιέλαιο), τόσο αυτό γίνεται κολλώδες και εκτείνεται μέχρι να αποκολληθεί από την πλάκα κατά την αποσυμπίεση. Επίσης, ο προσδιοριστικός συντελεστής  $R^2$  της προσαρμογής του μοντέλου εμφανίζει τιμή κοντά στο 80% που σημαίνει ότι υπάρχει πολύ καλή προσαρμοστικότητα και η διαφορά του προβλεπτικού συντελεστή  $R^2_{pred}$  από τον προσδιοριστικό συντελεστή  $R^2$  είναι κάτω από 20%, που σημαίνει ότι το μοντέλο θεωρείται έγκυρο (Πετρίδης, 2016).



**Σχήμα 44:** Ιχνογράφημα απόκρισης της εκτατότητας S2 σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος μόνο για τον τύπο των επαλειφόμενων τυριών.

Από το ιχνογράφημα απόκρισης (Σχήμα 44) διαπιστώνεται ότι στον επαλειφόμενο τύπο τυριών, προκύπτει μία αυξητική τάση της εκτατότητας S2 που προσεγγίζει την τιμή 0,007m και 0,005m όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε νερό και ηλιέλαιο, αντίστοιχα. Αντίθετα, η προσθήκη του καζεϊνικού νατρίου προκαλεί έντονη μείωση της εκτατότητας S2.



**Σχήμα 45:** Περιγράμμα ισοϋψών της εκτατότητας S2 σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος μόνο για τον τύπο των επαλειφόμενων τυριών.

Σύμφωνα με την εξέλιξη του περιγράμματος ισοϋψών (**Σχήμα 45**), αναπτύσσεται μία γραμμική αυξητική μεταβολή της εκτατότητας S2 με παράλληλη διάταξη ευθειών, ένδειξη γραμμικότητας, η οποία βαίνει προς τις κορυφές του ηλιέλαιου και του νερού Η τάση αυτή σημαίνει ότι η τιμή της εκτατότητας S2 εξαρτάται αρκετά από την δράση της περιεκτικότητας σε νερό και ηλιέλαιο Παρατηρείται ότι στον επαλειφόμενο τύπο τυριών (σημεία με μπλε χρώμα), η τιμή της εκτατότητας S2 εκτείνεται από 0,003m μέχρι 0,008m. Τέλος, τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας συμφωνούν με αυτά των Johnson et al. (2009).

### 5.3.3 Ρεολογικές ιδιότητες της συμπιεστής λιπαινόμενης ροής (Squeeze flow)

#### 5.3.3.1 Δύναμη συμπίεσης F0

Στον **Πίνακα 25** δίνονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις της δύναμης συμπίεσης F0 του κάθε δείγματος.

**Πίνακας 25:** Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των τιμών της μεταβλητής δύναμης συμπίεσης F0 (N) για κάθε ένα από τα 24 δείγματα.

Τύπος τυριού Δείγμα	Επαλειφόμενα		Τύπος τυριού Δείγμα	Κοπτόμενα	
	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση		Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
1	30,27	±12,791	13	361,16	±0,023
2	65,26	±3,691	14	371,85	±1,428
3	65,38	±4,151	15	355,01	±3,161
4	39,61	±2,782	16	211,57	±28,808
5	41,11	±0,916	17	266,55	±49,238
6	29,64	±0,818	18	241,58	±19,326
7	34,75	±4,165	19	319,40	±27,733
8	60,25	±7,891	20	272,76	±1,853
9	35,72	±10,364	21	355,23	±4,821
10	40,30	±7,758	22	292,35	±50,563
11	169,94	±22,876	23	300,61	±13,194
12	84,55	±16,139	24	321,68	±2,389

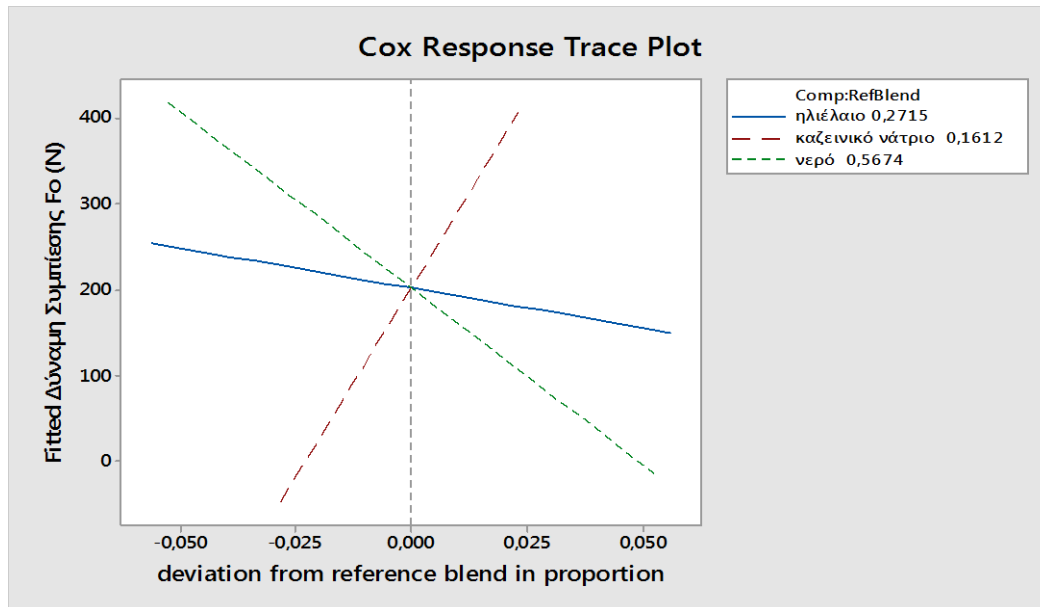
Στα **Σχήματα 46 & 47** απεικονίζονται το *ιχνογράφημα απόκρισης (trace plot)* και το *γράφημα των ισοϋψών (contour plot)* αντίστοιχα, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών συστατικών σε σχέση με την μεταβλητή της δύναμης συμπίεσης (F0) για τα 24 δείγματα. Η εξίσωση παλινδρόμησης που προέκυψε είναι η εξής:

$$\text{Δύναμη συμπίεσης } F0 = -4,871 \text{ ηλιέλαιο} + 78,18 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 16,24 \text{ νερό}$$

$$\text{με } R^2=84,61\% \text{ και } R^2_{\text{pred}}=81,07\%.$$

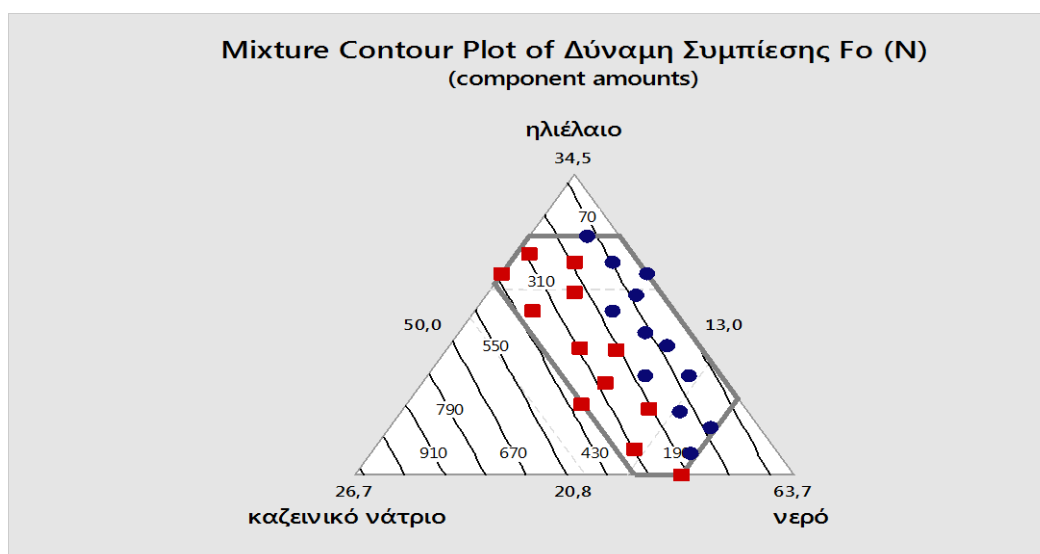
Από τον *Πίνακα των συντελεστών παλινδρόμησης* (ή Estimated Regression Coefficients), όπως φαίνεται και στο **Παράρτημα Α**, διαπιστώνεται ότι την ισχυρότερη δράση στη δύναμη συμπίεσης F0 ασκεί το καζεϊνικό νάτριο (συντελεστής παλινδρόμησης 78.18) με 4,8 φορές περίπου σημαντικότερη επίδραση από αυτήν του νερού. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή αποτελεί ένδειξη ότι η αυξανόμενη ποσότητα καζεϊνικού νατρίου

και στους δύο τύπους τυριών αυξάνει τη δύναμη συμπίεσης F0, ενώ αντίθετα τα αρνητικά πρόσημα των λοιπών δύο προκαλούν τη μείωσή της. Επίσης, ο προσδιοριστικός συντελεστής  $R^2$  της προσαρμογής του μοντέλου εμφανίζει τιμή κοντά στο 85% που σημαίνει ότι υπάρχει πολύ καλή προσαρμοστικότητα και η διαφορά του προβλεπτικού συντελεστή  $R^2_{pred}$  από τον προσδιοριστικό συντελεστή  $R^2$  είναι κάτω από 20%, που σημαίνει ότι το μοντέλο θεωρείται έγκυρο (Πετρίδης, 2016).



**Σχήμα 46:** Ιχνογράφημα απόκρισης της δύναμης συμπίεσης F0 σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δύο τύπους τυριών.

Από το ιχνογράφημα απόκρισης (Σχήμα 46) διαπιστώνεται ότι και για τους δυο τύπους τυριών, προκύπτει μία αυξητική τάση της δύναμης συμπίεσης F0 που προσεγγίζει την τιμή 404.8N όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε καζεϊνικό νάτριο. Αντίθετα, η προσθήκη του ηλιέλαιου θεωρείται αμελητέα και του νερού προκαλεί έντονη μείωση της δύναμης συμπίεσης F0.



**Σχήμα 47:** Περίγραμμα ισοϋψών της δύναμης συμπίεσης F0 σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δύο τύπους τυριών.

Σύμφωνα με την εξέλιξη του περιγράμματος ισοϋψών (**Σχήμα 47**) αναπτύσσεται μία γραμμική αυξητική μεταβολή της δύναμης συμπίεσης F0 με παράλληλη διάταξη ευθειών, ένδειξη γραμμικότητας, η οποία βαίνει προς την κορυφή του καζεϊνικού νατρίου. Η τάση αυτή σημαίνει ότι η τιμή της δύναμης συμπίεσης F0 εξαρτάται αρκετά από τη δράση της περιεκτικότητας σε καζεϊνικό νάτριο. Παρατηρείται ότι στον επαλειφόμενο τύπο τυριών (σημεία με μπλε χρώμα), η τιμή της δύναμης συμπίεσης F0 εκτείνεται μέχρι 120 N, ενώ στον κοπτόμενο τύπο τυριών (σημεία με κόκκινο χρώμα) από 120 N μέχρι 430 N. Σύμφωνα με τους Cunha et al. (2010), η αύξηση του νερού μειώνει την απαιτούμενη δύναμη συμπίεσης καθώς οι δεσμοί των πρωτεϊνών δεν είναι τόσο ισχυροί.

### 5.3.3.2 Δύναμη χαλάρωσης F3

Στον **Πίνακα 26** δίνονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις της δύναμης χαλάρωσης F3 του κάθε δείγματος.

**Πίνακας 26:** Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των τιμών της μεταβλητής δύναμης χαλάρωσης F3 (N) για κάθε ένα από τα 24 δείγματα.

Τύπος τυριού		Επαλειφόμενα		Κοπτόμενα	
Δείγμα	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Δείγμα	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
1	6,79	±4,334	13	190,34	±12,156
2	31,42	±3,380	14	227,09	±40,053
3	35,40	±1,952	15	214,60	±34,830
4	9,12	±1,080	16	105,08	±14,278
5	8,53	±0,212	17	138,31	±29,432
6	5,84	±0,265	18	141,73	±20,080
7	6,98	±0,552	19	203,87	±19,665
8	25,17	±4,193	20	148,86	±7,509
9	8,46	±4,080	21	194,86	±15,677
10	13,78	±0,458	22	166,76	±27,122
11	103,55	±15,324	23	174,33	±19,054
12	40,53	±8,802	24	189,35	±28,072

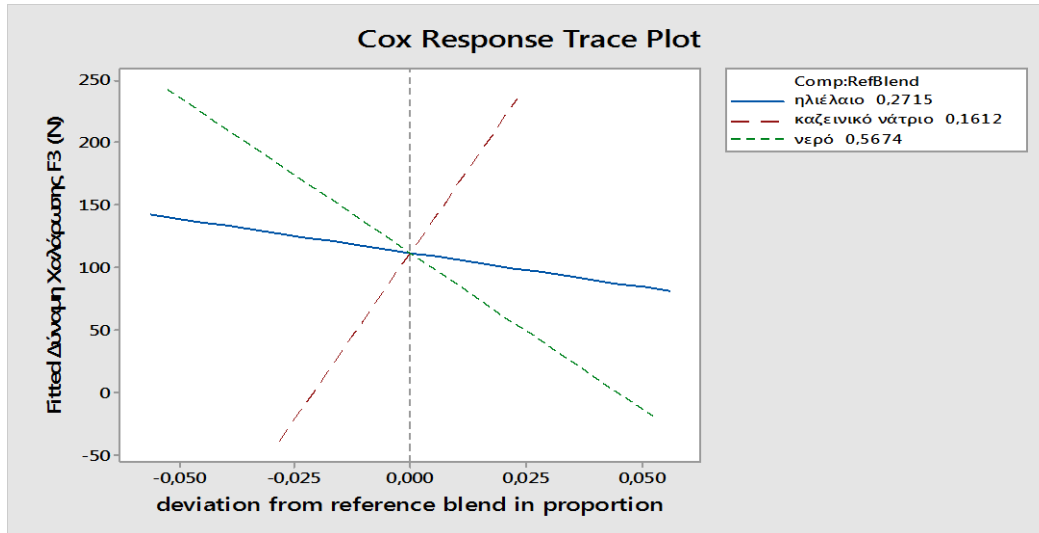
Στα **Σχήματα 48 & 49** απεικονίζονται το *ιχνογράφημα απόκρισης (trace plot)* και το *γράφημα των ισοϋψών (contour plot)* αντίστοιχα, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών συστατικών σε σχέση με τη μεταβλητή της δύναμης χαλάρωσης F3 για τα 24 δείγματα. Η εξίσωση παλινδρόμησης που προέκυψε είναι η εξής:

$$\text{Δύναμη Χαλάρωσης F3} = -2,937 \text{ ηλιέλαιο} + 47,12 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 9,967 \text{ νερό}$$

$$\text{με } R^2 = 81,19\% \text{ και } R^2_{\text{pred}} = 76,71\%.$$

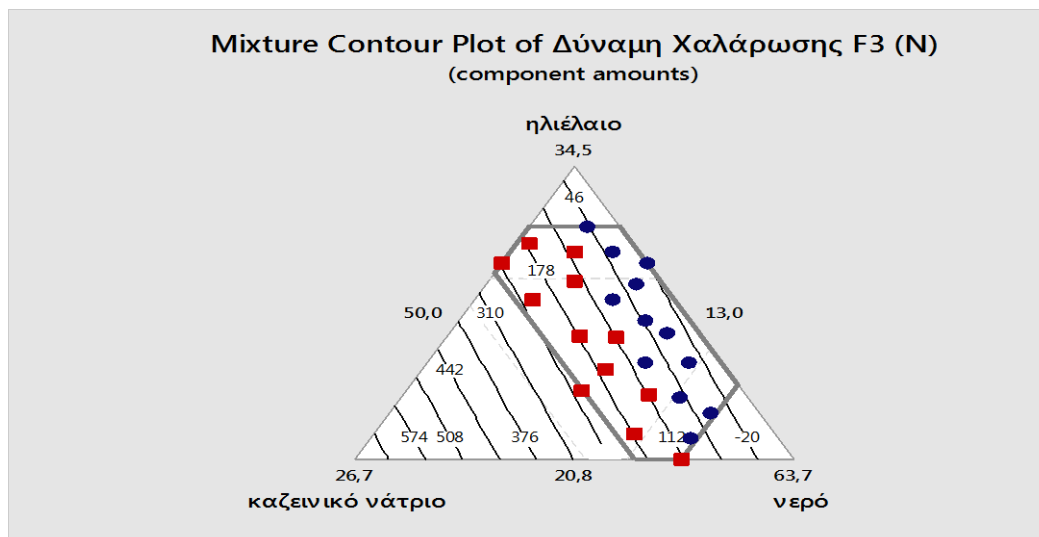
Από τον *Πίνακα των συντελεστών παλινδρόμησης* (ή Estimated Regression Coefficients), όπως φαίνεται και στο **Παράρτημα Α**, διαπιστώνεται ότι την ισχυρότερη δράση στη δύναμη χαλάρωσης F3 ασκεί το καζεϊνικό νάτριο (συντελεστής παλινδρόμησης 47.12) με 5,2 φορές περίπου σημαντικότερη επίδραση από τα άλλα δύο συστατικά. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή αποτελεί ένδειξη ότι η αυξανόμενη ποσότητα καζεϊνικού νατρίου και στους δυο τύπους τυριών αυξάνει την δύναμη χαλάρωσης F3, ενώ αντίθετα τα αρνητικά

πρόσημα των λοιπών δύο προκαλούν τη μείωσή της. Επίσης, ο προσδιοριστικός συντελεστής  $R^2$  της προσαρμογής του μοντέλου εμφανίζει τιμή κοντά στο 80% που σημαίνει ότι υπάρχει πολύ καλή προσαρμοστικότητα και η διαφορά του προβλεπτικού συντελεστή  $R^2_{pred}$  από τον προσδιοριστικό συντελεστή  $R^2$  είναι κάτω από 20% , που σημαίνει ότι το μοντέλο θεωρείται έγκυρο (Πετρίδης, 2016).



**Σχήμα 48:** Ιχνογράφημα απόκρισης της δύναμης χαλάρωσης F3 σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δύο τύπους τυριών.

Από το ιχνογράφημα απόκρισης (Σχήμα 48) διαπιστώνεται ότι και για τους δύο τύπους τυριών, προκύπτει μία αυξητική τάση της δύναμης χαλάρωσης F3 που προσεγγίζει την τιμή 235,6 N όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε καζεϊνικό νάτριο. Αντίθετα, η προσθήκη του ηλιέλαιου θεωρείται και του νερού προκαλεί έντονη μείωση της δύναμης χαλάρωσης F3.



**Σχήμα 49:** Περίγραμμα ισοϋψών της δύναμης χαλάρωσης F3 σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δύο τύπους τυριών.

Σύμφωνα με την εξέλιξη του περιγράμματος ισοϋψών (Σχήμα 49) αναπτύσσεται μία γραμμική αυξητική μεταβολή της δύναμης χαλάρωσης F3 με παράλληλη διάταξη ευθειών, ένδειξη γραμμικότητας, η οποία βαίνει προς την κορυφή του καζεϊνικού νατρίου. Η τάση αυτή σημαίνει ότι η τιμή της δύναμης χαλάρωσης F3 εξαρτάται αρκετά από τη δράση της

περιεκτικότητας σε καζεϊνικό νάτριο. Παρατηρείται ότι στον επαλειφόμενο τύπο τυριών (σημεία με μπλε χρώμα), η τιμή της δύναμης χαλάρωσης F3 εκτείνεται μέχρι 112 N, ενώ στον κοπτόμενο τύπο τυριών (σημεία με κόκκινο χρώμα) από 112 N μέχρι 244 N.

Η δύναμη χαλάρωσης παρουσιάζει τα ίδια αποτελέσματα με τη δύναμη συμπίεσης, καθώς είναι δύο μεταβλητές που παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση. Σύμφωνα με τους Cunha et al. (2010), διαπιστώθηκε ότι η αύξηση της ποσότητας της πρωτεΐνης επιδρά σημαντικά στην αύξηση δύναμης χαλάρωσης, καθώς με περισσότερες πρωτεΐνες δημιουργείται ισχυρότερο πλέγμα, σε αντίθεση με το νερό που προκαλεί εξασθένηση του πλέγματος.

### 5.3.3.3 Φαινομενική τάση στο τέλος της συμπίεσης στα 2mm F0/A

Στον Πίνακα 27 δίνονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις της φαινομενικής τάσης στο τέλος της συμπίεσης στα 2 mm F0/A του κάθε δείγματος.

**Πίνακας 27:** Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των τιμών της μεταβλητής φαινομενικής τάσης στο τέλος της συμπίεσης στα 2 mm F0/A (Pa) για κάθε ένα από τα 24 δείγματα.

Τύπος τυριού	Επαλειφόμενα		Τύπος τυριού	Κοπτόμενα	
Δείγμα	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Δείγμα	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
1	3856,1	±1629,5	13	46008,5	±2,9
2	5542,3	±4811,2	14	47369,4	±181,9
3	5552,9	±4823,4	15	45224,9	±402,6
4	5046,7	±354,4	16	26952,4	±3669,8
5	5237,8	±116,7	17	33955,8	±6272,4
6	3776,6	±104,2	18	30774,9	±2461,9
7	2951,6	±2583,5	19	27125,3	±23623,6
8	5116,8	±4487,9	20	23164,3	±20061,6
9	4551,2	±1320,3	21	45253	±614,1
10	5134,2	±988,3	22	37242,3	±6441,2
11	21648,8	±2914,2	23	38294,4	±1680,8
12	10770,7	±2055,9	24	27319,7	±23660,5

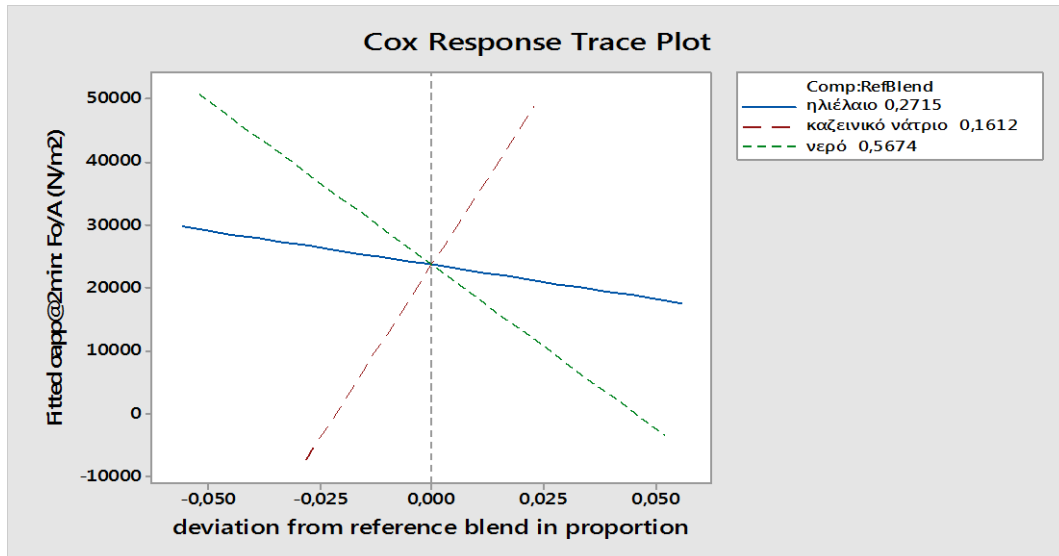
Στα Σχήματα 50 & 51 απεικονίζονται το ιχνογράφημα απόκρισης (*trace plot*) και το γράφημα των ισοϋψών (*contour plot*) αντίστοιχα, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών συστατικών σε σχέση με τη μεταβλητή της φαινομενικής τάσης στο τέλος της συμπίεσης στα 2 mm (F0/A) για τα 24 δείγματα. Η εξίσωση παλινδρόμησης που προέκυψε είναι η εξής:

$$\text{Φαινομενική τάση (2mm) F0/A} = -563,82 \text{ ηλιέλαιο} + 9691,62 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 2057,24 \text{ νερό}$$

$$\text{με } R^2 = 87\% \text{ και } R^2_{\text{pred}} = 84,31\%.$$

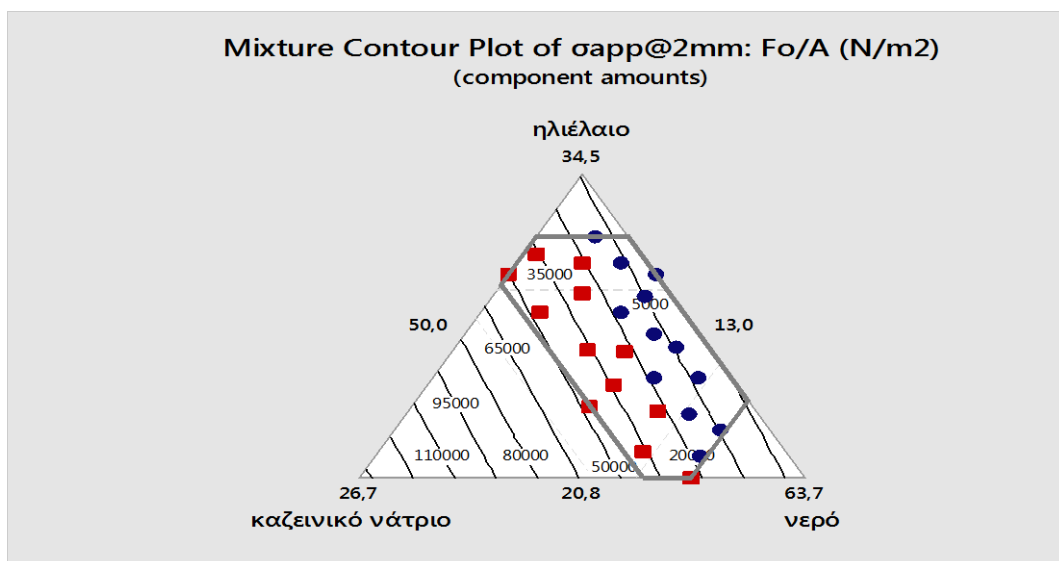
Από τον Πίνακα των συντελεστών παλινδρόμησης (ή Estimated Regression Coefficients), όπως φαίνεται και στο Παράρτημα Α, διαπιστώνεται ότι την ισχυρότερη δράση στη φαινομενική τάση 2 mm F0/A ασκεί το καζεϊνικό νάτριο (συντελεστής παλινδρόμησης 9691,62). Το θετικό πρόσημο του συντελεστή αποτελεί ένδειξη ότι η αυξανόμενη ποσότητα καζεϊνικού νάτριου και στους δύο τύπους τυριών αυξάνει την

φαινομενική τάση 2 mm F0/A, ενώ αντίθετα τα αρνητικά πρόσημα των λοιπών δύο προκαλούν τη μείωσή της. Επίσης, ο προσδιοριστικός συντελεστής  $R^2$  της προσαρμογής του μοντέλου εμφανίζει τιμή κοντά στο 90% που σημαίνει ότι υπάρχει πολύ καλή προσαρμοστικότητα και η διαφορά του προβλεπτικού συντελεστή  $R^2_{pred}$  από τον προσδιοριστικό συντελεστή  $R^2$  είναι κάτω από 20% , που σημαίνει ότι το μοντέλο θεωρείται έγκυρο (Πετρίδης, 2016).



**Σχήμα 50:** Ιχνογράφημα απόκρισης της φαινομενικής τάσης στο τέλος της συμπίεσης στα 2mm F0/A σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δύο τύπους τυριών.

Από το ιχνογράφημα απόκρισης (Σχήμα 50) διαπιστώνεται ότι και για τους δυο τύπους τυριών, προκύπτει μία αυξητική τάση της φαινομενικής τάσης 2 mm F0/A που προσεγγίζει την τιμή 48456 Pa, όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε καζεϊνικό νάτριο. Αντίθετα, η προσθήκη ηλιέλαιου θεωρείται αμελητέα και του νερού προκαλεί έντονη μείωση της φαινομενικής τάσης 2 mm F0/A.



**Σχήμα 51:** Περίγραμμα ισοϋψών της φαινομενικής τάσης στο τέλος της συμπίεσης στα 2 mm F0/A σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δύο τύπους τυριών.

Σύμφωνα με την εξέλιξη του περιγράμματος ισοϋψών (**Σχήμα 51**), αναπτύσσεται μία γραμμική αυξητική μεταβολή της φαινομενικής τάσης 2 mm F0/A με παράλληλη διάταξη ευθειών, ένδειξη γραμμικότητας, η οποία βαίνει προς την κορυφή του καζεϊνικού νατρίου. Η τάση αυτή σημαίνει ότι η τιμή της φαινομενικής τάσης 2 mm F0/A εξαρτάται αρκετά από τη δράση της περιεκτικότητας σε καζεϊνικό νάτριο. Παρατηρείται ότι στον επαλειφόμενο τύπο τυριών (σημεία με μπλε χρώμα), η τιμή της φαινομενικής τάσης 2 mm F0/A εκτείνεται μέχρι 20000 Pa, ενώ στον κοπτόμενο τύπο τυριών (σημεία με κόκκινο χρώμα) από 20000 Pa μέχρι 45000 Pa. Σύμφωνα με τους Cunha et al. (2010), όταν η περιεκτικότητα σε νερό αυξάνεται, μειώνεται η απαιτούμενη δύναμη συμπίεσης καθώς οι δεσμοί των πρωτεϊνών δεν είναι τόσο ισχυροί. Εντούτοις, η δύναμη συμπίεσης και η φαινομενική τάση στο τέλος συμπίεσης στα 2 mm είναι ανάλογα ποσά, με αποτέλεσμα η μείωση του ενός να προκαλεί τη μείωση του άλλου, με την αύξηση της υγρασίας.

#### 5.3.3.4 Φαινομενική τάση στο τέλος της χαλάρωσης στα 3min F3/A

Στον **Πίνακα 28** δίνονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις της φαινομενικής τάσης στο τέλος της χαλάρωσης στα 3min F3/A του κάθε δείγματος.

**Πίνακας 28:** Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των τιμών της μεταβλητής φαινομενικής τάσης στο τέλος της χαλάρωσης στα 3min F3/A (Pa) για κάθε ένα από τα 24 δείγματα.

Τύπος τυριού	Επαλειφόμενα		Τύπος τυριού	Κοπτόμενα		
	Δείγμα	Μέσος όρος		Τυπική απόκλιση	Δείγμα	Μέσος όρος
	<b>1</b>	865,0	±552,1	<b>13</b>	24248,0	±1548,5
	<b>2</b>	2668,4	±2330,8	<b>14</b>	28928,7	±5102,3
	<b>3</b>	3006,4	±2609,5	<b>15</b>	27338,4	±4436,9
	<b>4</b>	1162,2	±137,6	<b>16</b>	13386,4	±1818,9
	<b>5</b>	1087,5	±27,0	<b>17</b>	17619,1	±3749,2
	<b>6</b>	744,8	±33,8	<b>18</b>	18055,6	±2558,0
	<b>7</b>	592,8	±515,8	<b>19</b>	17314,2	±15098,8
	<b>8</b>	2138,0	±1889,7	<b>20</b>	12642,0	±10969,2
	<b>9</b>	1077,7	±519,8	<b>21</b>	24823,8	±1997,1
	<b>10</b>	1755,4	±58,4	<b>22</b>	21244,2	±3455,5
	<b>11</b>	13191,9	±1952,1	<b>23</b>	22208,1	±2427,2
	<b>12</b>	5163,1	±1121,2	<b>24</b>	16080,7	±14154,0

Στα **Σχήματα 52 & 53** απεικονίζονται το *ιχνογράφημα απόκρισης (trace plot)* και το *γράφημα των ισοϋψών (contour plot)* αντίστοιχα, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών συστατικών σε σχέση με τη μεταβλητή της φαινομενικής τάσης στο τέλος της χαλάρωσης στα 3min F3/A για τα 24 δείγματα. Η εξίσωση παλινδρόμησης που προέκυψε είναι η εξής:

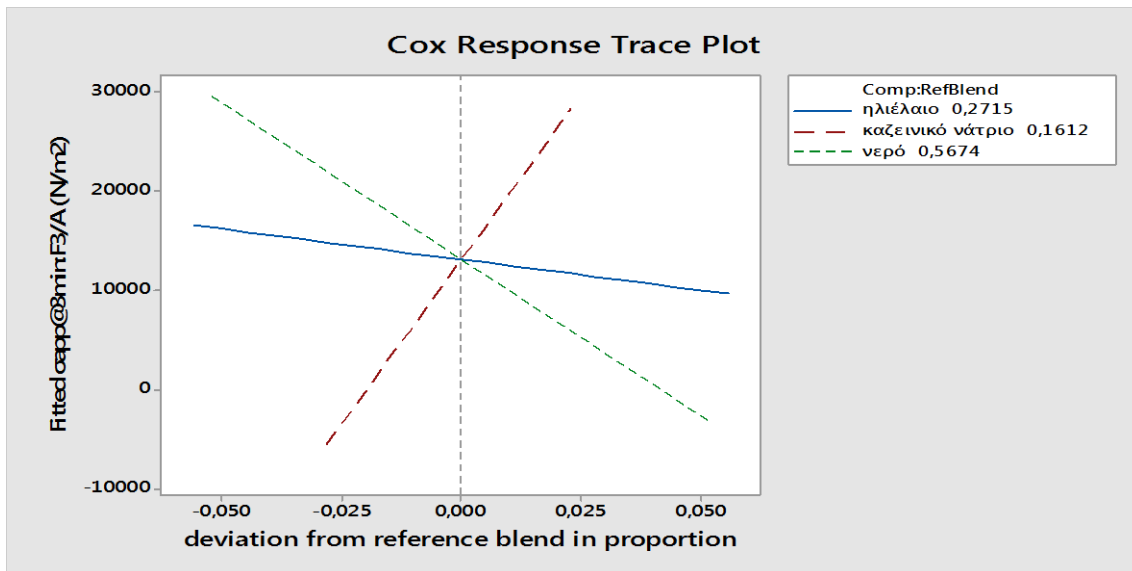
**Φαινομενική τάση (3min) F3/A**= -325,29 ηλιέλαιο +5814,70καζεϊνικό νάτριο-1261,15νερό

με  $R^2 = 85,47\%$  και  $R^2_{pred} = 82,23\%$ .

Από τον *Πίνακα των συντελεστών παλινδρόμησης* (ή Estimated Regression Coefficients), όπως φαίνεται και στο **Παράρτημα Α**, διαπιστώνεται ότι την ισχυρότερη

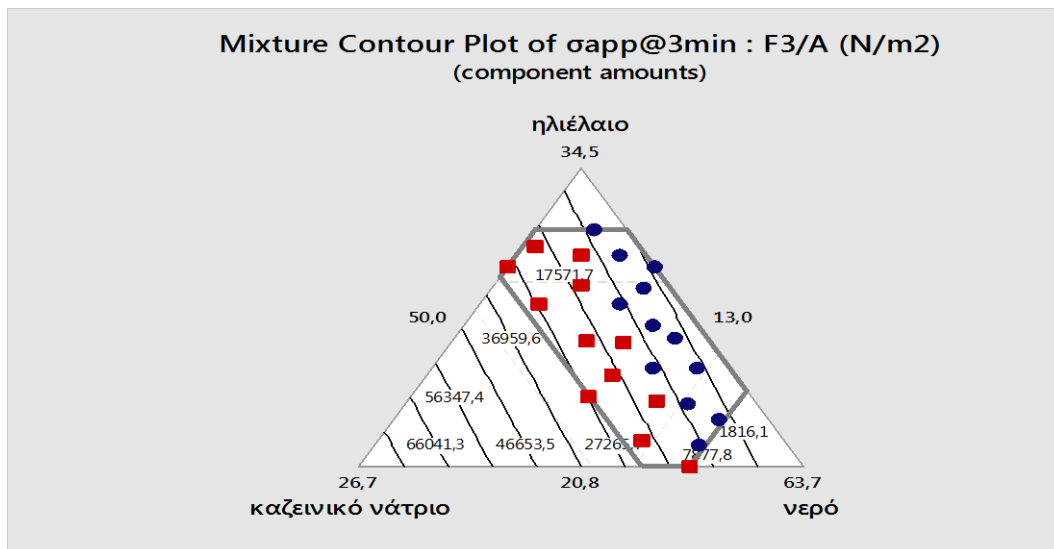


δράση στη φαινομενική τάση 3 min F3/A ασκεί το καζεϊνικό νάτριο (συντελεστής παλινδρόμησης 5814,7). Το θετικό πρόσημο του συντελεστή αποτελεί ένδειξη ότι η αυξανόμενη ποσότητα καζεϊνικού νατρίου και στους δύο τύπους τυριών αυξάνει την φαινομενική τάση 3 min F3/A, ενώ αντίθετα τα αρνητικά πρόσημα των λοιπών δύο προκαλούν τη μείωσή της. Επίσης, ο προσδιοριστικός συντελεστής  $R^2$  της προσαρμογής του μοντέλου εμφανίζει τιμή κοντά στο 90% που σημαίνει ότι υπάρχει πολύ καλή προσαρμοστικότητα και η διαφορά του προβλεπτικού συντελεστή  $R^2_{pred}$  από τον προσδιοριστικό συντελεστή  $R^2$  είναι κάτω από 20% , που σημαίνει ότι το μοντέλο θεωρείται έγκυρο (Πετρίδης, 2016).



**Σχήμα 52:** Ιχνογράφημα απόκρισης της φαινομενικής τάσης στο τέλος της χαλάρωσης στα 3min F3/A σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δύο τύπους τυριών.

Από το ιχνογράφημα απόκρισης (**Σχήμα 52**) διαπιστώνεται ότι και για τους δύο τύπους τυριών, προκύπτει μία αυξητική τάση της φαινομενική τάσης 3 min F3/A που προσεγγίζει την τιμή 28384 Pa, όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε καζεϊνικό νάτριο. Αντίθετα, η προσθήκη του ηλιέλαιου θεωρείται αμελητέα και του νερού προκαλεί έντονη μείωση της φαινομενική τάσης 3 min F3/A .



**Σχήμα 53:** Περίγραμμα ισοϋψών της φαινομενικής τάσης στο τέλος της χαλάρωσης στα 3min F3/A σε συνάρτηση με τα τρία συστατικά του κάθε δείγματος και για τους δύο τύπους τυριών.

Σύμφωνα με την εξέλιξη του περιγράμματος ισοϋψών (**Σχήμα 53**) αναπτύσσεται μία γραμμική αυξητική μεταβολή της φαινομενική τάσης 3 min F3/A με παράλληλη διάταξη ευθειών, ένδειξη γραμμικότητας, η οποία βαίνει προς την κορυφή του καζεϊνικού νατρίου. Η τάση αυτή σημαίνει ότι η τιμή της φαινομενική τάσης 3 min F3/A εξαρτάται αρκετά από την δράση της περιεκτικότητας σε καζεϊνικό νάτριο. Παρατηρείται ότι στον επαλειφόμενο τύπο τυριών (σημεία με μπλε χρώμα), η τιμή της φαινομενική τάσης 3 min F3/A εκτείνεται μέχρι 7877 Pa ενώ στον κοπτόμενο τύπο τυριών (σημεία με κόκκινο χρώμα) από 7877 Pa μέχρι 30000 Pa. Σύμφωνα με τους Cunha et al. (2010), διαπιστώθηκε ότι η αύξηση της ποσότητας της πρωτεΐνης επιδρά σημαντικά στην αύξηση δύναμης χαλάρωσης, καθώς με περισσότερες πρωτεΐνες δημιουργείται ισχυρότερο πλέγμα, σε αντίθεση με το νερό που όσο αυξάνεται μειώνεται η συμπίεση που ασκείται στα δείγματα. Η δύναμη χαλάρωσης και η φαινομενική τάση στο τέλος χαλάρωσης στα 3 min είναι αναλογικά ποσά, με αποτέλεσμα η αύξηση του ενός να τείνει στην αύξηση και του άλλου σε περίπτωση προσθήκης καζεϊνικού νατρίου, και αντίστοιχη μείωση αυτών σε περίπτωση προσθήκης νερού.

**Ο Πίνακας 29** συνοψίζει για κάθε ομάδα και για κάθε μελετώμενη ιδιότητα της κάθε ομάδας, τις πολυωνμικές εξισώσεις και τους συντελεστές  $R^2$  και  $R^2_{pred}$ . Ανακεφαλαιώνοντας, από όλα τα παραπάνω προκύπτει, ότι όλες οι μεταβλητές απόκρισης που μελετήθηκαν επηρεάζονται μόνο από την επίδραση των αμιγών συστατικών και καθόλου από αναλογίες που οδηγούν σε αλληλεπιδράσεις. Κυρίαρχο συστατικό επίδρασης σε όλες ανεξαιρέτως τις μεταβλητές απόκρισης αποτελεί το καζεϊνικό νάτριο. Η αύξηση της περιεκτικότητας σε καζεϊνικό νάτριο προκαλεί σημαντική αύξηση σε όλες τις μελετώμενες μεταβλητές απόκρισης (φυσικοχημικές, μηχανικές, ρεολογικές ιδιότητες), εκτός της εκτατότητας, την οποία μειώνει. Αντίθετα, σημαντικό ρόλο παίζει η περιεκτικότητα σε νερό, η οποία μειώνει όλες τις ιδιότητες εκτός της εκτατότητας, την οποία αυξάνει. Όσον αφορά στο τρίτο συστατικό, η επίδραση της περιεκτικότητας σε ηλιέλαιο γενικά θεωρείται αμελητέα. Εξαίρεση αποτελούν η εκτατότητα που αυξάνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε ηλιέλαιο και το pH και η χρωματική παράμετρος  $a^*$  που μειώνονται, αντίστοιχα. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, ότι στα ιχνογραφήματα απόκρισης (trace plots), όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα ενός συστατικού, τα υπόλοιπα δύο υποχρεωτικά μειώνονται.

**Πίνακας 29:** Συνοπτική καταγραφή πολυωνυμικής εξίσωσης, προσδιοριστικού συντελεστή  $R^2$  και προβλεπτικού συντελεστή ( $R^2_{pred}$ ) ανά μεταβλητή απόκρισης.

Μεταβλητές	Εξίσωση	$R^2$ (%)	$R^2_{pred}$ (%)
<b>Φυσικοχημικές ιδιότητες</b>			
Ph	$pH = 0,028 \text{ ηλιέλαιο} + 0,146 \text{ καζεϊνικό νάτριο} + 0,036 \text{ νερό}$	66,12	54,04
Χρωματική παράμετρος $a^*$	$a^* = -0,049 \text{ ηλιέλαιο} + 0,195 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 0,051 \text{ νερό}$	59,4	47,59
<b>Μηχανικές ιδιότητες της ανάλυσης προφίλ υφής (TPA)</b>			
Ευθραυστότητα (B)	$B = 0,139 \text{ ηλιέλαιο} + 1,536 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 0,414 \text{ νερό}$	70,14	55,67
Σκληρότητα (H1)	$H1 = -0,189 \text{ ηλιέλαιο} + 9,013 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 2,092 \text{ νερό}$	88,36	84,83
Σκληρότητα (H2)	$H2 = -0,220 \text{ ηλιέλαιο} + 7,297 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 1,670 \text{ νερό}$	89,74	86,08
Έργο κατά την πρώτη συμπίεση (A1)	$A1 = -0,002 \text{ ηλιέλαιο} + 0,038 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 0,008 \text{ νερό}$	89,74	85,82
Έργο κατά τη δεύτερη συμπίεση (A2)	$A2 = -1,559 \times 10^{-4} \text{ ηλιέλαιο} + 0,006 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 0,001 \text{ νερό}$	89,38	86,55
Κομμιώδης υφή (G)	$G = -0,014 \text{ ηλιέλαιο} + 1,447 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 0,343 \text{ νερό}$	84	80,09
Μασητικότητα (K)	$K = 0,00038 \text{ ηλιέλαιο} + 0,0046 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 0,0012 \text{ νερό}$	57,86	33,67
Εκτατότητα (S2)	$S2 = 0,00037 \text{ ηλιέλαιο} - 0,0020 \text{ καζεϊνικό νάτριο} + 0,00043 \text{ νερό}$	80,27	63,38
<b>Ρεολογικές ιδιότητες της λιπαινώμενης συμπιεστής ροής</b>			
Δύναμη συμπίεσης (F0)	$F0 = -4,871 \text{ ηλιέλαιο} + 78,18 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 16,24 \text{ νερό}$	84,61	81,07
Δύναμη χαλάρωσης (F3)	$F3 = -2,937 \text{ ηλιέλαιο} + 47,12 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 9,967 \text{ νερό}$	81,19	76,71
Φαινομενική τάση στο τέλος της συμπίεσης (2min)	$F0/A = -563,82 \text{ ηλιέλαιο} + 9691,62 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 2057,24 \text{ νερό}$	87	84,31
Φαινομενική τάση στο τέλος της χαλάρωσης (3min)	$F3/A = -325,29 \text{ ηλιέλαιο} + 5814,70 \text{ καζεϊνικό νάτριο} - 1261,15 \text{ νερό}$	85,47	82,23

### 5.3.4.Λοιπές ιδιότητες

Στον Πίνακα 30 παρατίθενται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των δειγμάτων, για τις οποίες δεν ήταν δυνατό να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, εφόσον δεν ήταν στατιστικά σημαντικές.

**Πίνακας 30:** Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των τιμών της φωτεινότητας, της χρωματικής παραμέτρου  $b^*$  και του μεγέθους λιποσφαιρίων D (4,3) για κάθε ένα από τα 24 δείγματα.

Δείγμα	Φωτεινότητα $L^*$		Χρωματική παράμετρος $b^*$		Μέγεθος λιποσφαιρίων D (4,3) ( $\mu\text{m}$ )	
	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
1	89,37	$\pm 0,065$	8,53	$\pm 0,006$	77,547	$\pm 2,248$
2	88,76	$\pm 0,040$	7,60	$\pm 0,000$	86,317	$\pm 3,032$
3	88,63	$\pm 0,045$	7,85	$\pm 0,020$	95,575	$\pm 15,464$
4	89,18	$\pm 0,030$	7,76	$\pm 0,010$	66,627	$\pm 10,071$
5	88,99	$\pm 0,070$	7,91	$\pm 0,000$	58,715	$\pm 0,686$
6	88,83	$\pm 0,015$	8,11	$\pm 0,000$	217,660	$\pm 24,282$
7	90,52	$\pm 0,006$	7,90	$\pm 0,000$	93,280	$\pm 2,501$
8	88,42	$\pm 0,015$	8,40	$\pm 0,006$	31,613	$\pm 0,551$
9	88,79	$\pm 0,055$	8,93	$\pm 0,020$	61,740	$\pm 1,163$
10	88,43	$\pm 0,050$	8,58	$\pm 0,000$	61,660	$\pm 1,303$
11	88,45	$\pm 0,045$	7,79	$\pm 0,006$	34,467	$\pm 0,897$
12	86,95	$\pm 0,015$	7,75	$\pm 0,006$	86,200	$\pm 8,127$
13	89,68	$\pm 0,006$	7,05	$\pm 0,006$	27,920	$\pm 4,795$
14	88,84	$\pm 0,035$	7,88	$\pm 0,006$	134,575	$\pm 66,631$
15	87,85	$\pm 0,015$	6,77	$\pm 0,006$	112,725	$\pm 14,121$
16	89,49	$\pm 0,040$	7,52	$\pm 0,010$	44,500	$\pm 34,578$
17	88,60	$\pm 0,020$	7,46	$\pm 0,000$	25,040	$\pm 12,106$
18	90,06	$\pm 0,085$	7,28	$\pm 0,020$	59,347	$\pm 3,538$
19	89,98	$\pm 0,055$	6,13	$\pm 0,000$	33,020	$\pm 1,259$
20	89,38	$\pm 0,020$	7,05	$\pm 0,000$	189,767	$\pm 28,455$
21	88,08	$\pm 0,045$	7,85	$\pm 0,000$	188,380	$\pm 59,369$
22	88,07	$\pm 0,020$	8,79	$\pm 0,006$	33,720	$\pm 1,739$
23	88,74	$\pm 0,010$	7,88	$\pm 0,006$	47,035	$\pm 3,274$
24	89,13	$\pm 0,050$	7,42	$\pm 0,000$	32,585	$\pm 0,559$

Η στατιστική ανάλυση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του Πίνακα 30 δεν έδωσε αποτελέσματα από τα οποία μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα. Συγκεκριμένα, οι τιμές  $L^*$  όλων των δειγμάτων που μελετήθηκαν, δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους καθώς κυμαίνονται από 86,95 μέχρι 90,52 υποδηλώνοντας λευκό προϊόν, ενώ η παράμετρος  $b^*$  κυμαίνεται από 6,13 έως 8,93 υποδηλώνοντας κίτρινη απόχρωση. Για το λόγο αυτό, οι αναφορές σε αυτές τις ιδιότητες είναι μόνο βιβλιογραφικές.

Οι Chantrapornchai et al. (1998) ανέφεραν ότι καθώς το μέγεθος των σταγονιδίων αυξάνεται, η αποτελεσματικότητα σκέδασης των σταγονιδίων μειώνεται, πράγμα που προκαλεί μείωση της φωτεινότητας (χαμηλότερη τιμή  $L^*$ ) και ενίσχυση του χρώματος. Εντούτοις, η αυξανόμενη συγκέντρωση λαδιού μπορεί μερικές φορές να επηρεάσει το χρώμα του γαλακτώματος αυξάνοντας την τιμή  $L^*$  εάν οι δύο άλλες χρωματικές παράμετροι ( $a^*$  και  $b^*$ ) δεν μειώνονται με την αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων. Στην πραγματικότητα, η απορρόφηση του φωτός από το γαλάκτωμα είναι ευρέως υπεύθυνη για την απόχρωση (μπλε, πράσινο, κόκκινο, κλπ.) που συνδέεται στενά με τις τιμές  $a^*$  και  $b^*$  (McClements, 1999).

Λαμβάνοντας όμως υπόψη ότι το καζεϊνικό νάτριο δρα ως γαλακτωματοποιητής, αυξημένη ποσότητα ηλιέλαιου, παρουσία μεγάλης ποσότητας πρωτεϊνών, η οποία περιβάλλει τα λιποσφαιρία και εμποδίζει τη μεταξύ τους συνένωση, έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση πολλών μικρών λιποσφαιρίων στο γαλάκτωμα. Τα πολλά σε αριθμό και μικρά σε μέγεθος λιποσφαιρία δίνουν μεγαλύτερη συνολική διεπιφάνεια λαδιού-νερού με αποτέλεσμα η αντανάκλαση του φωτός να είναι μεγαλύτερη και τα γαλακτώματα πιο φωτεινά. Οι Johnson et al. (2009), από την άλλη, παρατήρησαν ότι όταν μειώνεται το λίπος των τυριών, μειώνονται τα “κέντρα διάχυσης του φωτός”, δηλαδή η διεπιφάνεια λαδιού-νερού, με αποτέλεσμα τα τυριά να φαίνονται πιο σκούρα, πράγμα που αντικρούεται με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Η παρατήρησή τους όμως ότι τυριά με μεγαλύτερα ποσοστά υγρασίας είναι περισσότερο φωτεινά συμφωνεί με τα παραπάνω αποτελέσματα.

Η θετική τιμή της χρωματικής παραμέτρου  $b^*$  έχει την τάση να δημιουργεί κίτρινο χρώμα στα δείγματα. Όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε φυτικό λίπος, τόσο λιγότερο θετική είναι η τιμή του  $b^*$ , με αποτέλεσμα να υπάρχει λιγότερο έντονο κίτρινο χρώμα. Σε έρευνα των Cunha et al. (2010) αναπλήρωμα τυριού με 50% φυτικό λίπος έδωσαν λιγότερο κίτρινο χρώμα σε σύγκριση με τα αναπληρώματα με χαμηλότερες περιεκτικότητες σε λίπος. Ακόμα, οι Hosseini et al. (2014) απέδωσαν την κίτρινη απόχρωση των αναπληρωμάτων τυριού στην επίσης κίτρινη απόχρωση του καζεϊνικού νατρίου που περιεχόταν σε αυτά.

Σύμφωνα με έρευνα των Cunha et al. (2010), διαπιστώθηκε ότι η αύξηση του ποσοστού του φυτικού λίπους και των πρωτεϊνών έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού των λιποσφαιρίων και την αύξηση της διαμέτρου τους. Αντίθετα, οι Dwyer et al. (2013) διαπίστωσαν ότι αύξηση του καζεϊνικού νατρίου, που δρα ως γαλακτωματοποιητής, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του μεγέθους των λιποσφαιρίων. Σύμφωνα με την Hennelly et al. (2005), διαπιστώθηκε ότι η αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας σε αναπληρώματα τυριού είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού των λιποσφαιρίων και την αύξηση του μεγέθους τους.

Στον Πίνακα 31 παρατίθενται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις των μηχανικών ιδιοτήτων των δειγμάτων, για τις οποίες δεν ήταν δυνατό να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, εφόσον δεν ήταν στατιστικά σημαντικές.

**Πίνακας 31:** Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των τιμών της συγκολλητικότητας (J), συνεκτικότητας (-), ελαστικότητας (m) και μέτρου Young (Pa) για κάθε ένα από τα 24 δείγματα.

Δείγμα	Συγκολλητικότητα A3 (J)		Συνεκτικότητα C		Ελαστικότητα S1(m)		Μέτρο Young E (Pa)	
	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
1	-0,0036	±0,001	0,26	±0,044	0,0062	±0,002	4256,7	±1189,3
2	-0,0025	±0,002	0,16	±0,038	0,0022	±0,000	27735,0	±2047,8
3	-0,0053	±0,003	0,08	±0,048	0,0019	±0,000	42328,0	±12407,2
4	-0,0041	±0,000	0,25	±0,034	0,0056	±0,001	13712,0	±4124,7
5	-0,0027	±0,002	0,17	±0,097	0,0054	±0,001	9796,0	±2420,1
6	-0,0013	±0,001	0,24	±0,069	0,0041	±0,001	6625,5	±3495,0
7	-0,0017	±0,002	0,13	±0,125	0,0041	±0,001	11921,8	±3689,4
8	-0,0035	±0,001	0,17	±0,025	0,0028	±0,000	21674,2	±2685,6
9	-0,0029	±0,000	0,26	±0,027	0,0057	±0,000	10739,0	±2517,3
10	-0,0019	±0,002	0,14	±0,127	0,0052	±0,001	13196,5	±2275,1
11	-0,0062	±0,003	0,12	±0,031	0,0026	±0,001	47490,2	±10470,7
12	-0,0040	±0,001	0,16	±0,017	0,0036	±0,001	34116,0	±5284,2
13	-	-	0,13	±0,076	0,0032	±0,001	63066,2	±31047,2
14	-	-	0,19	±0,008	0,0039	±0,001	13202,0	±1762,1
15	-	-	0,19	±0,013	0,0041	±0,000	77211,3	±18721,1
16	-	-	0,16	±0,013	0,0040	±0,000	30698,6	±6790,8
17	-	-	0,22	±0,014	0,0045	±0,001	38879,4	±11512,1
18	-	-	0,12	±0,068	0,0034	±0,001	51499,2	±19209,1
19	-	-	0,14	±0,006	0,0034	±0,001	40562,0	±9566,5
20	-	-	0,16	±0,010	0,0033	±0,000	51561,3	±7683,8
21	-	-	0,17	±0,020	0,0041	±0,001	14360,3	±2574,8
22	-	-	0,17	±0,021	0,0051	±0,002	83428,7	±7872,8
23	-	-	0,16	±0,010	0,0042	±0,001	76349,0	±1656,6
24	-	-	0,16	±0,013	0,0040	±0,001	73846,6	±16353,1

Η στατιστική ανάλυση των μηχανικών ιδιοτήτων του **Πίνακα 31** δεν έδωσε αποτελέσματα από τα οποία να μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα, γι' αυτό οι αναφορές σε αυτές τις ιδιότητες είναι μόνο βιβλιογραφικές.

Τα αναπληρώματα τυριού εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές συγκολλητικότητας σε σχέση με τα φυσικά ή ανακατεργασμένα τυριά, λόγω του διαφορετικού τύπου λίπους. Οι διαφορές τους στη μικροδομή συνδέονται με την αύξηση της συγκολλητικότητας, δεδομένου ότι η δομή του δικτύου πρωτεϊνών και η έκταση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ του λίπους και της καζεΐνης επηρεάζουν το βαθμό προσκόλλησης του προϊόντος με την επιφάνεια με την οποία έρχεται σε επαφή. Σύμφωνα με τους Cunha et al. (2010), η προσθήκη του λίπους αυξάνει τη συγκολλητικότητα και τη σκληρότητα των αναπληρωμάτων τυριού. Αντίθετα οι Gwartney et al. (2006) και οι Johnson et al. (2009) σε μελέτη πάνω σε ανακατεργασμένα τυριά παρατήρησαν ότι όσο μειωνόταν η λιποπεριεκτικότητα, τόσο αυξανόταν η συγκολλητικότητά τους.

Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας τα ξεδιπλωμένα πρωτεϊνικά μόρια ενυδατώνονται και δεσμεύουν το νερό. Όσο περισσότερη είναι η ποσότητα του προστιθέμενου νερού, τόσο μεγαλύτερη είναι η διεύρυνση των πρωτεϊνών λόγω μειωμένων ελκυστικών δυνάμεων. Επιπλέον, η αυξημένη διαλυτότητα των πρωτεϊνικών μορίων έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η ικανότητα απομόνωσης των γαλακτωματοποιητικών αλάτων. Κατά τη διάρκεια της ψύξης, τα μόρια του νερού ακινητοποιούνται μέσα πρωτεϊνικό πλέγμα και αποδυναμώνεται η δομή του τελικού προϊόντος. Έτσι, η αύξηση της περιεκτικότητας σε υγρασία μειώνει την συνεκτικότητα του προϊόντος (Dimitreli & Thomareis, 2008).

Σύμφωνα με τους Cunha et al. (2010), διαπιστώθηκε ότι όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των λιποσφαιρίων, τόσο μεγαλύτερη ελαστικότητα υπάρχει στο προκύπτον τυρί. Ουσιαστικά, όσο μειώνεται η διάμετρος των λιποσφαιρίων, αυξάνονται οι αλληλεπιδράσεις των πρωτεϊνών, αυξάνοντας την ελαστικότητα του τελικού προϊόντος. Επίσης, παρατήρησαν ότι όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε φυτικά λίπη, οι ελκυστικές δυνάμεις είναι αρκετά μεγάλες, αυξάνοντας έτσι την ελαστικότητα των αναπληρωμάτων τυριού. Σύμφωνα με Dimitreli & Thomareis (2008), όταν αυξάνεται η συγκέντρωση των καζεϊνών στη μήτρα του τυριού, αυξάνονται οι διασυνδέσεις των πρωτεϊνικών κλώνων, και έτσι η μήτρα εμφανίζει μεγαλύτερη ελαστικότητα. Μετά την ψύξη των τελικών προϊόντων, αυτά αποκτούν μία πιο συμπαγή συμπεριφορά

Σύμφωνα με τους Gwartney et al. (2006) το μέτρο Young εξαρτάται από τη σύσταση και την ποσότητα του καζεϊνικού νατρίου, του ηλιέλαιου και του νερού. Το μέτρο Young υπολογίζεται από το πηλίκο τάσης/ παραμόρφωση. Έτσι, η τάση, η οποία υπολογίζεται από το πηλίκο της δύναμης/επιφάνεια, αυξάνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας του καζεϊνικού νατρίου και μειώνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας του νερού. Αντίθετα, η παραμόρφωση, η οποία υπολογίζεται από το πηλίκο της επιμήκυνσης/αρχικό μήκος του δοκιμίου αυξάνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας του νερού και μειώνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας του καζεϊνικού νατρίου. Από όλα τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι η τάση και η παραμόρφωση των δειγμάτων εξαρτώνται από την ποσότητα των πρώτων υλών.

## 6. Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τη μελέτη των επαλειφόμενων και κοπτόμενων αναπληρωμάτων τυριού που παρασκευάστηκαν, καταγράφονται αναλυτικά παρακάτω. Η παρασκευή αυτών με πρώτες ύλες το ηλιέλαιο, το νερό και το καζεϊνικό νάτριο είναι εφικτή και θα μπορούσε να αξιοποιηθεί βιομηχανικά, αφού τα προϊόντα αυτά παρουσιάζουν υψηλή θρεπτική αξία και προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα στην υγεία των καταναλωτών. Προκειμένου να παραχθούν σταθερά γαλακτώματα θα πρέπει η περιεκτικότητα σε ηλιέλαιο να είναι τουλάχιστον 20,8%, η περιεκτικότητα σε νερό να μη ξεπερνά το 60,2% της συνολικής σύστασης του τυριού και η περιεκτικότητα σε καζεϊνικό νάτριο να κυμαίνεται μεταξύ 13-18%.

Η συγκέντρωση του ηλιέλαιου μεταβάλλεται για κάθε διαφορετική συγκέντρωση νερού, καθώς όσο περισσότερο ηλιέλαιο περιέχει ένα γαλάκτωμα, τόσο λιγότερο νερό μπορεί αυτό να δεσμεύσει. Σύμφωνα με την προκαταρκτική μελέτη, διαπιστώθηκε ότι η συνολική περιεκτικότητα των αναπληρωμάτων τυριού σε υγρή φάση (νερό και ηλιέλαιο) θα πρέπει να κυμαίνεται από 79,5-81,5% για τον κοπτόμενο τύπο και από 83-84% για τον επαλειφόμενο τύπο. Τα ενδιάμεσα ποσοστά είναι η μεταβατική περιοχή. Εκτός αυτού, για να προκύψουν σταθερά γαλακτώματα, είτε επαλειφόμενου είτε κοπτόμενου τύπου, κυρίαρχο ρόλο παίζει και ο λόγος νερό/καζεϊνικό νάτριο. Σύμφωνα με την μελέτη μας, προέκυψε ότι ο λόγος αυτός για τον κοπτόμενο τύπο αναπληρωμάτων τυριού θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 2,85-3,60, ενώ για τον επαλειφόμενο 3,65-4,19. Γαλακτώματα είτε με συνολική υγρή φάση μεγαλύτερη από 84% είτε με λόγο νερό/καζεϊνικό νάτριο πάνω από 4,19 εμφανίζουν ασταθή ρευστή μορφή. Αντίθετα, γαλακτώματα είτε με συνολική υγρασία μικρότερη του 79,5 % είτε με λόγο νερό/καζεϊνικό νάτριο κάτω του 2,85 εμφανίζουν μη ομοιογενές μίγμα (διαχωρισμό δυο φάσεων).

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των τυριών που μελετήθηκαν και εξήχθησαν συμπεράσματα είναι το pH και η χρωματική παράμετρος  $a^*$ . Σχετικά με τη δεύτερη, τα δείγματα με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε νερό και ηλιέλαιο, εμφανίζουν περισσότερο αρνητική τιμή, με αποτέλεσμα να κυριαρχεί περισσότερο το πράσινο χρώμα. Όσον αφορά το pH, το καζεϊνικό νάτριο αυξάνει την τιμή του, ενώ το νερό και το ηλιέλαιο μειώνουν την τιμή του κάνοντας τα δείγματα πιο όξινα.

Οι μηχανικές ιδιότητες από την ανάλυση προφίλ υψής (TPA), για τις οποίες εξήχθησαν συμπεράσματα, ήταν η ευθραυστότητα, η σκληρότητα 1 και η σκληρότητα 2, το έργο επί του δείγματος κατά την πρώτη και δεύτερη συμπίεση, η κομμώδης υφή, η μασητικότητα και η εκτατότητα. Σε όλες τις ιδιότητες καθοριστικό ρόλο παίζει η περιεκτικότητα του τυριού σε καζεϊνικό νάτριο. Όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα των τυριών σε καζεϊνικό νάτριο, τόσο αυξάνονται και οι τιμές των μετρούμενων χαρακτηριστικών, με εξαίρεση την εκτατότητα που μειώνεται. Συμπερασματικά τα κοπτόμενα τυριά, τα οποία έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε καζεϊνικό νάτριο σε σύγκριση με τα επαλειφόμενα, παρουσιάζουν μεγαλύτερη σκληρότητα, έργο επί του δείγματος κατά τη συμπίεση και κομμώδη υφή σε σύγκριση με τα επαλειφόμενα τυριά. Να σημειωθεί, ότι η ευθραυστότητα και η μασητικότητα εμφανίζεται μόνο στον κοπτόμενο τύπο τυριού και η εκτατότητα μόνο στον επαλειφόμενο τύπο. Την αντίθετη δράση από αυτή του καζεϊνικού νατρίου έχει το νερό, του οποίου αύξηση της περιεκτικότητας οδηγεί σε μείωση των τιμών της ευθραυστότητας, της σκληρότητας, του έργου επί του δείγματος, της μασητικότητας και της κομμώδους υψής επειδή αυτό δρα ως πλαστικοποιητής. Όσον αφορά το ηλιέλαιο, ο ρόλος του δεν είναι ξεκάθαρος αφού επηρεάζει ελάχιστα τις μηχανικές ιδιότητες τυριών, άλλοτε θετικά όπως την εκτατότητα και άλλοτε έως και καθόλου όπως συμβαίνει με τις ιδιότητες της ευθραυστότητας, της σκληρότητας, του έργου επί του δείγματος, της μασητικότητας και της κομμώδους υψής.

Οι ρεολογικές ιδιότητες που μελετήθηκαν με τη μέθοδο της λιπαινόμενης συμπίεστης ροής είναι η δύναμη συμπίεσης και χαλάρωσης, καθώς και η φαινομενική τάση στο τέλος της



συμπύεσης (2mm) και στο τέλος της χαλάρωσης (3 min). Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν για όλες είναι το ίδιο. Συγκεκριμένα, όλες οι ρεολογικές ιδιότητες αυξάνονται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε καζεϊνικό νάτριο και μειώνονται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε νερό. Τέλος, η δράση του ηλιέλαιου είναι αμελητέα.

## 7.Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

- Η προσθήκη γευστικών, αρωματικών και χρωστικών ουσιών θα βελτιώσει τα προϊόντα από οργανοληπτική άποψη. Στα τελικά προϊόντα που θα προκύψουν μπορούν να πραγματοποιηθούν οργανοληπτικοί έλεγχοι, ώστε να διαπιστωθεί ποια σύσταση είναι η πλέον επιθυμητή, βάσει των κριτηρίων της οργανοληπτικής δοκιμής.
- Η προσθήκη σταθεροποιητών είναι μία πολύ καλή ιδέα, προκειμένου να ελεγχθούν τόσο η σταθερότητα των γαλακτωμάτων του τυριού όσο και οι πιθανές επιδράσεις έναντι των φυσικοχημικών, ρεολογικών και μηχανικών ιδιοτήτων.
- Μελέτη της σταθερότητας των δειγμάτων κατά τη διάρκεια του χρόνου.
- Προκειμένου τα αναπληρώματα τυριού να διατηρούνται σε συνθήκες ψύξης για μεγάλο χρονικό διάστημα, όπως συμβαίνει και στα κοινά αναπληρώματα τυριού του εμπορίου, καλό θα ήταν να γίνουν διάφορα πειράματα με κοινά συντηρητικά και μέσα από αυτά να καταλήξουν στην καλύτερη επιλογή αυτών. Η χρήση των συντηρητικών είναι ένα ευάλωτο θέμα που απασχολεί πολύ το καταναλωτικό κοινό, διότι πολλοί δεν επιζητούν τη χρήση τους. Για τον λόγο αυτό, η μικρή συγκέντρωση του συντηρητικού προκειμένου, όπως προαναφέρθηκε να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής τα αναπληρώματα και η επιλογή του κατάλληλου συντηρητικού είναι σίγουρα ένα από τα προτεινόμενα θέματα που θα πρέπει να απασχολήσει αυτούς που θα ασχοληθούν με την παρασκευή των συγκεκριμένων δειγμάτων.
- Επίσης, η διατηρησιμότητα των προϊόντων αυτών μπορεί να μελετηθεί και με μικροβιολογικούς ελέγχους, όσον αφορά το μικροβιακό φορτίο που πιθανόν να περιέχει και να μπορεί να προκαλέσει ενδεχόμενη αλλοίωση.
- Όπως αναφέρθηκε και στο θεωρητικό κομμάτι της εργασίας, διαφορετικοί τύποι φυτικού λίπους δίνουν διαφορετικά ρεολογικά και μηχανικά χαρακτηριστικά στα δείγματα τυριού. Ίσως η χρήση σογιέλαιου, φοινικέλαιου ή κάποιου άλλου είδους λαδιού να έδινε πιο ενδιαφέροντα αποτελέσματα για τον καταναλωτή και έτσι καλό θα ήταν να γίνουν κάποιες μελέτες ως προς αυτό, όπως αντίστοιχα και η αντικατάσταση του καζεϊνικού νατρίου με άλλες πρωτεΐνες, όπως πρωτεΐνες ορού γάλακτος ή πρωτεΐνες σόγιας.
- Τέλος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές συνθήκες κατά την ομογενοποίηση σε χρόνο, στροφές και θερμοκρασίες και να συγκριθούν οι φυσικοχημικές, οι μηχανικές και ρεολογικές ιδιότητες των νέων προϊόντων με αυτά της υπάρχουσας μελέτης.

## 8. Βιβλιογραφία

### Ελληνική

- Ανυφαντάκης, Ε.Μ. (1992). Μέθοδοι Εξετάσεως του Γάλακτος και των Προϊόντων του, Αθήνα. Σελ. 85–87.
- Κώδικας Τροφίμων - Ποτών (2009). Γενικό Χημείο του Κράτους, Ανώτατο Χημικό Συμβούλιο, Αθήνα
- Μάντης Α.Ι. (2005). Υγιεινή και τεχνολογία του γάλακτος και των προϊόντων του, Γ' έκδοση, Εκδόσεις Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη
- Πετρίδης Δ. (2016). Στατιστική με έμφαση στην επιστήμη τροφίμων, 4<sup>η</sup> έκδοση, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις: Back office
- Ραφαηλίδης Σ.Ν. (1987). Σημειώσεις Μηχανικής Τροφίμων 1. Α.Τ.Ε.Ι.Θ., Θεσσαλονίκη

### Ξενόγλωσση

- Abdel-Rahman M.A., Tashiro Y., Sonomoto K., (2013). Recent advances in lactic acid production by microbial fermentation processes, *Biotechnology Advances*, **31**, 877-902
- Abdullah B., Gürkan U., (2016). Cheese Analogues, *Journal of Food and Dairy Technology*, **4**, 44-47
- Alfred T., (2002). Fats and Fatty Oils, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim. Ανακτήθηκε από Doi:10.1002/14356007.a10\_173.
- AP-42, 9.6.1: Natural And Processed Cheese , *US EPA, July 1997*. Ανακτήθηκε από <https://www3.epa.gov>
- Arancibia C., Castro C., Jublot L., Costell E., Bayarri S., (2015). Colour, rheology, flavour release and sensory perception of dairy desserts. Influence of thickener and fat content, *LWT - Food Science and Technology*, **62**, 408-416.
- Awatif H.Y., Kamal A. A .R., Muna I.A., Awad E.G.T., (2015). Quality of mozzarella cheese as affected by levels of sun flower oil and storage period, *Journal of Nutrition*, **8**, 524-530
- Bachmann H.P.,(2001). Cheese analogues: a review, *International Dairy Journal*,**11**, 505-515
- Badet C., Thebaud N.B.,(2008).Ecology of Lactobacilli in the Oral Cavity :A Review of Literature, *The open microbiology journal*, **2**, 38-48.
- Berger W., Klostermeyer H., Merkenich, K., Uhlmann, G., (1989). Processed Cheese Manufacture: A Joha Guide. BK Ladenburg, Ladenburg.
- Branen A.L., Davidson P.M., Salminen S.,Thorngate J.H., (2002). Food additives., 2<sup>η</sup> έκδοση, 706-730, New York
- Calleros L.C., & Carter V.E.J.,(1998). Microstructure and texture of cheese analogs containing different types of fat. *Journal of Texture Studies*, **29**, 569–586
- Canovas B., Kokini, Ma, Ibarz, (1996). The rheology of semi liquid foods, *Advances in food and nutrition research*, **39**
- Caric M. & Kalab M., (1987).Processed cheese products. *Cheese: Chemistry, physics and microbiology*, **2**, 339-383. Ανακτήθηκε από : DOI 10.1007/978-1-4615-2648-3\_15

- Cen Z., Fengqin F., Hui Z.,(2018). Emulsion electrospinning: Fundamentals, food applications and prospects, *Trends in Food Science & Technology*, **80**, 175-186
- Chantrapornchai, W., Clydesdale, F. M., & McClement, D. J. (1998). Influence of droplet size and concentration on the color of oil-in-water emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **46**, 2914-2920
- Chavan R.S., Atanu J., (2007). Cheese substitutes: an alternative to natural cheese - A review, *International Journal of Food Science, Technology & Nutrition*, **2**, 25-39
- Chen J., Stokes J.R., (2012). Rheology and tribology: Two distinctive regimes of food texture sensation, *Trends in Food Science & Technology*, **25**, 4-12
- Cunha C.R., Dias A., I., Viotto W.H., (2010). Microstructure, texture, color and sensory evaluation of a spreadable processed cheese analogue made with vegetable fat, *Food Research International*, **43**, 723–729
- Daubert C.R, Foegeding E.A. (2003). Rheological principles for food analysis, *Food Analysis*, 541-554
- Dickinson E., Golding M. (1997). Rheology of sodium caseinate stabilized oil-in-water emulsions, *Journal of Colloid and Interface Science*, **191**, 166-176
- Dickinson E. (1999). Caseins in emulsions: interfacial properties and interactions, *International Dairy Journal*, **9**, 305-312
- Dijkstra A.J.,(2015). Oil Refining, *Sunflower*, 227-258.
- Dimitreli G., Thomareis A.S., (2008). Effect of chemical composition on the linear viscoelastic properties of spreadable-type processed cheese, *Journal of Food Engineering*, **84**, 368–374
- Dwyer S.P., O' Beirne D., Ní Eidhin D., O' Kennedy B.T. (2013). Effects of sodium caseinate concentration and storage conditions on the oxidative stability of oil-in-water emulsions, *Food Chemistry*, **138**, 1145–1152
- El-Bakry M. (2012). Salt in cheese: A review, *Current research in dairy sciences*, **4**, 1-5
- Es I., Khaneghah A.M., Barba F.J., Saraiva J.A., Santana A.S., Hashemi S.M.B., (2018). Recent advancements in lactic acid production - a review, *Food Research International*, **107**, 763-770.
- Fox F.P., (1984). *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, London and New York
- Fox P.F., Guinee T.P., Cogan, T.M., McSweeney P.L.H., (2000). Processed cheese and substitute or imitation cheese products. *Fundamentals of cheese science*, 589-627. Ανακτήθηκε από DOI: 10.1007/978-1-4899-7681-9\_17
- Fu W., Watanabe Y., Inoue K., Moriguchi N., Fusa K., Yanagisawa Y., Mutoh T., Nakamura T.,(2018). Effects of pre-cooked cheeses of different emulsifying conditions on mechanical properties and microstructure of processed cheese. *Food Chemistry*, **245**, 47-52.
- Garti, N. (1999). What can nature offer from an emulsifier point of view: trends and progress. *Colloids and Surfaces, Physicochemical and engineering aspects*, **152**, 125-146
- Ghosh B.C., Kulkarni S.,(1996). Low cholesterol Mozzarella cheese: technology standardization. *J. Food Sci. Technol.*, **33**, 488-492.
- Gouda A., Abou El-Nour A.,(2003). *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 2<sup>nd</sup> edition. Ανακτήθηκε από DOI: 10.1016/B0-12-227055-X/00204-2
- Guinee T.P., O'Callaghan D.G.,(1997). The use of a simple empirical method for objective quantification of the stretchability of cheese on cooked pizza pies. *Journal of Food Engineering*, **31**, 147-161.

- Guinee T.P., Caric M., Kalab M., (2004). Pasteurized Processed Cheese and Substitute/Imitation Cheese Products, *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, **2**, 349-394. Ανακτήθηκε από DOI: 10.1016/S1874-558X(04)80052-6
- Guinee T.P., (2009). The role of dairy ingredients in processed cheese products, *Dairy-Derived Ingredients*, 507-538. Ανακτήθηκε από DOI: 10.1533/9781845697198.3.507.
- Guinee T.P., (2016). Cheese Analogues, *Encyclopedia of Dairy Sciences*, 814-821
- Gwartney E.A., Foegeding, E.A., Larick, D.K. (2002). The texture of commercial full-fat and reduced-fat cheese, *Journal of Food Science*, **67**, 812-816.
- Gwartney E.A., Larick, D.K., Foegeding, E.A. (2004). Sensory texture and mechanical properties of stranded and particulate whey protein emulsion gels, *Journal of Food Science*, **69**, 333-339
- Gwartney E.A., Foegeding E.A., Larick D.K. (2006). The Texture of Commercial Full-Fat and Reduced-Fat Cheese, *Journal of Food Science*, **67**, 812-816
- Hennelly P.J., Dunne P.G., O'Sullivan M., O'Riordan D. (2005). Increasing the moisture content of imitation cheese: effects on texture, rheology and microstructure, *European Food Research and Technology*, **220**, 415-420
- Hosseini M., Najafi M.B.H., Mohebbi M. (2014). Modification in the functional properties of sodium caseinate-based imitation cheese through use of whey protein and stabilizer, *Journal of Agriculture Science Technology*, **16**, 1313-1324
- Jana A. H., Upadhyay K. G. (2003). Mozzarella cheese analogue: A review, *Journal of food science and technology*, **40**, 1-10
- Jana A. H. Patel H. G., Suneeta P., Prajapati J. P., (2009). Quality of casein based Mozzarella cheese analogue as affected by stabilizer blends, *J Food Sci Technol*, **47**, 240-242. Ανακτήθηκε από DOI: 10.1007/s13197-010-0034-0
- Johnson M.E., Kapoor R., McMahon D.J., McCoy D.R., Narasimmon R.G. (2009). Reduction of sodium and fat levels in natural and processed cheeses: scientific and technological aspects, *Comprehensive reviews in food science and food safety*, **8**, 252-267
- Joyner H.S., (2018). Explaining food texture through rheology, *Current Opinion in Food Science*, **21**, 7-14
- Kaminarides S., Stachtiaris S. (2000). Production of processed cheese using Kasseri cheese and processed cheese analogues incorporating whey protein concentrate and soybean oil. *International Journal of Dairy Technology*, **53**, 69-74.
- Kaminarides S., Kalogridis D., Massouras T., (2006). *Creation and quality characterization of processed cheeses derived mainly from Halloumi cheese*, **86**, 333-343. Ανακτήθηκε από DOI:10.1051
- Kapoor R., Metzger L.E. (2008). Process cheese: scientific and technological aspects - A review, *Comprehensive reviews in food science and food safety*, **7**
- Kealy T., (2006). Application of liquid and solid rheological technologies to the textural characterisation of semi-solid foods. *Food Research International*, **39**, 265-276
- Kennedy B.T.O., (2008). Raw material selection: dairy ingredients, *Chilled Foods*, 3<sup>rd</sup> edition, 42-60. Ανακτήθηκε από DOI : 10.1533/9781845694883.1.42
- Kosikowski, F.V., Mistry, V.V., (1997). Process cheese and related products in: *Cheese and fermented milk foods*, 3<sup>rd</sup> Ed., USA.
- Lee S.L., Klostermeyer H., (2001). The effect of pH on the rheological properties of reduced-fat, Model processed cheese spreads, *Food Science and Technology*, **34**, 288-292.

- Lee S.K., Anema S., Klostermeyer H., (2004). The influence of moisture content on the rheological properties of processed cheese spreads, *International journal of food science & Technology*, **39**, 763–771
- Lissant, K. J. (1974). Food emulsions and emulsion technology, *Marcel Dekker*, 253 – 258, New York
- Liu J., Han B., Deng S., Sun S., Chen J.,(2018). Changes in proteases and chemical compounds in the exterior and interior of sufu, a Chinese fermented soybean food, during manufacture. *LWT*, **87**, 210-216.
- Luyten H. (1988). The rheological and fracture properties of Gouda cheese, Wageningen Agricultural university, The Netherlands
- Masotti F., Cattaneo S., Stuknyte M., De Noni I.,(2018). Status and developments in analogue cheese formulations and functionalities, *Trends in Food Science & Technology*, **74**, 158-169
- McClements D.J. (1999). Molecular interactions, Colloidal interactions, Interfacial properties and their characterization, Emulsion stability, Emulsion Rheology. In: Food Emulsions: Principles, Practice and Techniques, London, New York, Boca Raton, Washington, CRC Press
- McClements D.J.,(2005).Food Emulsions :Principles, practice and techniques, In:Emulsion stability, 2<sup>η</sup> έκδοση, 265-335, Λονδίνο
- Meyer A. (1973), In *processed cheese manufacture*, London
- Miralles B., Krause I., Ramos M., Amigo L.,(2006). Comparison of capillary electrophoresis and isoelectric focusing for analysis of casein/caseinate addition in processed cheeses, *International Dairy Journal*, **16**, 1448-1453.
- Moreira T.C.P., Pereira R.N., Vicente A.A., Da Cunha R.L.,(2018). Effect of Ohmic heating on functionality of sodium caseinate – A relationship with protein gelation, *Food Research International*. Ανακτήθηκε από : <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.087>
- Mounsey J.S., Riordan E.D., (2001). Characteristics of imitation cheese containing native starches, *Food Hydrocolloids*, **22**, 1160-1169
- Nogueira de Oliveira M., Ustunol Z., Tamime A.Y. (2011). Manufacturing practices of processed cheese in: Processed cheese and analogues. Tamime A.Y., editor, Wiley – Blackwell, Chichester, Ames.
- Pereira, R.B., Bennet, R.J., Hemar, Y., Campanella, O.H. (2001). Rheological and microstructural characteristics of model processed cheese analogues, *Journal of Texture Studies*, **32**, 349-373
- Pomeranz Y., Meloan C.E. (1994), *Food Analysis, Theory and Practice*. Chapman & Hall, third edition
- Robins M.M.,(2000). Emulsions — creaming phenomena. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, **5**, 265-272.
- Robins M.M., Watson A.D., Wilde P.J.,(2002). Emulsions—creaming and rheology. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, **7**, 419-425.
- Schutyser M.A.I., Houlder S., De Wit M., Buijsse C.A.P., Alting A.C., (2018). Fused deposition modelling of sodium caseinate dispersions, *Journal of Food Engineering*, **220**, 49-55.
- Shukla A., Rizvi S.S.H., Bartsch J.A. (1995). Rheological characterization of butter using lubricated squeezing flow, *Journal of Texture Studies*, **26**, 313-323
- Spreer E. 1998. *Milk and Dairy Product Technology*. New York: Marcel Dekker, Inc, 319-328.

- Stampanoni C.R., Noble A.C. (1991). The influence of fat, acid, and salt on the temporal perception of firmness, saltiness and sourness of cheese analogs. *J. Texture Stud.*, **22**, 381–392
- Steffe J.F. (1996). Rheological methods in food process engineering, *Freeman Press*, USA
- Strohmaier W., Klostermeyer, H., Deuritz P., Windhap E. (1991). Comparison of different methods to determine the spreadability and firmness of processed cheese, *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung*, **194**, 531-535.
- Subramanian R., Gunasekaran S. (1997). Small amplitude oscillatory shear studies on mozzarella cheese PART I: Region of linear viscoelasticity, *Journal of Texture Studies*, **28**, 633-642
- Subramanian, R., Muthukumarappan, K and Gunasekaran, S. (2006), Linear viscoelastic properties of regular and reduced fat pasteurized process cheese during heating and cooling, *International Journal of Food Properties*, **9**, 377-393
- Taha A., Hu T., Zhang Z., Bakry A.M., Khalifa I., Pan S., Hu H.,(2018). Effect of different oils and ultrasound emulsification conditions on the physicochemical properties of emulsions stabilized by soy protein isolate, *Ultrasonics Sonochemistry*, **49**, 283-293.
- Talbot-Walsh G., Kannar D., Cordelia Selomulya C.,(2018). A review on technological parameters and recent advances in the fortification of processed cheese. *Trends in Food Science & Technology*, **81**,193-202
- Tan H.L., McGrath K.M.,(2012). Na-caseinate/oil/water systems: Emulsion morphology diagrams, *Journal of Colloid and Interface Science*, **381**, 48–58
- Terpstra M.E.J., Janssen A.M., Van Der Lindene E. (2007), Exploring Imperfect Squeezing Flow Measurements in a Teflon Geometry for Semisolid Foods, *Journal of Food Science*, **72**, 492-502
- Tn H.L., McGrath K.M.,(2012). Na-caseinate/oil/water systems: Emulsion morphology diagrams, *Journal of Colloid and Interface Science*, **381**,48–58
- U.S. Code of Federal Regulations Title 21 (Food and Drugs) Article 133 (Cheeses and Cheese Related Products).
- Velasco L., Ruiz-Mendez M.V.,(2015). Sunflower Oil Minor Constituents, *Sunflower*, 297-329.
- Verkempinck S.H.E., Kyomugasho C., Salvia-Trujillo L., Denis S., Bourgeois M., Van Loey A.M., Hendrickx M.E., Grauwet T.,(2018). Emulsion stabilizing properties of citrus pectin and its interactions with conventional emulsifiers in oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*, **85**, 144-157
- Walstra P., Wouters J. T. M., & Geurts, T. J. (2006). Dairy Science and Technology (2nd edn.). Boca Raton, FL, USA: Taylor & Francis, CRC Press.
- Wang D., Fan W., Guan Y., Huang H., Yi T., Ji J.,(2018). Oxidative stability of sunflower oil flavored by essential oil from *Coriandrum sativum* L. during accelerated storage, *LWT*, **98**, 268-275.
- Ye A., Hewitt S. (2008). Phase structures impact the rheological properties of rennet-casein-based imitation cheese containing starch, *Food Hydrocolloids*, **23**, 867-873
- Žilić S., Barać, M., Pešić, M., Crevar, M., Stanojević, S., Nišavić, A., Saratlić, G., Tolimir, M. (2010). Characterization of sunflower seed and kernel proteins , *Helia*, **33**, Nr. 52, 103-114. Ανακτήθηκε από: DOI: 10.2298/HEL1052103Z

## Ηλεκτρονική

- <http://www.astephan.de>
- <http://www.food-info.net>
- <https://food.ndtv.com>
- <http://library.tee.gr>
- <https://www.linguee.com>
- <https://repository.kallipos.gr>
- [www.agro.auth.gr](http://www.agro.auth.gr)
- [www.canr.msu.edu](http://www.canr.msu.edu)
- [www.fao.gr](http://www.fao.gr) or UN Food & Agriculture Organisation (FAO)
- [www.greekgoldoils.gr](http://www.greekgoldoils.gr)
- [www.hannacan.com](http://www.hannacan.com)
- [www.hunterlab.com](http://www.hunterlab.com)
- [www.labmakelaar.com](http://www.labmakelaar.com)
- [www.masontechnology.ie](http://www.masontechnology.ie)
- [www.mednutrition.gr](http://www.mednutrition.gr)
- [www.polyhealth.gr](http://www.polyhealth.gr)



## Παράρτημα Α : Εφαρμογή της Πολλαπλής Παλινδρόμησης στα συστατικά και στις μεταβλητές των φυσικοχημικών και ρεολογικών ιδιοτήτων.

### A1:Regression for Mixtures: pH versus λάδι; καζεϊνικό νάτριο; νερό

#### Σημαντικότητα συντελεστών παλινδρόμησης

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
λάδι	2,731	0,5771	*	*	39,83
καζεϊνικό νάτριο	14,306	1,5549	*	*	96,86
νερό	3,528	0,4420	*	*	99,53

S = 0,123387      PRESS = 0,433706  
**R-Sq = 66,12%**      **R-Sq(pred) = 54,04%**      R-Sq(adj) = 62,89%

#### Ανάλυση διακύμανσης

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	0,623970	0,623970	0,311985	20,49	<b>0,000</b>
Linear	2	0,623970	0,623970	0,311985	20,49	<b>0,000</b>
Residual Error	21	0,319713	0,319713	0,015224		
Total	23	0,943683				

#### Συντελεστές παλινδρόμησης

Term	Coef
<b>λάδι</b>	<b>0,0280146</b>
<b>καζεϊνικό νάτριο</b>	<b>0,146730</b>
<b>νερό</b>	<b>0,0361837</b>

### A2:Regression for Mixtures: a\* versus λάδι; καζεϊνικό νάτριο; νερό

#### Σημαντικότητα συντελεστών παλινδρόμησης

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
λάδι	-4,809	1,379	*	*	39,83
καζεϊνικό νάτριο	19,040	3,717	*	*	96,86
νερό	-5,049	1,057	*	*	99,53

S = 0,294952      PRESS = 2,35830  
**R-Sq = 59,40%**      **R-Sq(pred) = 47,59%**      R-Sq(adj) = 55,53%

#### Ανάλυση διακύμανσης

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	2,67266	2,67266	1,33633	15,36	<b>0,000</b>
Linear	2	2,67266	2,67266	1,33633	15,36	<b>0,000</b>
Residual Error	21	1,82693	1,82693	0,08700		
Total	23	4,49960				

#### Συντελεστές παλινδρόμησης

Term	Coef
<b>λάδι</b>	<b>-0,0493234</b>
<b>καζεϊνικό νάτριο</b>	<b>0,195286</b>
<b>νερό</b>	<b>-0,0517852</b>

### A3:Regression for Mixtures: B (N) versus λάδι; καζεϊνικό νάτριο; νερό

#### Σημαντικότητα συντελεστών παλινδρόμησης

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
λάδι	13,57	11,08	*	*	48,14
καζεϊνικό νάτριο	149,81	42,54	*	*	275,51
νερό	-40,43	10,81	*	*	192,12

S = 1,51199      PRESS = 37,4336  
**R-Sq = 70,14%**    **R-Sq(pred) = 55,67%**    R-Sq(adj) = 63,50%

#### Ανάλυση διακύμανσης

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	48,3275	48,3275	24,1638	10,57	<b>0,004</b>
Linear	2	48,3275	48,3275	24,1638	10,57	<b>0,004</b>
Residual Error	9	20,5750	20,5750	2,2861		
Total	11	68,9025				

#### Συντελεστές παλινδρόμησης

Term	Coef
<b>λάδι</b>	<b>0,139205</b>
<b>καζεϊνικό νάτριο</b>	<b>1,53648</b>
<b>νερό</b>	<b>-0,414689</b>

### A4:Regression for Mixtures: H1(N) versus λάδι; καζεϊνικό νάτριο; νερό

#### Σημαντικότητα συντελεστών παλινδρόμησης

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
λάδι	-18,5	25,73	*	*	39,83
καζεϊνικό νάτριο	878,8	69,33	*	*	96,86
νερό	-204,0	19,71	*	*	99,53

S = 5,50139      PRESS = 828,534  
**R-Sq = 88,36%**    **R-Sq(pred) = 84,83%**    R-Sq(adj) = 87,25%

#### Ανάλυση διακύμανσης

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	4824,64	4824,64	2412,32	79,71	<b>0,000</b>
Linear	2	4824,64	4824,64	2412,32	79,71	<b>0,000</b>
Residual Error	21	635,57	635,57	30,27		
Total	23	5460,21				

#### Συντελεστές παλινδρόμησης

Term	Coef
<b>λάδι</b>	<b>-0,189239</b>
<b>καζεϊνικό νάτριο</b>	<b>9,01326</b>
<b>νερό</b>	<b>-2,09229</b>

### A5:Regression for Mixtures: H2(N) versus λάδι; καζεϊνικό νάτριο; νερό

#### Σημαντικότητα συντελεστών παλινδρόμησης

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
λάδι	-21,5	19,34	*	*	39,83
καζεϊνικό νάτριο	711,6	52,12	*	*	96,86
νερό	-162,8	14,82	*	*	99,53

S = 4,13602      PRESS = 487,314  
**R-Sq = 89,74%**    **R-Sq(pred) = 86,08%**    R-Sq(adj) = 88,76%

#### Ανάλυση διακύμανσης

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	3140,72	3140,72	1570,36	91,80	<b>0,000</b>
Linear	2	3140,72	3140,72	1570,36	91,80	<b>0,000</b>
Residual Error	21	359,24	359,24	17,11		
Total	23	3499,96				

#### Συντελεστές παλινδρόμησης

Term	Coef
λάδι	<b>-0,220597</b>
καζεϊνικό νάτριο	<b>7,29798</b>
νερό	<b>-1,67002</b>

### A6:Regression for Mixtures: A1(J) versus λάδι; καζεϊνικό νάτριο; νερό

#### Σημαντικότητα συντελεστών παλινδρόμησης

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
λάδι	-0,1722	0,10172	*	*	39,83
καζεϊνικό νάτριο	3,7763	0,27408	*	*	96,86
νερό	-0,8236	0,07791	*	*	99,53

S = 0,0217492    PRESS = 0,0137354  
**R-Sq = 89,74%**    **R-Sq(pred) = 85,82%**    R-Sq(adj) = 88,77%

#### Ανάλυση διακύμανσης

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	0,086927	0,086927	0,043463	91,88	<b>0,000</b>
Linear	2	0,086927	0,086927	0,043463	91,88	<b>0,000</b>
Residual Error	21	0,009934	0,009934	0,000473		
Total	23	0,096860				

#### Συντελεστές παλινδρόμησης

Term	Coef
λάδι	<b>-0,00176600</b>
καζεϊνικό νάτριο	<b>0,0387312</b>
νερό	<b>-0,00844717</b>

### A7:Regression for Mixtures: A2(J) versus λάδι; καζεϊνικό νάτριο; νερό

#### Σημαντικότητα συντελεστών παλινδρόμησης

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
λάδι	-0,0152	0,01747	*	*	39,83
καζεϊνικό νάτριο	0,6302	0,04708	*	*	96,86
νερό	-0,1446	0,01338	*	*	99,53

S = 0,00373567    PRESS = 0,000371215  
**R-Sq = 89,38%**    **R-Sq(pred) = 86,55%**    R-Sq(adj) = 88,37%

#### Ανάλυση διακύμανσης

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	0,002468	0,002468	0,001234	88,42	<b>0,000</b>
Linear	2	0,002468	0,002468	0,001234	88,42	<b>0,000</b>
Residual Error	21	0,000293	0,000293	0,000014		
Total	23	0,002761				

#### Συντελεστές παλινδρόμησης

Term	Coef
λάδι	<b>-1,55942E-04</b>
καζεϊνικό νάτριο	<b>0,00646317</b>

νερό -0,00148291

## A8:Regression for Mixtures: S2(m) versus λάδι; καζεϊνικό νάτριο; νερό

### Σημαντικότητα συντελεστών παλινδρόμησης

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
λάδι	0,0362	0,006539	*	*	43,54
καζεϊνικό νάτριο	-0,1925	0,041589	*	*	499,28
νερό	0,0417	0,010418	*	*	478,59

S = 0,000952430 PRESS = 0,0000151508  
R-Sq = 80,27% R-Sq(pred) = 63,38% R-Sq(adj) = 75,88%

### Ανάλυση διακύμανσης

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	0,000033	0,000033	0,000017	18,31	0,001
Linear	2	0,000033	0,000033	0,000017	18,31	0,001
Residual Error	9	0,000008	0,000008	0,000001		
Total	11	0,000041				

### Συντελεστές παλινδρόμησης

Term	Coef
λάδι	0,000370871
καζεϊνικό νάτριο	-0,00197479
νερό	0,000427587

## A9:Regression for Mixtures: G (N) versus λάδι; καζεϊνικό νάτριο; νερό

### Σημαντικότητα συντελεστών παλινδρόμησης

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
λάδι	-1,42	4,999	*	*	39,83
καζεϊνικό νάτριο	141,11	13,471	*	*	96,86
νερό	-33,52	3,829	*	*	99,53

S = 1,06895 PRESS = 29,8605  
R-Sq = 84,00% R-Sq(pred) = 80,09% R-Sq(adj) = 82,48%

### Ανάλυση διακύμανσης

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	125,981	125,981	62,9905	55,13	0,000
Linear	2	125,981	125,981	62,9905	55,13	0,000
Residual Error	21	23,996	23,996	1,1427		
Total	23	149,977				

### Συντελεστές παλινδρόμησης

Term	Coef
λάδι	-0,0145468
καζεϊνικό νάτριο	1,44729
νερό	-0,343814

## A10:Regression for Mixtures: K (J) versus λάδι; καζεϊνικό νάτριο; νερό

### Σημαντικότητα συντελεστών παλινδρόμησης

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
λάδι	0,0371	0,04259	*	*	48,14
καζεϊνικό νάτριο	0,4520	0,16357	*	*	275,51
νερό	-0,1189	0,04158	*	*	192,12

S = 0,00581383 PRESS = 0,000478839  
**R-Sq = 57,86%** **R-Sq(pred) = 33,67%** R-Sq(adj) = 48,50%

#### Ανάλυση διακύμανσης

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	0,000418	0,000418	0,000209	6,18	<b>0,020</b>
Linear	2	0,000418	0,000418	0,000209	6,18	<b>0,020</b>
Residual Error	9	0,000304	0,000304	0,000034		
Total	11	0,000722				

#### Συντελεστές παλινδρόμησης

Term	Coef
<b>λάδι</b>	<b>0,000380179</b>
<b>καζεϊνικό νάτριο</b>	<b>0,00463639</b>
<b>νερό</b>	<b>-0,00121963</b>

### A11:Regression for Mixtures: Fo (N) versus λάδι; καζεϊνικό νάτριο; νερό

#### Σημαντικότητα συντελεστών παλινδρόμησης

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
λάδι	-475	257,5	*	*	39,83
καζεϊνικό νάτριο	7623	693,8	*	*	96,86
νερό	-1583	197,2	*	*	99,53

S = 55,0560 PRESS = 78321,1  
**R-Sq = 84,61%** **R-Sq(pred) = 81,07%** R-Sq(adj) = 83,15%

#### Ανάλυση διακύμανσης

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	350012	350012	175006	57,74	<b>0,000</b>
Linear	2	350012	350012	175006	57,74	<b>0,000</b>
Residual Error	21	63654	63654	3031		
Total	23	413666				

#### Συντελεστές παλινδρόμησης

Term	Coef
<b>λάδι</b>	<b>-4,87100</b>
<b>καζεϊνικό νάτριο</b>	<b>78,1797</b>
<b>νερό</b>	<b>-16,2364</b>

### A12:Regression for Mixtures: F3 (N) versus λάδι; καζεϊνικό νάτριο; νερό

#### Σημαντικότητα συντελεστών παλινδρόμησης

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
λάδι	-286,4	175,6	*	*	39,83
καζεϊνικό νάτριο	4594,3	473,2	*	*	96,86
νερό	-971,8	134,5	*	*	99,53

S = 37,5512 PRESS = 36672,0  
**R-Sq = 81,19%** **R-Sq(pred) = 76,71%** R-Sq(adj) = 79,40%

#### Ανάλυση διακύμανσης

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	127833	127833	63916,6	45,33	<b>0,000</b>
Linear	2	127833	127833	63916,6	45,33	<b>0,000</b>
Residual Error	21	29612	29612	1410,1		
Total	23	157445				

### Συντελεστές παλινδρόμησης

Term	Coef
λάδι	-2,93743
καζεϊνικό νάτριο	47,1208
νερό	-9,96711

### A13:Regression for Mixtures: Fo/A (Pa) versus λάδι; καζεϊνικό νάτριο; νερό

#### Σημαντικότητα συντελεστών παλινδρόμησης

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
λάδι	-54972	29012	*	*	39,83
καζεϊνικό νάτριο	944933	78171	*	*	96,86
νερό	-200581	22222	*	*	99,53

S = 6203,24 PRESS = 975433534  
R-Sq = 87,00% R-Sq(pred) = 84,31% R-Sq(adj) = 85,76%

#### Ανάλυση διακύμανσης

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	5407438637	5407438637	2703719319	70,26	0,000
Linear	2	5407438637	5407438637	2703719319	70,26	0,000
Residual Error	21	808083515	808083515	38480167		
Total	23	6215522153				

### Συντελεστές παλινδρόμησης

Term	Coef
λάδι	-563,816
καζεϊνικό νάτριο	9691,62
νερό	-2057,24

### A14:Regression for Mixtures: F3/A (Pa) versus λάδι; καζεϊνικό νάτριο; νερό

#### Σημαντικότητα συντελεστών παλινδρόμησης

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
λάδι	-31716	18625	*	*	39,83
καζεϊνικό νάτριο	566933	50183	*	*	96,86
νερό	-122962	14266	*	*	99,53

S = 3982,23 PRESS = 407269240  
R-Sq = 85,47% R-Sq(pred) = 82,23% R-Sq(adj) = 84,08%

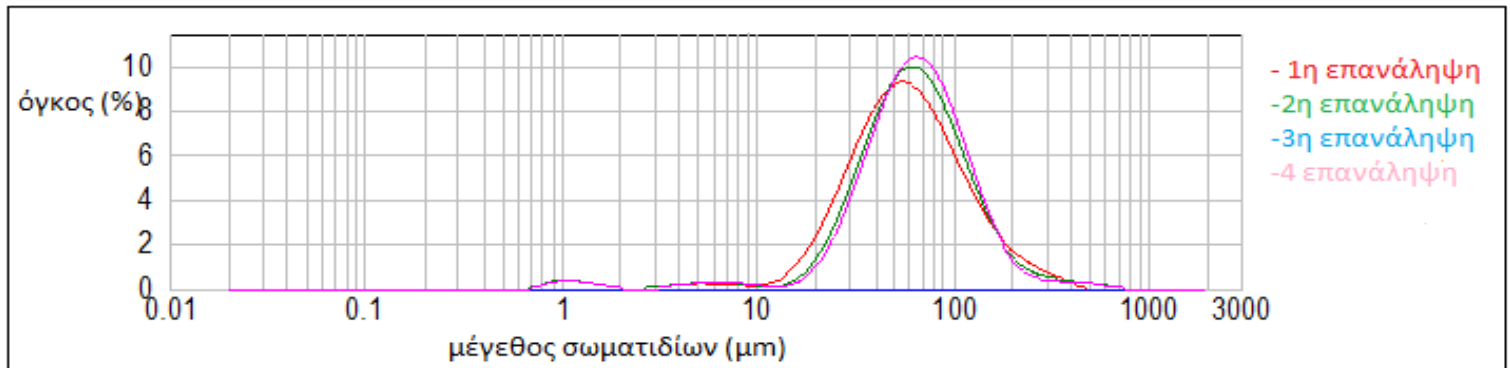
#### Ανάλυση διακύμανσης

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	1958657981	1958657981	979328990	61,76	0,000
Linear	2	1958657981	1958657981	979328990	61,76	0,000
Residual Error	21	333020436	333020436	15858116		
Total	23	2291678417				

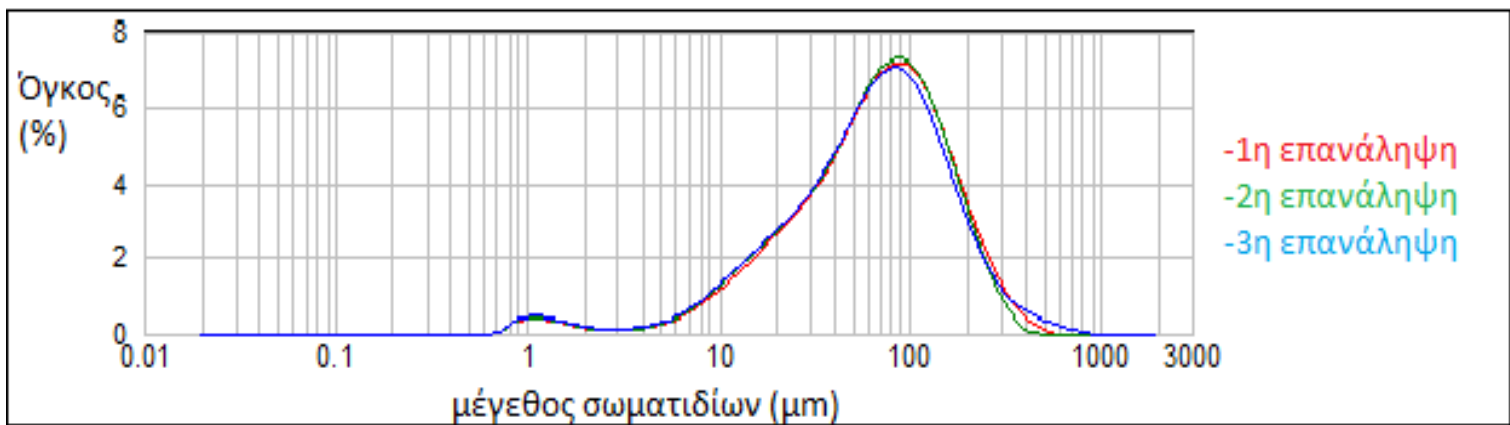
### Συντελεστές παλινδρόμησης

Term	Coef
λάδι	-325,294
καζεϊνικό νάτριο	5814,70
νερό	-1261,15

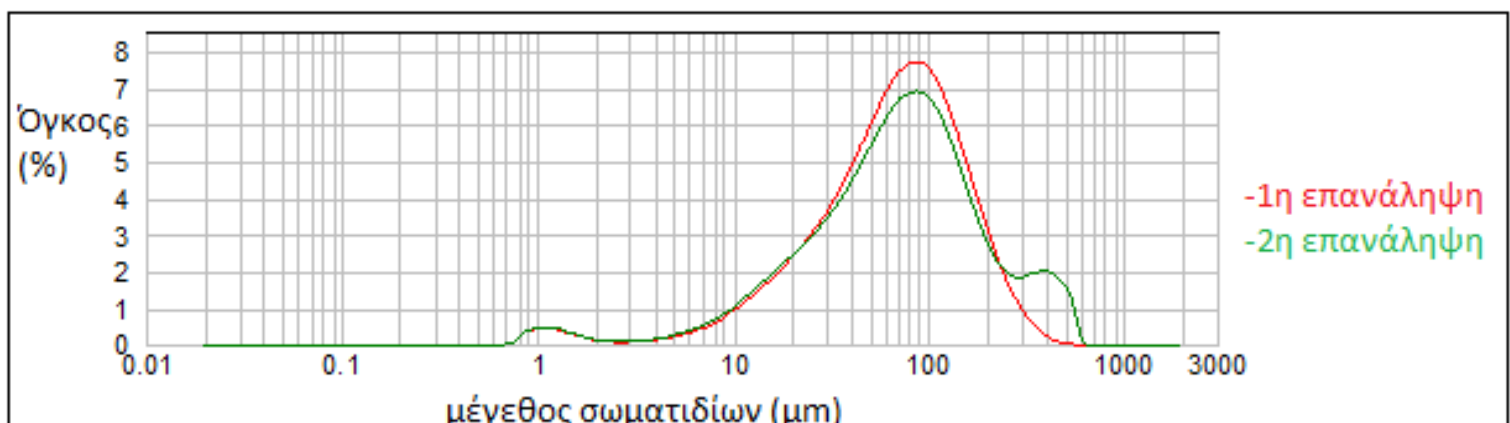
## Παράρτημα Β: Γραφήματα κατανομής μεγέθους λιποσφαιρίων (από Mastersizer)



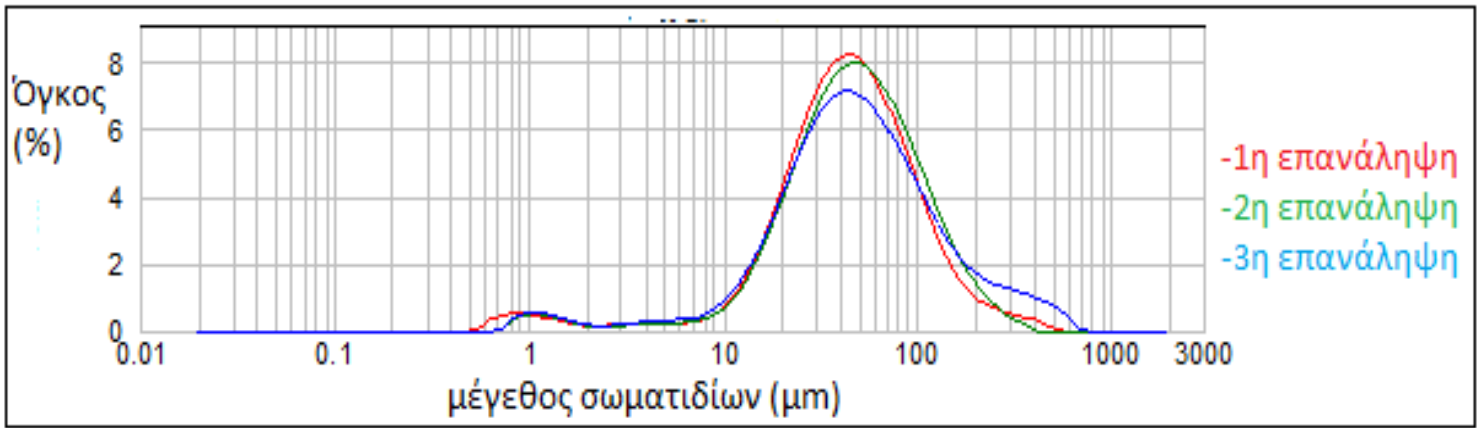
Σχήμα 54: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 1.



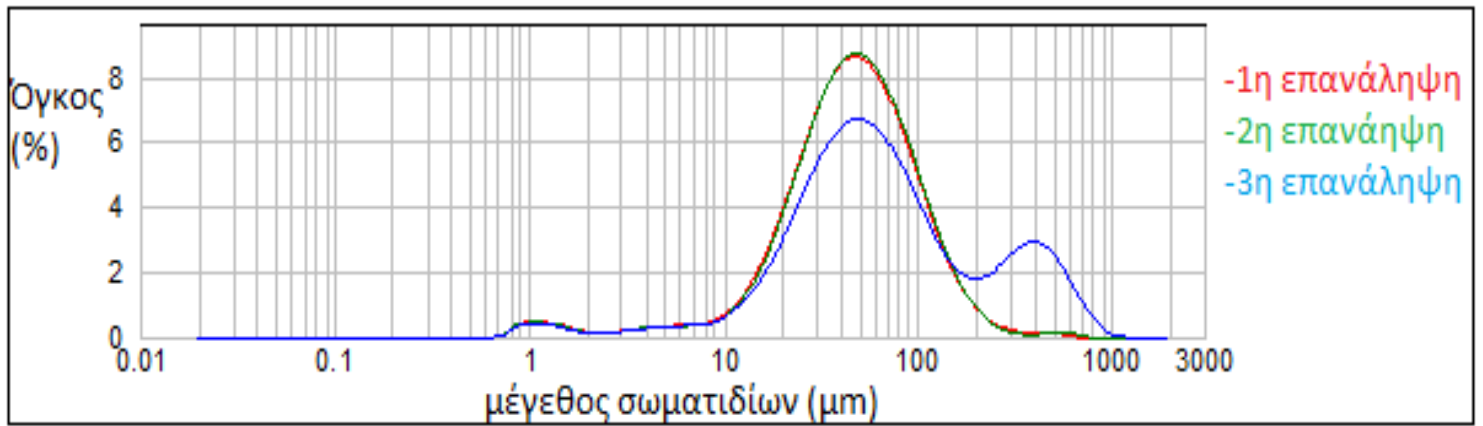
Σχήμα 55: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 2.



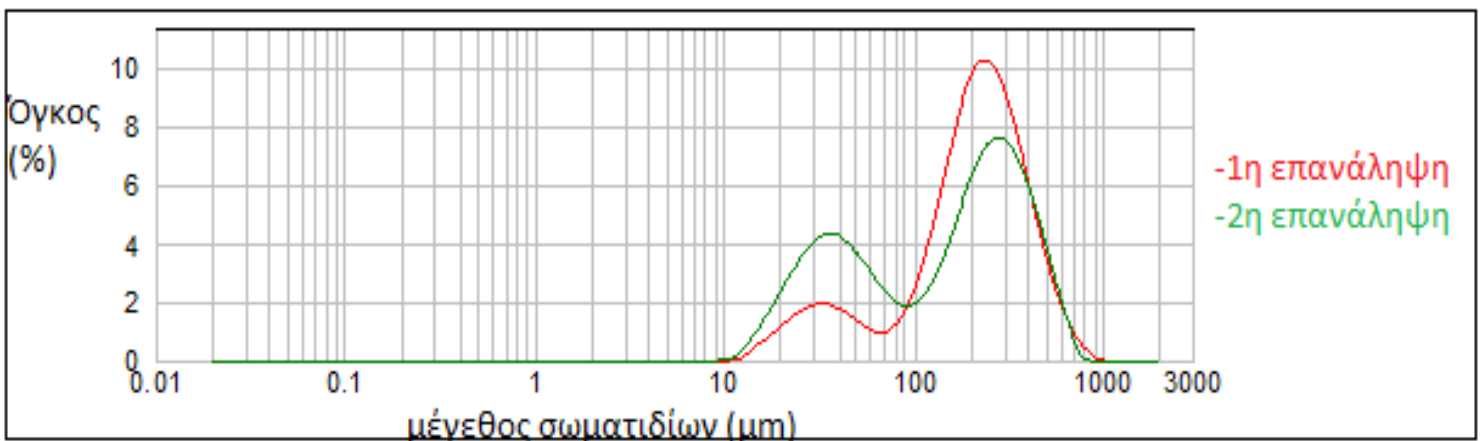
Σχήμα 56: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 3.



Σχήμα 57: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 4.

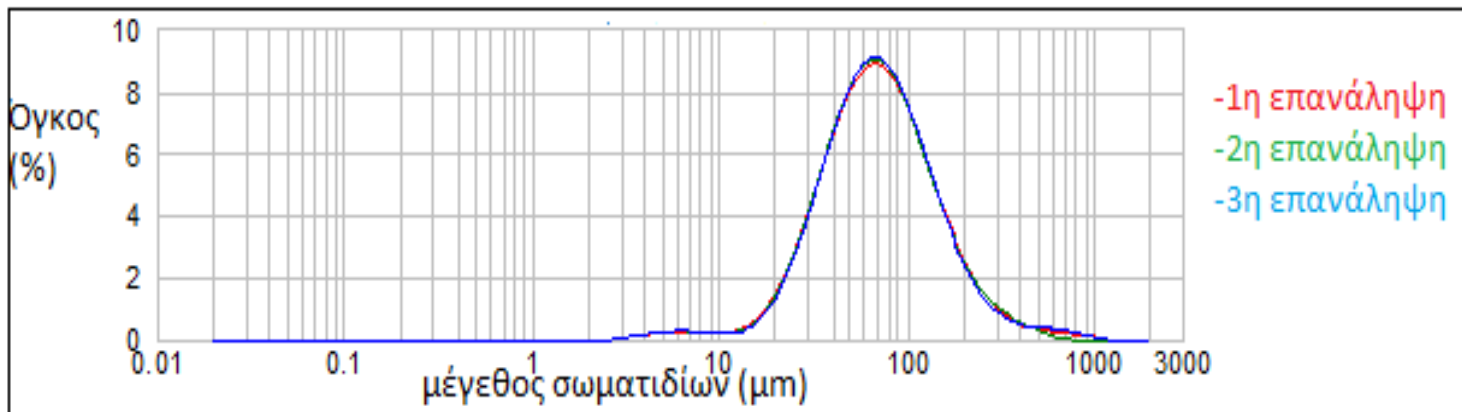


Σχήμα 58: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 5.

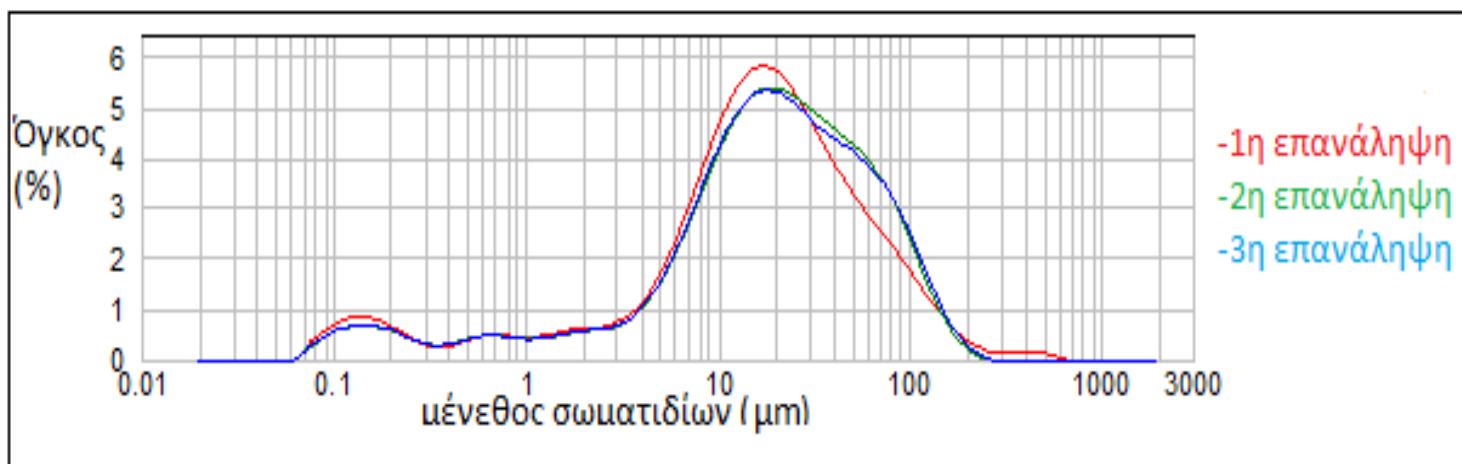


Σχήμα 59: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 6.

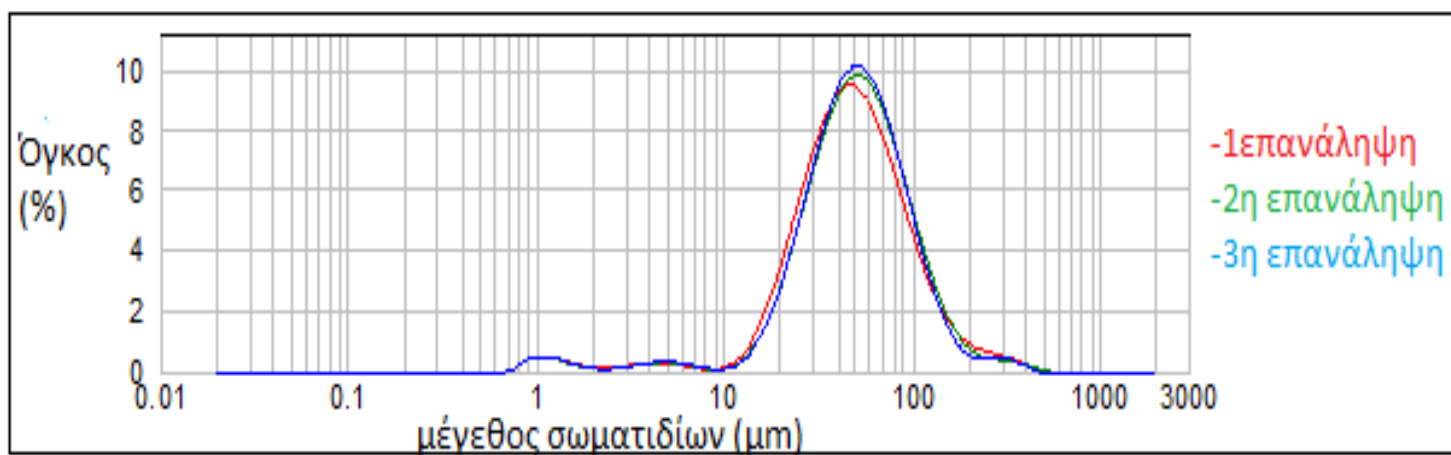




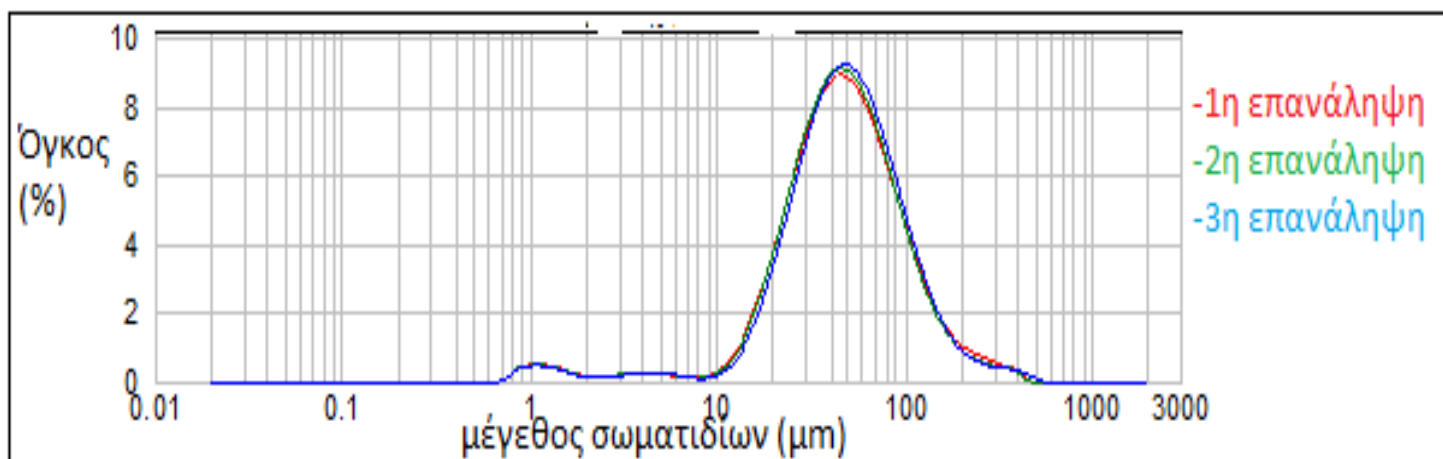
Σχήμα 60: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 7.



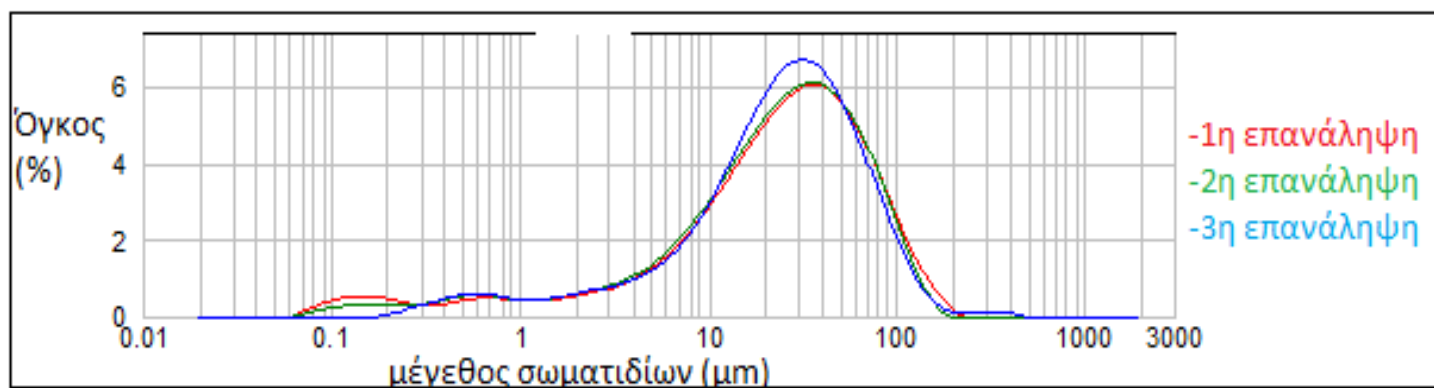
Σχήμα 61: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 8.



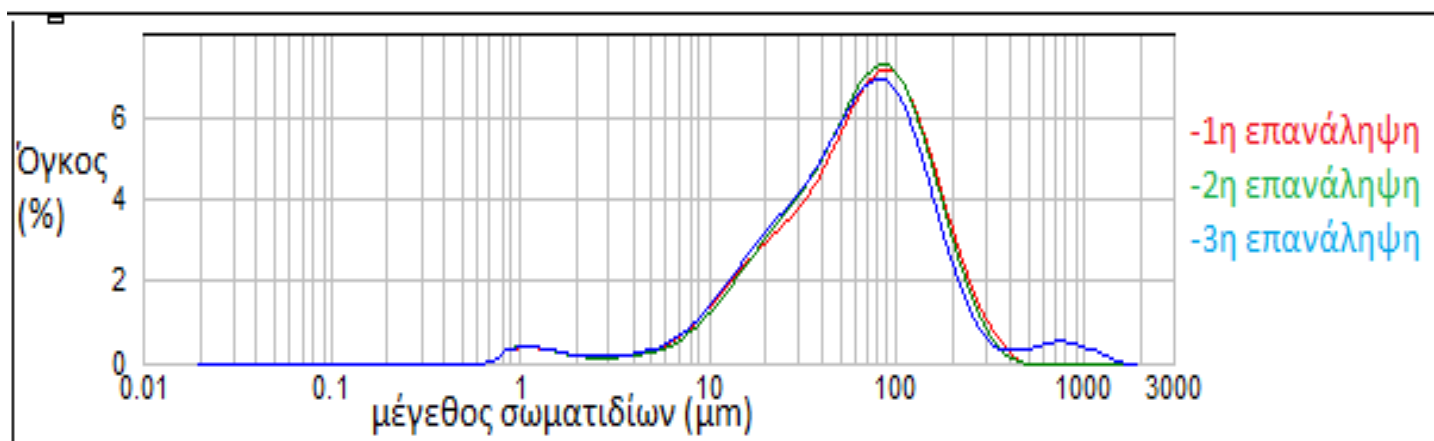
Σχήμα 62: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 9.



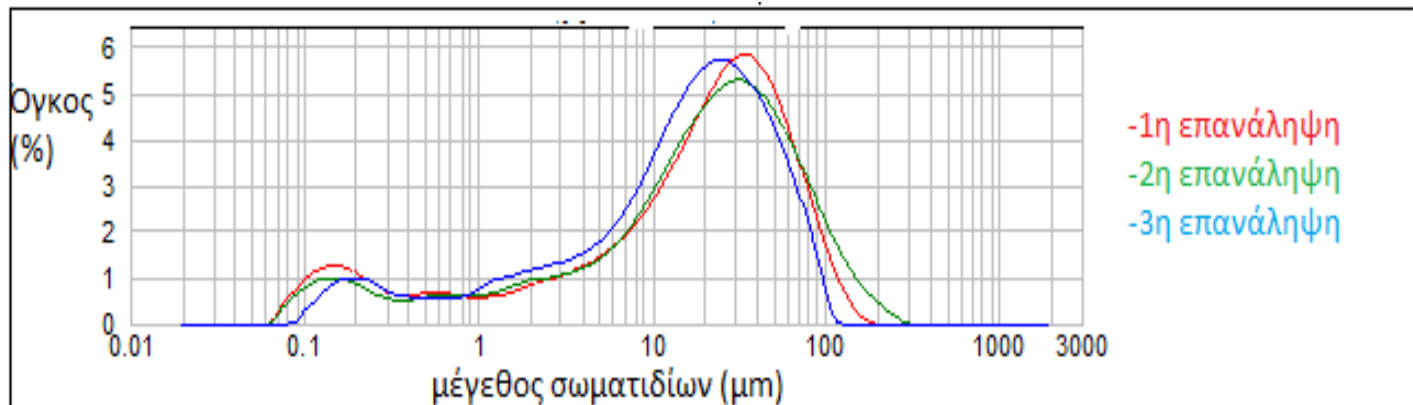
Σχήμα 63: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 10.



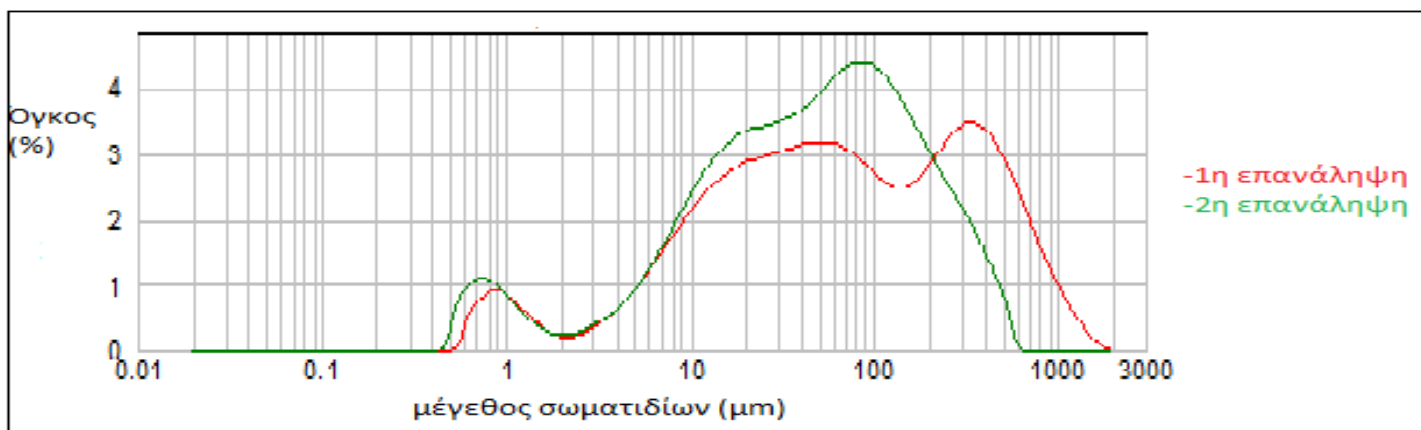
Σχήμα 64: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 11.



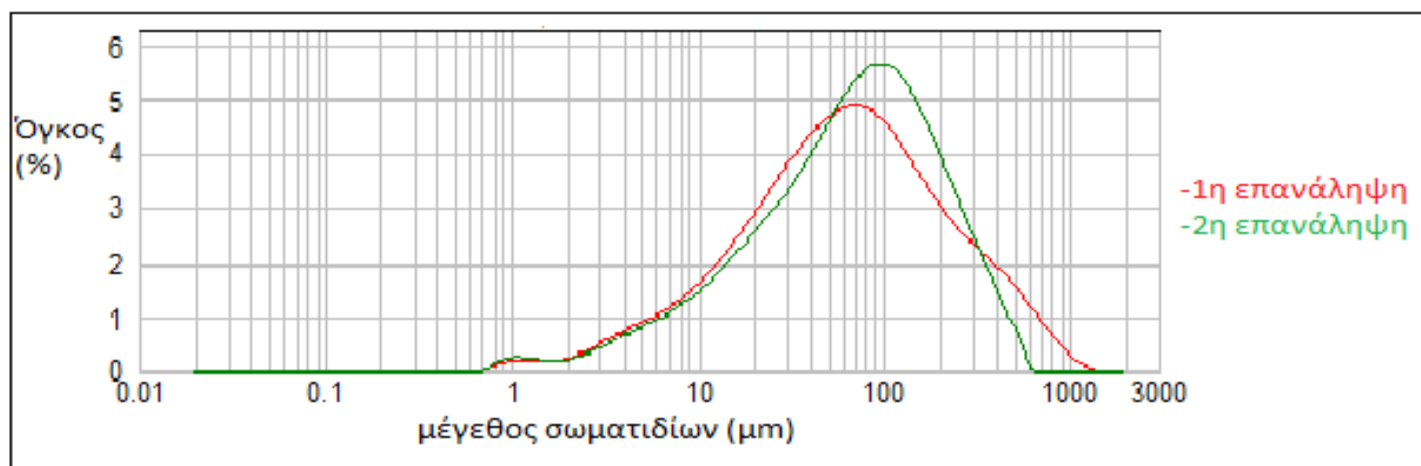
Σχήμα 65: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 12.



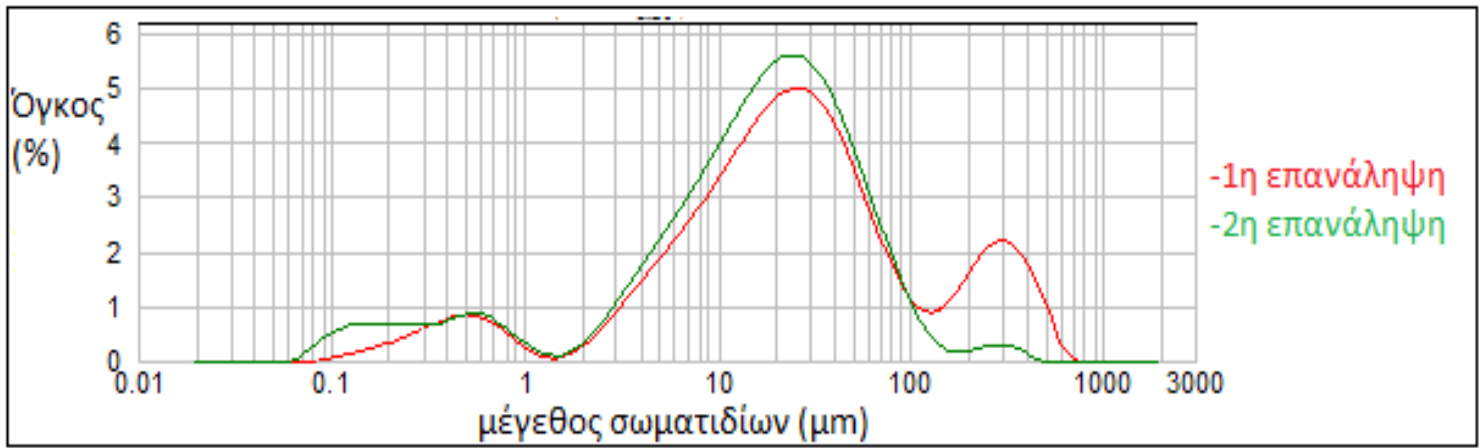
Σχήμα 66: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 13.



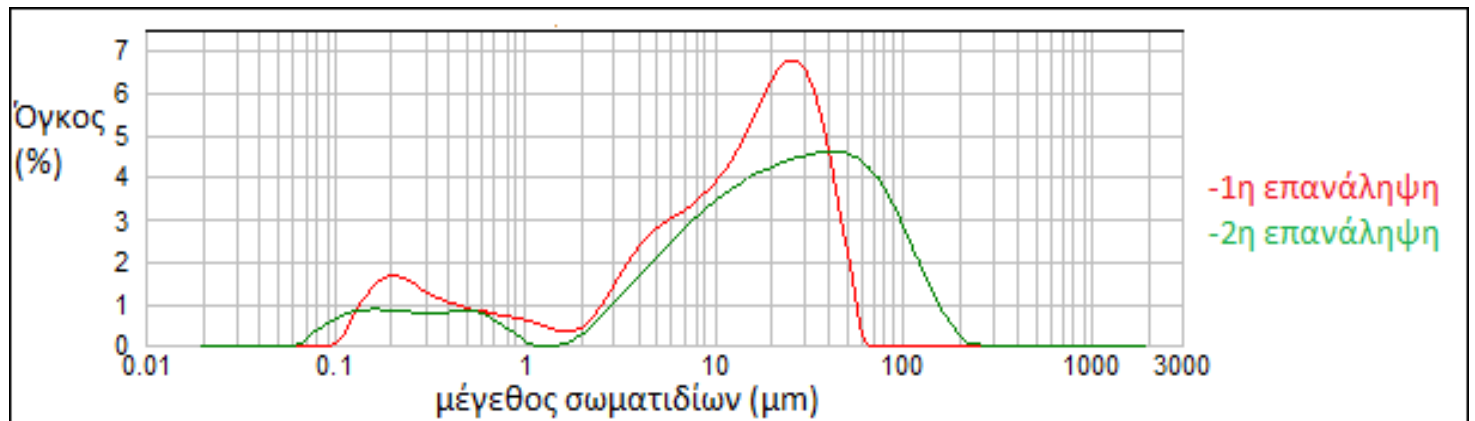
Σχήμα 67: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 14.



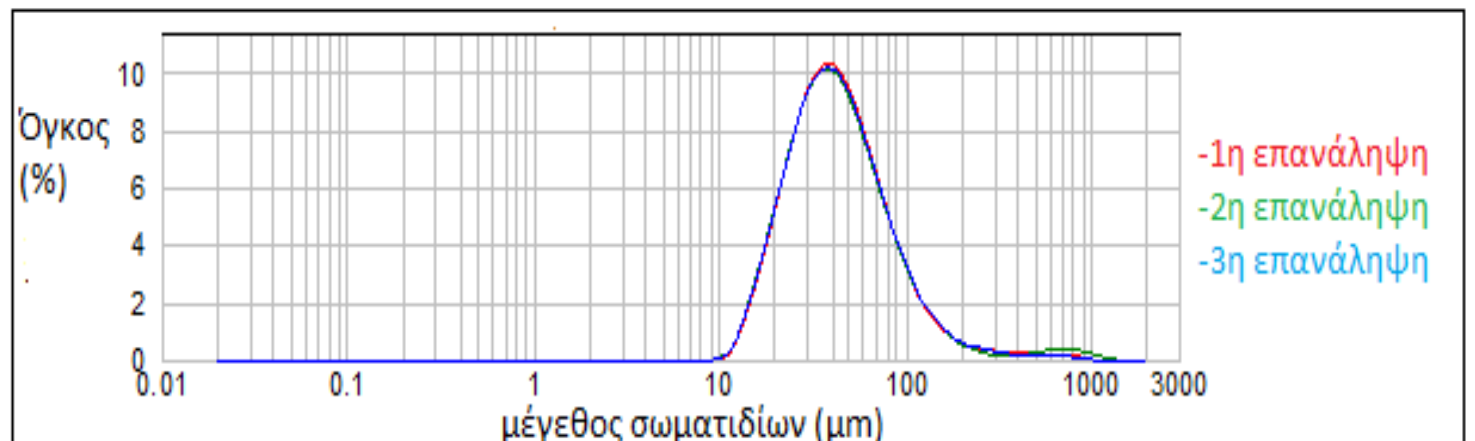
Σχήμα 68: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 15.



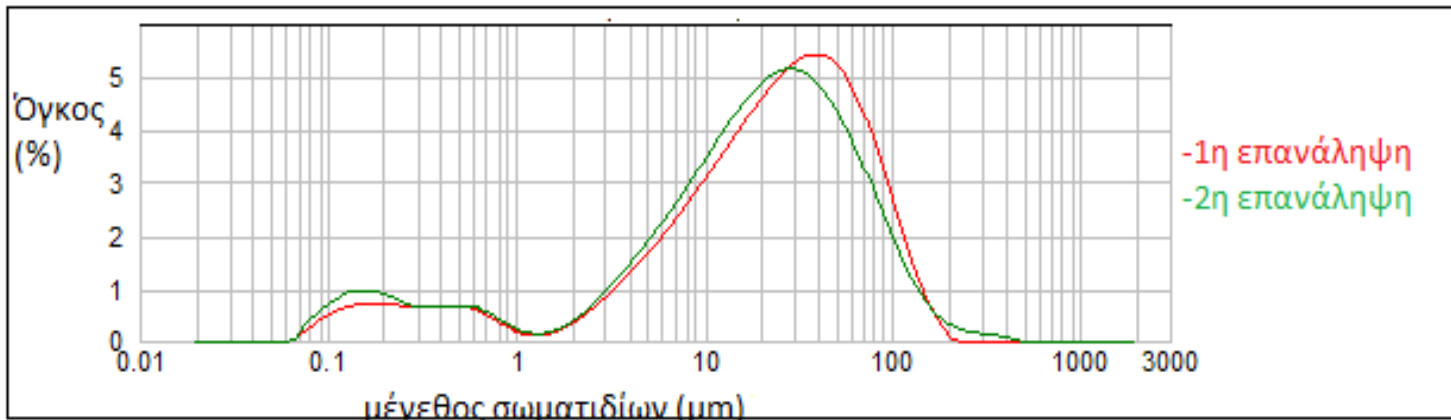
Σχήμα 69: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 16.



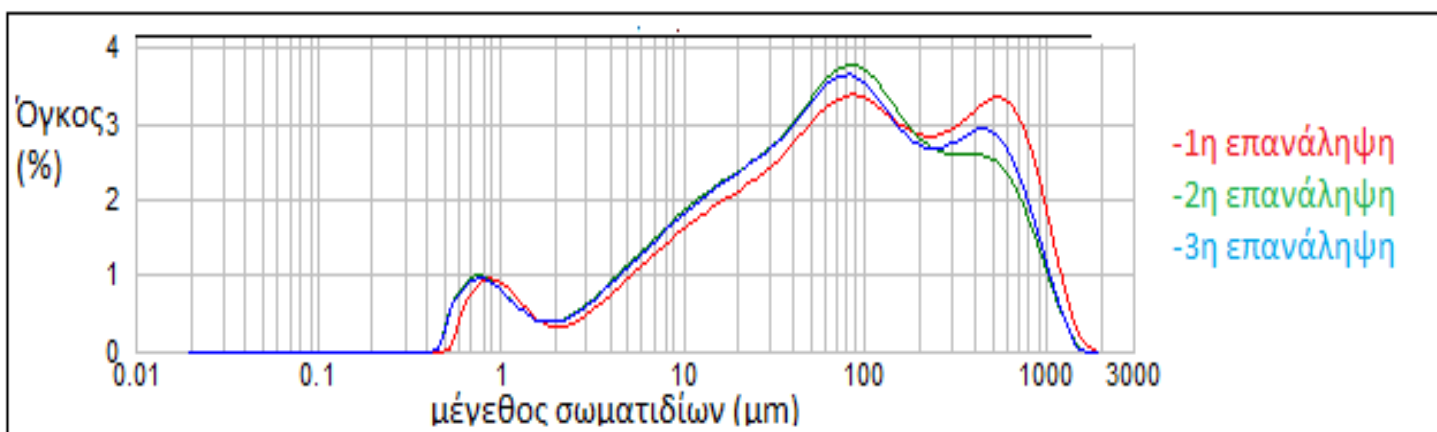
Σχήμα 70: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 17.



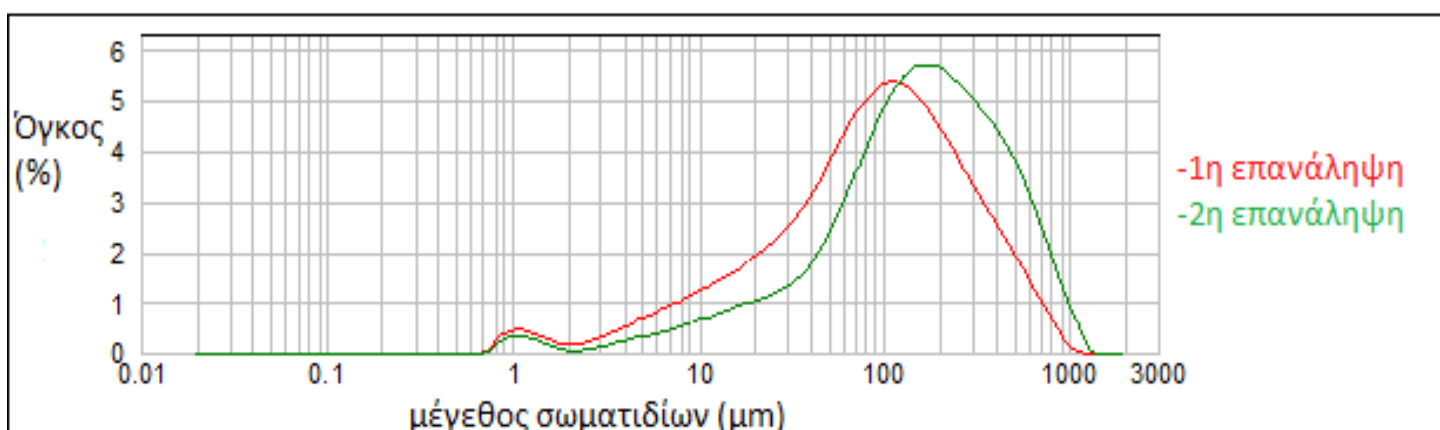
Σχήμα 71: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 18.



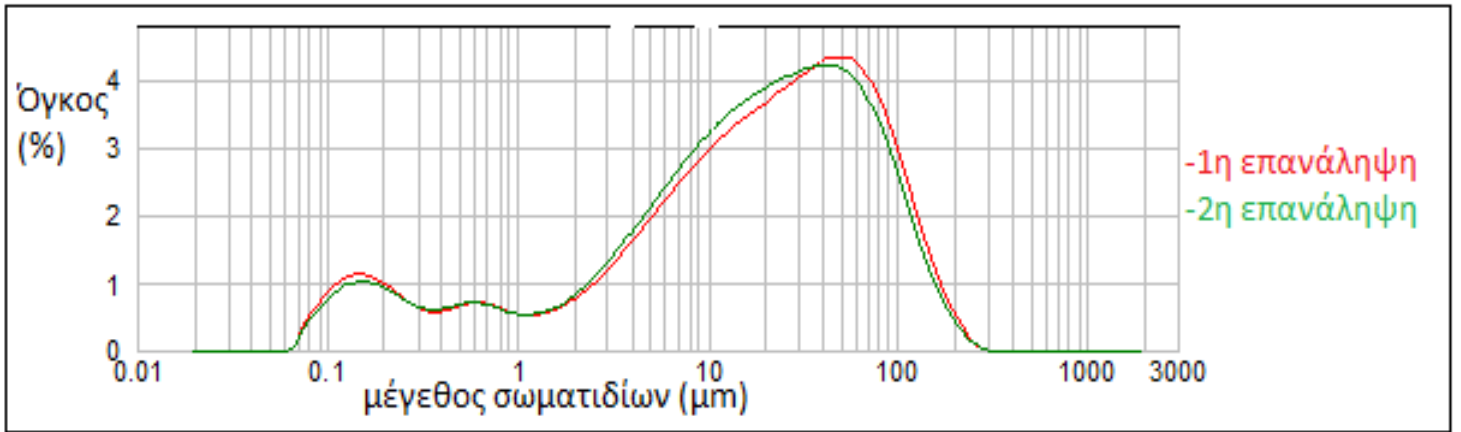
Σχήμα 72: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 19.



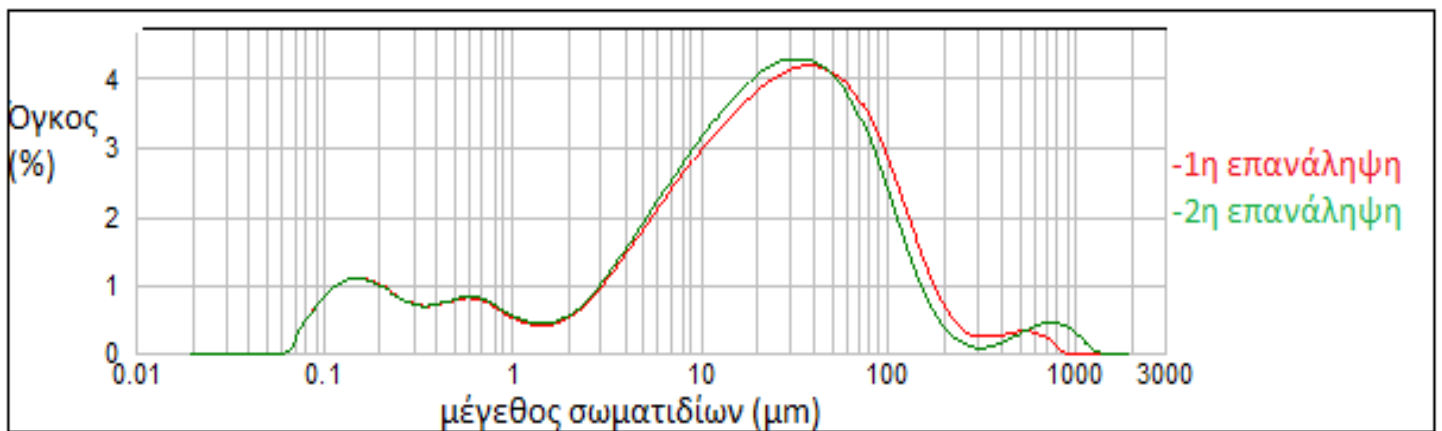
Σχήμα 73: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 20.



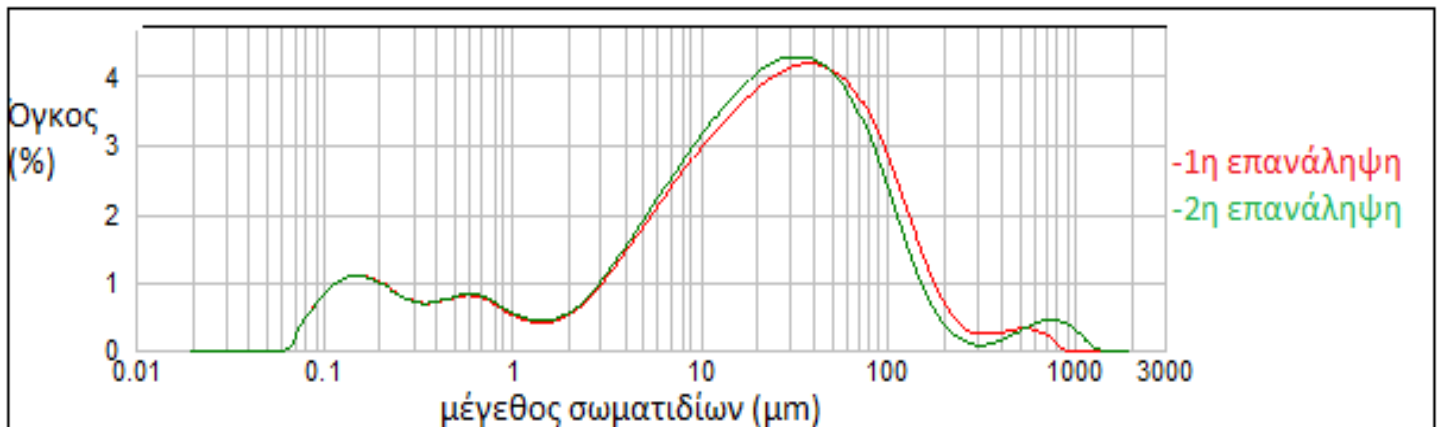
Σχήμα 74: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 21.



Σχήμα 75: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 22.



Σχήμα 76: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 23.



Σχήμα 77: Κατανομή μεγέθους σωματιδίων συναρτήσει όγκου για το δείγμα 24.