



**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

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

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΑΠΛΗΡΩΜΑΤΩΝ
ΤΥΡΙΟΥ ΜΕ ΚΑΖΕΪΝΙΚΟ ΝΑΤΡΙΟ, ΑΜΥΛΟ ΠΑΤΑΤΑΣ
ΚΑΙ ΦΟΙΝΙΚΕΛΑΙΟ**

ΧΑΤΖΗΕΥΓΕΝΗ ΝΙΚΟΛΕΤΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΘΩΜΑΡΕΪΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2020

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΑΠΛΗΡΩΜΑΤΩΝ ΤΥΡΙΟΥ ΜΕ
ΚΑΖΕΪΝΙΚΟ ΝΑΤΡΙΟ, ΑΜΥΛΟ ΠΑΤΑΤΑΣ ΚΑΙ ΦΟΙΝΙΚΕΛΑΙΟ**

ΧΑΤΖΗΕΥΓΕΝΗ ΝΙΚΟΛΕΤΑ

Υποβολή μεταπτυχιακής διατριβής που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την απονομή του μεταπτυχιακού τίτλου του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΘΩΜΑΡΕΪΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΕΣ: ΔΗΜΗΤΡΕΛΗ ΓΕΩΡΓΙΑ, ΡΑΦΑΗΛΙΔΗΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2020

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε από τη Χατζηευγενή Νικολέτα, στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών *«Συστήματα διαχείρισης ποιότητας και οργάνωσης παραγωγής στη βιομηχανία τροφίμων»*, κατά τη διετία 2015-2017, με θέμα την ανάπτυξη και μελέτη αναπληρωμάτων τυριών με καζεϊνικό νάτριο, άμυλο πατάτας και φοινικέλαιο, που πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Ελέγχου και Διασφάλισης Ποιότητας του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων του ΔΠΙΑΕ.

Θα ήθελα, σε αυτό το σημείο, να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Θωμάρεϊ Απόστολο, για την ανάθεση του θέματος και την αμέριστη συμπαράστασή του σε κάθε βήμα της παρούσας εργασίας, καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές και οδηγίες που παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Επίσης, θα επιθυμούσα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Πετρίδη Δημήτριο για την καθοδήγηση και τη βοήθεια που μου παρείχε στη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Επιπρόσθετα, πολλές ευχαριστίες απευθύνονται και στην κα Μαρινοπούλου Άννα, που με απόλυτη προθυμία παρείχε καίριες κατευθύνσεις σε εργαστηριακό επίπεδο.

Τέλος, η μεταπτυχιακή μου διατριβή δεν θα είχε επιτευχθεί, εάν δεν συνοδευόταν από την αμέριστη συμπαράσταση τόσο του οικογενειακού όσο και του φιλικού μου περιβάλλοντος.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στην ανάπτυξη και μελέτη αναπληρωμάτων τυριού με καζεϊνικό νάτριο, άμυλο πατάτας και φοινικέλαιο. Επίσης, μελετήθηκε η επίδραση των διαφορετικών συστατικών στις φυσικοχημικές, μηχανικές και ρεολογικές ιδιότητες των τελικών προϊόντων

Αρχικά, απαιτήθηκε πολύ μεγάλη σειρά δοκιμών για τον προσδιορισμό των κατώτερων και ανώτερων ορίων των χρησιμοποιούμενων συστατικών, ώστε να είναι δυνατή η παραγωγή επαλειφόμενων προϊόντων. Η προκαταρκτική μελέτη έδειξε ότι, για την παρασκευή αναπληρωμάτων τυριού από καζεϊνικό νάτριο, άμυλο πατάτας και φοινικέλαιο, η μέγιστη συγκέντρωση νερού και ελαίου ήταν 79% και η ελαχίστη 75,5%, ενώ η αναλογία των στερεών συστατικών (καζεϊνικό νάτριο προς άμυλο πατάτας) ήταν 3:1. Συγκεκριμένα, το καζεϊνικό νάτριο έπρεπε να κυμαίνεται από 11,7 έως 14%, το άμυλο πατάτας από 5,8 έως 7%, το φοινικέλαιο από 8 έως 25%, και το νερό από 54 έως 67,5%, η συγκέντρωση του ασκορβικού οξέος και του σορβικού καλίου παρέμενε σταθερή στο 0,1%, ενώ του γαλακτικού οξέος και του χλωριούχου νατρίου ήταν 1,5% και 1,8%, αντίστοιχα.

Στη συνέχεια, παρασκευάστηκαν 13 αναπληρώματα επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού διαφορετικών συστάσεων, εντός των ανωτέρω ορίων, και σύμφωνα με το πειραματικό σχέδιο μείξης. Όλα τα δείγματα ήταν σταθερά γαλακτώματα με αλοιφώδη υφή. Κατόπιν, ακολούθησε μελέτη των φυσικοχημικών, μηχανικών και ρεολογικών χαρακτηριστικών τους.

Στις φυσικοχημικές ιδιότητες των αναπληρωμάτων τυριού που μελετήθηκαν περιλαμβάνονταν το χρώμα, το pH και το μέγεθος των λιποσφαιρίων. Το χρώμα των δειγμάτων εξετάστηκε με το χρωματόμετρο HunterLab, το οποίο λειτουργεί με βάση το χρωματικό μοντέλο CIELab. Τα δείγματα με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε νερό είχαν μεγαλύτερη φωτεινότητα, ενώ αυτά που είχαν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε καζεϊνικό νάτριο και άμυλο πατάτας είχαν ελαφρά πιο κίτρινο χρώμα. Σε γενικές γραμμές, όμως, το χρώμα των δειγμάτων βρέθηκε υπόλευκο. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, το pH παρέμεινε σταθερό. Τέλος, το μέγεθος των λιποσφαιρίων, το

οποίο εξετάστηκε με τη συσκευή Mastersizer 2000, έδειξε ότι τα αυτά είχαν υποστεί κροκίδωση υπό εκκένωση.

Η μελέτη των μηχανικών και ρεολογικών χαρακτηριστικών πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της ανάλυσης κατατομής της υφής (TPA) και τη δοκιμή της λιπαινόμενης συμπίεστης ροής, με τη βοήθεια της συσκευής Texture Analyzer. Κατά την πρώτη δοκιμή, προσδιορίστηκαν η ευθραυστότητα, η σκληρότητα, το έργο επί του δείγματος κατά την πρώτη και δεύτερη συμπίεση, η συγκολλητικότητα, η ελαστικότητα, η εκτατότητα, η κομμιώδης υφή και η μασητικότητα. Κατά τη δεύτερη δοκιμή, μελετήθηκαν η δύναμη συμπίεσης και χαλάρωσης και η φαινομενική τάση στο τέλος της συμπίεσης και στο τέλος της χαλάρωσης. Σε όλες τις ιδιότητες, φάνηκε ότι καθοριστικό ρόλο έπαιξε η περιεκτικότητα του δείγματος σε καζεϊνικό νάτριο και άμυλο πατάτας. Όσο αυξανόταν η περιεκτικότητα των αναπληρωμάτων τυριού σε καζεϊνικό νάτριο και άμυλο πατάτας, τόσο αυξάνονταν και οι τιμές των μετρούμενων χαρακτηριστικών. Επομένως, τα δείγματα που είχαν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε στερεά συστατικά παρουσίαζαν μεγαλύτερη ευθραυστότητα, σκληρότητα και έργο κατά τη συμπίεση. Αντίθετα, τα δείγματα που είχαν μεγαλύτερη υγρασία εμφάνιζαν μείωση των τιμών των μετρούμενων ιδιοτήτων. Όσον αφορά στο φοινικέλαιο, φάνηκε να επηρεάζει ελάχιστα και κυρίως αρνητικά τις μηχανικές και ρεολογικές ιδιότητες των τυριών.

Συμπερασματικά, η μελέτη έδειξε ότι είναι δυνατή η παρασκευή μιας μεγάλης γκάμας επαλειφόμενων προϊόντων χαμηλής και υψηλής λιποπεριεκτικότητας. Η επιζητούμενη υφή του προϊόντος μπορεί να επιτευχθεί με ελεγχόμενο τρόπο, συνδυάζοντας κατάλληλα, κατά την παρασκευή, τα τέσσερα βασικά συστατικά (καζεϊνικό νάτριο, άμυλο πατάτας, φοινικέλαιο και νερό).

ABSTRACT

The present work deals with the development and study of cheese analogues with sodium caseinate, potato starch and palm oil. The effect of the different ingredients on the physicochemical and rheological properties of the final products was also studied.

Initially, a very large set of tests was required to determine the lower and upper limits of the ingredients used, in order to be able to produce spreadable products. The preliminary study showed that, for the production of cheese analogues, the maximum water and oil content was 79% and the minimum 75.5%, while the ratio of the solid ingredients (sodium caseinate/potato starch) was 3:1. Specifically, sodium caseinate had to range from 11.7 to 14%, potato starch from 5.8 to 7%, palm oil from 8 to 25%, and water from 54 to 67.5%. The concentration of ascorbic acid and potassium sorbate remained stable at 0.1%, while lactic acid and sodium chloride were 1.5% and 1.8%, respectively.

Subsequently, 13 spreadable cheese analogues of different textures were prepared, within the above limits, according to the mixture experiment design. All samples were stable emulsions with spreadable texture. Subsequently, a study of their physicochemical, mechanical and rheological characteristics was followed.

The physicochemical properties of the cheese analogues studied included the color, pH, and size of fat globules. The color was measured with the HunterLab colorimeter, which is based on the CIELab color model. Samples with higher water content had greater brightness, while those with higher sodium caseinate and potato starch were slightly yellow, but the color of the samples was generally off-white. According to the results, the pH remained constant. Finally, the size of fat globules, examined with Mastersizer 2000, showed that they had undergone depletion flocculation.

The study of the mechanical and rheological characteristics was carried out by the method of texture profile analysis (TPA) and the testing of the lubricated squeezing flow, with the aid of the Texture Analyzer. In the first test, the brittleness, hardness, work for compression, adhesiveness, springiness, stringiness, gumminess and chewiness were determined. In the second test, the compressive and relaxation forces

and the apparent stress at the end of compression and at the end of relaxation were studied. In all the properties, the sample content in sodium caseinate and potato starch appeared to be decisive. As the sodium caseinate and potato starch content of cheese analogues increased, the values of the measured characteristics also increased. Therefore, the samples having higher solids content exhibited greater fracturability, hardness, and work on the sample during compression. In contrast, the samples with higher moisture content showed a decrease in the measured properties values. Regarding palm oil, its role was unclear, since it appeared to have little influence on the mechanical and rheological properties of cheeses, sometimes positive and sometimes negative.

In conclusion, the study showed that a wide range of low and high fat content spreadable cheese analogues can be prepared. The desired texture of the product can be achieved in a controlled manner by appropriately combining the four main ingredients (sodium caseinate, potato starch, palm oil and water) during preparation.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT.....	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	11
2.1 Γαλακτώματα.....	11
2.1.1 Γενικά.....	11
2.1.2 Ιδιότητες γαλακτωμάτων	12
2.1.3 Σταθερότητα γαλακτωμάτων	13
2.1.4 Αποσταθεροποίηση γαλακτωμάτων	13
2.2 Ανακατεργασμένα τυριά.....	15
2.2.1 Παρασκευή ανακατεργασμένων τυριών	18
2.3 Αναπληρώματα τυριού.....	19
2.3.1 Γενικά.....	20
2.3.2 Παρασκευή αναπληρωμάτων τυριού	23
2.3.3 Παραδείγματα αναπληρωμάτων τυριού.....	24
2.3.4 Πρώτες ύλες για τη παρασκευή αναπληρωμάτων τυριού.....	26
2.3.5 Αντικατάσταση καζεΐνης / καζεϊνικών αλάτων	34
2.3.6 Αντικατάσταση λίπους γάλακτος.....	35

2.4	Ρεολογία	37
2.4.1	Ρεολογικές έννοιες	38
2.4.2	Παραμόρφωση στερεών	39
2.4.3	Ρεολογικές ιδιότητες των ρευστών	40
2.4.4	Ρεολογικές δοκιμές	43
2.4.5	Οργανοληπτικές μέθοδοι	44
2.4.6	Ενόργανες μέθοδοι	45
2.4.6.1	Μηχανικές ιδιότητες στερεών	45
2.4.6.2	Ρεολογικές ιδιότητες ημίρρευστων	47
3.	ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	48
4.	ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	49
4.1	Πρώτες ύλες	49
4.2	Περιγραφή εργαστηριακού ομογενοποιητή-παστεριωτήρα	49
4.3	Πειραματική διαδικασία παρασκευής δειγμάτων	51
4.4	Αναλυτής υφής	52
4.5	Δοκιμή ανάλυσης κατατομής υφής (TPA)	54
4.6	Δοκιμή λιπαινόμενης συμπιεστής ροής (Squeeze flow)	55
4.7	Φυσικοχημικές αναλύσεις	58
4.7.1	Προσδιορισμός pH	58
4.7.2	Προσδιορισμός χρώματος	59

4.7.3	Μέτρηση μεγέθους λιποσφαιρίων	60
4.7.3.1	Προετοιμασία των δειγμάτων	63
4.8	Πολλαπλή παλινδρόμηση	63
5.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	65
5.1	Αποτελέσματα προκαταρκτικής μελέτης	65
5.2	Δείγματα και στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων	66
5.3	Αποτελέσματα φυσικοχημικών παραμέτρων	67
5.4	Αποτελέσματα μηχανικών και ρεολογικών ιδιοτήτων	70
5.4.1	Ευθραυστότητα	75
5.4.2	Σκληρότητα 1	77
5.4.3	Σκληρότητα 2	79
5.4.4	Έργο συμπίεσης 1	80
5.4.5	Έργο συμπίεσης 2	81
5.4.6	Κομμώδης υφή	82
5.4.7	Φαινομενική τάση στο τέλος της συμπίεσης	84
5.4.8	Φαινομενική τάση στο τέλος της χαλάρωσης	85
5.4.9	Ιδιότητες για τις οποίες δεν δημιουργήθηκε ιχνογράφημα λόγω έλλειψης προσαρμογής	87
5.4.10	Συσχετίσεις	88
5.4.11	Σύγκριση αποτελεσμάτων με παρόμοιες εργασίες	88
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	91

7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	92
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	93
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	102

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάπτυξη του τομέα των έτοιμων φαγητών τα τελευταία χρόνια αντανακλάται στην αύξηση της ζήτησης τυριού ως συστατικού τροφίμων. Το ψιλοκομμένο, κομμένο σε κύβους, κομμένο σε φέτες και ακόμη και το ρευστό τυρί έχει αναπτυχθεί για να ικανοποιήσει τις ανάγκες της σύγχρονης βιομηχανίας τροφίμων, καθώς τα έτοιμα γεύματα συνεχίζουν να αυξάνονται σε δημοτικότητα. Οι πωλήσεις αναπληρωμάτων τυριού συνδέονται στενά με τις εξελίξεις στον τομέα των έτοιμων φαγητών. Τα αναπληρώματα τυριού χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο λόγω της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας, που οφείλεται στην απλότητα της παρασκευής τους και στην αντικατάσταση επιλεγμένων συστατικών γάλακτος από φθηνότερα φυτικά προϊόντα (Eymery & Pangborn, 1988). Τα αναπληρώματα τυριού επεκτείνουν την προσφορά και μειώνουν το κόστος (Ahmed et al., 1995).

Μια μεγάλη ποικιλία τυποποιημένων τυριών απομίμησης έχουν δημιουργηθεί στα οποία τα μη λιπαρά στερεά γάλακτος και το λίπος γάλακτος αντικαθίστανται από καζεϊνικά άλατα και φυτικά έλαια (Kiely et al., 1991). Το κόστος παραγωγής αναπληρωμάτων τυριών μπορεί να είναι σημαντικά μικρότερο από αυτό των φυσικών τυριών. Εκτός από την εξοικονόμηση στη διαδικασία παραγωγής, οι πρώτες ύλες είναι σημαντικά φθηνότερες από το γάλα (Shaw, 1984). Επίσης, η περιορισμένη προσφορά παραγωγής γάλακτος σε ορισμένα μέρη του κόσμου έχει οδηγήσει σε αυξημένο ενδιαφέρον για τη χρησιμοποίηση υποκατάστατων συστατικών από φυτικές πηγές για την παραγωγή ορισμένων γαλακτοκομικών προϊόντων (McNutt, 1989; Ahmed et al., 1995).

Στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου τα γαλακτοκομικά προϊόντα είναι ακριβά και ανεπαρκή σε ποσότητα, τα υποκατάστατα γαλακτοκομικών που παρασκευάζονται από όσπρια παρέχουν μια θρεπτική εναλλακτική λύση (Santos et al., 1989). Ακόμα, υπάρχει ένα συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για τους καταναλωτές σε τρόφιμα που περιέχουν λιγότερο συνολικό λίπος, κορεσμένα λιπαρά, χοληστερόλη και θερμίδες. Αυτά τα προϊόντα είναι χρήσιμα για τον έλεγχο του σωματικού βάρους και τη μείωση

του κινδύνου καρδιακής και αρτηριακής νόσου (Kong-Chan et al., 1991; Mortensen & McCarthy, 1991).

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η ανάπτυξη και μελέτη αναπληρώματος τυριού με καζεϊνικό νάτριο, άμυλο πατάτας και φοινικέλαιο.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Γαλακτώματα

2.1.1 Γενικά

Τα γαλακτώματα είναι συστήματα διασποράς, συνήθως δύο μη αναμίξιμων υγρών. Όταν η εξωτερική φάση αποτελείται από νερό και η εσωτερική από λάδι, τότε θεωρείται ως γαλάκτωμα «λάδι σε νερό» (O/W). Όταν είναι αντίστροφη η κατάσταση, δηλαδή το νερό είναι διεσπαρμένο μέσα στο λάδι, τότε το γαλάκτωμα είναι τύπου W/O (Belitz et al., 2009). Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν μια ελάχιστη σταθερότητα, η οποία μπορεί να ενισχυθεί με την προσθήκη κατάλληλων ουσιών, όπως τασιενεργών, λεπτομερώς καταμερισμένων στερεών κ.λπ. (Παναγιώτου, 1998).

Τα γαλακτώματα συνήθως απαντώνται στα συστήματα τροφίμων. Προϊόντα όπως το παγωτό και τα λικέρ κρέμας είναι μερικά μόνο παραδείγματα. Μία από τις σημαντικότερες ιδιότητες κάθε γαλακτώματος τροφίμων είναι οι ρεολογικές του ιδιότητες. Η υφή και η αίσθηση στο στόμα έχουν ιδιαίτερες πρακτικές συνέπειες και ο προσεκτικός χειρισμός της ρεολογίας του γαλακτώματος σε μια σειρά συνθηκών είναι απαραίτητος για την παροχή ενός επιτυχημένου εμπορεύσιμου προϊόντος (Dickinson & Goling, 1997).

Οι κύριες οπτικές ιδιότητες των γαλακτωμάτων είναι η αδιαφάνεια και το χρώμα τους. Η συνολική εμφάνιση των γαλακτωμάτων εξαρτάται από τη σύνθεση και τη μικροδομή τους. Η αδιαφάνεια και το χρώμα των γαλακτωμάτων προσδιορίζονται κυρίως από τη συγκέντρωση των σωματιδίων, το μέγεθος και την αντίθεση του δείκτη διάθλασης, καθώς και την παρουσία χρωμοφόρων που απορροφούν το φως (Chung & McClements, 2014).

Ο σχηματισμός ενός γαλακτώματος γίνεται με διάσπαση του ελαίου σε σταγονίδια μικρού μεγέθους με τη βοήθεια των ομογενοποιητών, μια διαδικασία που απαιτεί προσφορά μεγάλης ποσότητας ενέργειας.

Τα γαλακτώματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις όπου είναι απαραίτητο να ενσωματώσουμε συστατικά, μη αναμίξιμα μεταξύ τους. Επίσης, χρησιμοποιούνται για την παραγωγή διαφόρων προϊόντων τύπου μαγιονέζας καθώς και dressing για σαλάτες, όπου πρέπει να αναμιχθούν υλικά τα οποία είναι μη αναμίξιμα μεταξύ τους για παράδειγμα ξύδι με λάδι, έτσι για να ενσωματωθούν τα συστατικά μεταξύ τους ανακινούμε το μίγμα ή προσθέτουμε ένα γαλακτωματοποιητικό παράγοντα. Ένας άλλος λόγος χρήσης των γαλακτωμάτων είναι η διατήρηση του αρώματος και της σταθερότητας των προϊόντων, η ενδυνάμωση μιγμάτων φτωχών σε συστατικά και η ρύθμιση των φυσικών ιδιοτήτων κάποιων προϊόντων (Lissant, 1974).

2.1.2 Ιδιότητες γαλακτωμάτων

Οι ιδιότητες των γαλακτωμάτων μπορεί να είναι χημικές, φυσικές ή και τα δύο. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι οι ιδιότητες ενός γαλακτώματος εξαρτώνται από: α) τις ιδιότητες της συνεχούς φάσης και β) την αναλογία της συνεχούς φάσης στην εξωτερική (Lissant, 1974).

Μετά το σχηματισμό, ένα γαλάκτωμα περιέχει έναν αριθμό διαφορετικών περιοχών: τη διασκορπισμένη φάση, τη συνεχή φάση και τη διεπιφανειακή στιβάδα. Οι ιδιότητες και η δομική οργάνωση αυτών των διαφόρων συστατικών μέσα σε ένα προϊόν διατροφής παίζει σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό των φυσικοχημικών και των αισθητήριων ιδιοτήτων του (Chung & McClements, 2014).

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των γαλακτωμάτων διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στα συστήματα τροφίμων, καθώς συμβάλλουν άμεσα στην υφή, τις αισθητικές και τις θρεπτικές ιδιότητες των τροφίμων. Μία από τις κύριες ιδιότητες είναι η σταθερότητα που αναφέρεται στην ικανότητα ενός γαλακτώματος να αντιστέκεται στις αλλαγές στις ιδιότητές του με την πάροδο του χρόνου (Huck-Iriant et al., 2011).

2.1.3 Σταθερότητα γαλακτωμάτων

Ο όρος "σταθερότητα γαλακτώματος" αναφέρεται στην ικανότητα ενός γαλακτώματος να αντιστέκεται στις αλλαγές των ιδιοτήτων του με την πάροδο του χρόνου. Η φυσική αστάθεια οδηγεί σε αλλοίωση της χωρικής κατανομής ή της δομικής οργάνωσης των μορίων (Huck-Itant et al., 2011). Η παρασκευή ενός γαλακτώματος απαιτεί τη δημιουργία μίας τεράστιας διεπιφάνειας μεταξύ των δύο μη αναμίξιμων φάσεων (Παναγιώτου, 1998) και για να θεωρηθεί σταθερό πρέπει να ανιχνευτεί μία μόνο μικρή συσσωμάτωση και καταβύθιση των σωματιδίων του. Τα γαλακτώματα είναι θερμοδυναμικά ασταθή, οπότε καταστρέφονται με αργό ρυθμό. Ένα γαλάκτωμα χαρακτηρίζεται σταθερό, όταν μπορεί να αντισταθεί σε αλλαγές των ιδιοτήτων του με το πέρασμα του χρόνου.

Η σταθερότητα των γαλακτωμάτων εξαρτάται (Branen et al., 1990):

- Από την κίνηση Brown. Υπό την επίδραση της κίνησης Brown, τα σταγονίδια ενός γαλακτώματος έρχονται σε επαφή.
- Από τις ηλεκτροστατικές δυνάμεις (απωστικές ή ελκτικές)
- Από τις δυνάμεις van der Waals.

Παράγοντες όπως το pH, η θερμοκρασία, οι συνθήκες που επικρατούν κατά την διαδικασία παραγωγής των γαλακτωμάτων μπορούν να επηρεάσουν τη σταθερότητά τους.

2.1.4 Αποσταθεροποίηση γαλακτωμάτων

Υπάρχουν διάφοροι φυσικοχημικοί μηχανισμοί οι οποίοι μπορεί να είναι υπεύθυνοι για μεταβολές στις ιδιότητες γαλακτώματος και είναι συνήθως απαραίτητο να προσδιοριστεί ποιος από τους μηχανισμούς αυτούς είναι σημαντικός στο συγκεκριμένο υπό εξέταση σύστημα προτού να αναπτυχθούν αποτελεσματικές στρατηγικές για τη βελτίωση της σταθερότητας. Ένα γαλάκτωμα μπορεί να καταρρεύσει λόγω φυσικών αλλαγών (αλλαγές στη σχετική θέση των συστατικών

του) ή χημικών αλλαγών (αλλαγές στη χημεία των συστατικών του) (McClements, 2016).

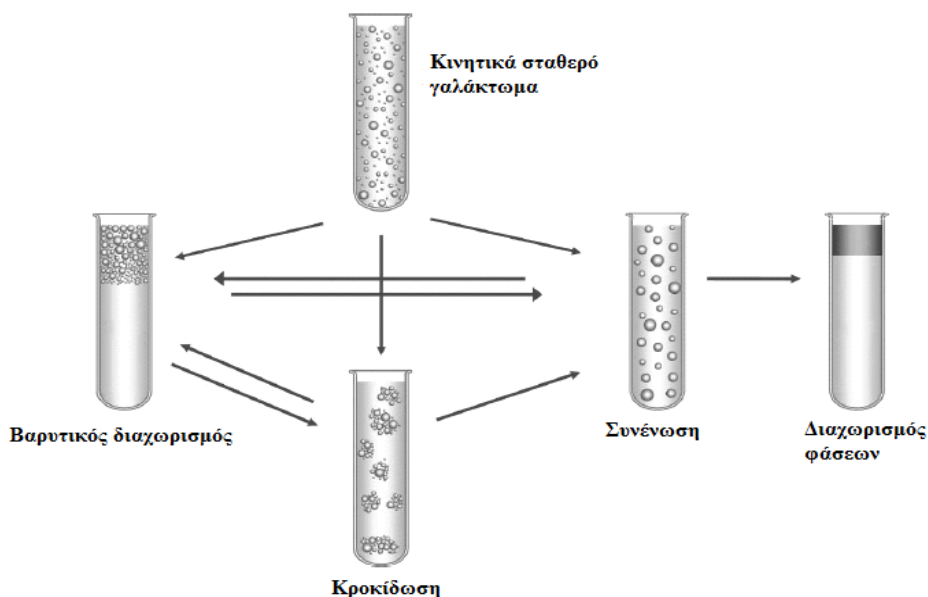
Οι μηχανισμοί οι οποίοι μπορούν να οδηγήσουν ένα γαλάκτωμα σε αποσταθεροποίηση μπορούν να ενταχθούν σε πέντε κατηγορίες (Ριτζούλης, 2011):

- ο βαρυτικός διαχωρισμός – αποκορύφωση (creaming),
- η συσσωμάτωση (aggregation) – κροκίδωση (flocculation),
- συγχώνευση – συνένωση (coalescence),
- η αναστροφή φάσης (phase inversion),
- και η ωρίμανση κατά Ostwald (Ostwald ripening).

Ο βαρυτικός διαχωρισμός περιγράφει την ανοδική κίνηση των σταγονιδίων λόγω του ότι έχουν χαμηλότερη πυκνότητα από το περιβάλλον υγρό, ενώ η καθίζηση περιγράφει την προς τα κάτω κίνηση ή σταγονίδια λόγω του ότι έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα από το περιβάλλον υγρό. Η κροκίδωση εμφανίζεται όταν δύο ή περισσότερα σταγονίδια έρχονται μαζί για να σχηματίσουν ένα συσσωμάτωμα στο οποίο τα σταγονίδια διατηρούν την ατομική τους ακεραιότητα, ενώ η συγχώνευση είναι η διαδικασία δύο ή περισσότερων σταγονιδίων να ενώνονται για να σχηματίσουν ένα μόνο μεγαλύτερο σταγονίδιο. Η εκτεταμένη συσσώρευση σταγονιδίων μπορεί τελικά να οδηγήσει στο σχηματισμό ξεχωριστής στρώσης ή ελαίου στην κορυφή ενός δείγματος, το οποίο είναι γνωστό ως "έλλειψη λαδιού". Η αναστροφή φάσης είναι η διαδικασία μετατροπής ενός γαλακτώματος O / W σε γαλάκτωμα W / O, ή αντίστροφα. Η ωρίμανση κατά Ostwald είναι το φαινόμενο κατά το οποίο τα μόρια που απαρτίζουν τα σωματίδια της διεσπαρμένης φάσης μεταφέρονται στη συνεχή φάση μέχρι να επαναδιαλυτοποιηθούν σε ένα άλλο σωματίδιο. Και έτσι τα μόρια με τα μικρότερα σωματίδια τείνουν να μεταφέρονται στη συνεχή φάση πιο εύκολα παρά τα μόρια με μεγαλύτερα σωματίδια και τελικά τα μεγάλα σταγονίδια αναπτύσσονται σε βάρος των μικρότερων (Ριτζούλης, 2011; McClements, 2016) (Σχήμα 1).

Εκτός από τις φυσικές διεργασίες που αναφέρθηκαν προηγουμένως, θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν επίσης διάφορες χημικές, βιοχημικές και μικροβιολογικές

διεργασίες που εμφανίζονται σε γαλακτώματα τροφίμων που μπορούν επίσης να επηρεάσουν δυσμενώς τη διάρκεια ζωής και την ποιότητα ζωής τους, για παράδειγμα, οξείδωση λιπιδίων, ενζυμική υδρόλυση και βακτηριακή ανάπτυξη (McClements, 2016).



Σχήμα 1. Οι κατηγορίες των μηχανισμών αποσταθεροποίησης των γαλακτωμάτων (McClements, 2016).

2.2 Ανακατεργασμένα τυριά

Ανακατεργασμένα τυριά (processed cheese) ή τηγμένα τυριά (fromage fondu, schmelzkäse) και ανακατεργασμένα τυριά με κρεμώδη υφή (spreadable processed cheese) ή τηγμένα τυριά με κρεμώδη υφή χαρακτηρίζονται τα προϊόντα που παρασκευάζονται με άλεση, ανάμιξη, τήξη και γαλακτωματοποίηση διαφόρων ειδών τυριών με θέρμανση και προσθήκη γαλακτωματοποιητών και με ή χωρίς την προσθήκη προϊόντων γάλακτος και/ή άλλων τροφίμων (ΚΤΠ, 2009).

Σύμφωνα με τον Κώδικα Τροφίμων και Ποτών (2009), τα προαιρετικά συστατικά που μπορεί να προστεθούν στα ανακατεργασμένα τυριά είναι:

α) κρέμα, βούτυρο γάλακτος, τηγμένο βούτυρο γάλακτος, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή λιποπεριεκτικότητα,

β) βρώσιμο χλωριούχο νάτριο,

γ) ξύδι,

δ) μπαχαρικά και άλλα φυτικά καρυκεύματα σε ποσότητες ικανές για να χαρακτηρίσουν το προϊόν,

ε) με σκοπό τη βελτίωση της γεύσης των τυριών προστίθενται τρόφιμα, με εξαίρεση των σακχαρούχων, μαγειρεμένα ή κατά άλλο τρόπο παρασκευασμένα σε ποσότητες τέτοιες ώστε η παρουσία τους, να χαρακτηρίζει το προϊόν και με την προϋπόθεση ότι οι προσθήκες αυτές, υπολογισμένες επί ξηρού, δεν θα ξεπερνούν το ένα έκτο του βάρους των ολικών στερεών του τελικού προϊόντος.

στ) αβλαβείς καλλιέργειες βακτηρίων και ενζύμων

Τα ανακατεργασμένα τυριά έχουν εισαχθεί στην αγορά τροφίμων πριν από περίπου έναν αιώνα και από τότε η ζήτηση από τους καταναλωτές είναι σταθερή. Η επιτυχία τους οφείλεται σε ένα συνδυασμό παραγόντων όπως: είναι πιο οικονομικοί από την πλειοψηφία των φυσικών τυριών, καθώς περιέχουν συνήθως φθηνά μη γαλακτοκομικά συστατικά. διατίθενται στο εμπόριο σε μεγάλη ποικιλία γεύσεων, συνεκτικότητας και λειτουργικών χαρακτηριστικών όπως η δυνατότητα τήξης και η δυνατότητα ροής. είναι πιο ευπροσάρμοστα από τα φυσικά τυριά στον χειρισμό κυρίως στον τομέα της τροφοδοσίας με γρήγορο φαγητό και έχουν αρκετά μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης (Kontou et al., 2019)

Τυπικά, τα ανακατεργασμένα τυριά είναι φτιαγμένα από φυσικά τυριά, με την ενσωμάτωση γαλακτωματοποιητών και άλλων συστατικών γαλακτοκομικών ή μη γαλακτοκομικών προϊόντων όπως γάλα, νερό, φυτικό έλαιο. Ανάλογα με τη σύνθεσή

τους, την περιεκτικότητα σε νερό και τη συνοχή, τα επεξεργασμένα τυριά μπορούν να διακριθούν σε 4 διαφορετικές ομάδες (Kontou et al., 2019):

- ανακατεργασμένα τυριά (φυσικό τυρί, γαλακτωματοποιητές, χρωστικές ουσίες),
- παρασκευάσματα ανακατεργασμένων τυριών (όπως το τυρί που έχει υποστεί επεξεργασία και προαιρετικά συστατικά όπως γάλα, αποβουτυρωμένο γάλα, κρέμα γάλακτος, πρωτεΐνες γάλακτος, τυρί αποβουτυρωμένου γάλακτος, οργανικά οξέα),
- ανακατεργασμένα τυριά με αλοιφώδη υφή (ίδια με τρόφιμα επεξεργασμένου τυριού και κόμμεα για κατακράτηση ύδατος) και
- αναπληρώματα τυριών (καζεϊνικό νάτριο, καζεϊνικό ασβέστιο, κατάλληλα φυτικά λίπη όπως λίπος σόγιας και καρύδας, γαλακτωματοποιητές, τεχνητό άρωμα).

Τα κύρια πλεονεκτήματα του επεξεργασμένου τυριού σε σύγκριση με τα φυσικά τυριά είναι τα εξής (Fox et al., 2000):

- μειωμένο κόστος ψύξης κατά την αποθήκευση και τη μεταφορά, οι οποίες είναι ιδιαίτερα σημαντικές σε θερμά κλίματα
- καλύτερη διατήρηση της ποιότητας, με λιγότερες εμφανείς αλλαγές κατά την παρατεταμένη αποθήκευση
- μεγάλη ποικιλία τύπου και έντασης γεύσης, π.χ. από ήπια σε αιχμηρά,
- γεύση φυσικού τυριού ή ειδικά μπαχαρικά
- ρυθμιζόμενη συσκευασία για διάφορες χρήσεις, οικονομική και ευφάνταστη
- καταλληλότητα για οικιακή χρήση καθώς και για εστιατόρια σνακ

2.2.1 Παρασκευή ανακατεργασμένων τυριών

Το ανακατεργασμένα τυριά παρασκευάζονται με θέρμανση και ανακατεύοντας μείγματα διαφόρων φυσικών τυριών και άλλων συστατικών παρουσία γαλακτωματοποιητών (Kalab et al., 1991).

Το ανακατεργασμένο τυρί παράγεται με ανάμειξη τεμαχισμένων φυσικών τυριών διαφόρων τύπων και βαθμών ωριμότητας με γαλακτωματοποιητές και με θέρμανση του μίγματος υπό μερικό κενό με συνεχή ανάδευση έως ότου ληφθεί ομοιογενής μάζα. Εκτός από τα φυσικά τυριά, άλλα συστατικά γαλακτοκομικών και μη γαλακτοκομικών μπορούν να συμπεριληφθούν στο μείγμα (Fox, 1999).

Υπάρχουν διάφορες παράμετροι που παρεμποδίζουν την παραγωγή επεξεργασμένου τυριού που επηρεάζει τη ρεολογική συμπεριφορά της τηγμένης μάζας κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και την υφή του τελικού προϊόντος. Αυτές οι παράμετροι είναι η διαμόρφωση του μίγματος (χημική σύνθεση, γαλακτωματοποιητικά άλατα κ.λπ.), οι συνθήκες επεξεργασίας (θερμοκρασία, ανάδευση, διάρκεια) και ο ρυθμός ψύξης (Dimitreli & Thomareis, 2007).

Η διαδικασία παρασκευής του τυριού που έχει υποστεί επεξεργασία αποτελείται από εργασίες που εκτελούνται με την ακόλουθη σειρά (Fox, 1999):

- επιλογή φυσικού τυριού
- υπολογισμός των συστατικών
- ανάμειξη
- τεμαχισμό
- προσθήκη γαλακτωματοποιητή
- θερμική επεξεργασία
- ομογενοποίηση (προαιρετικά)
- συσκευασία
- ψύξη
- αποθήκευση

2.3 Αναπληρώματα τυριού

Τα αναπληρώματα τυριού ορίζονται ως προϊόντα απομίμησης των κοινών τυριών. Με λίγα λόγια κατά τη παρασκευή τους αντικαθίστανται εξολοκλήρου το ζωικό λίπος από φυτικά έλαια, όπως το φοινικέλαιο και το σογιέλαιο ενώ οι πρωτεΐνες από καθαρά φυτικές ύλες, όπως για παράδειγμα είναι η καθαρή πρωτεΐνη που προέρχεται από τη σόγια αλλά και η καθαρή πρωτεΐνη που προέρχεται από το σπόρο του φιστικιού (Fox et al., 2000).

Με την συνεχώς μεταβαλλόμενη και ασταθή αγορά τροφίμων, τα φυσικά τυριά όπως η Mozzarella ή το Cheddar βρίσκονται σε μειονεκτική θέση εξαιτίας του υψηλού κόστους παραγωγής και αποθήκευσης, της λειτουργικής μεταβλητότητας και της ανελαστικότητας της σύνθεσης και της θρεπτικής αξίας. Το τυρί απομίμησης έχει τη δυνατότητα να ξεπεράσει όλα τα παραπάνω προβλήματα και έτσι η βιομηχανία τροφίμων έχει μετατραπεί σε αυτό ως εναλλακτική λύση στο φυσικό τυρί ισχύει ιδιαίτερα στις ΗΠΑ όπου περίπου 300.000 τόνοι παράγονται ετησίως με εφαρμογή σε κατεψυγμένες γαρνιτούρες πίτσας, σε μπιφτέκια βόειου κρέατος, σε σαλάτες, σάντουιτς, σάλτσες τυριών, ντιπ (dip) τυριών και έτοιμα γεύματα (Mounsey & O’Riordan, 2008).

Από επιστημονική άποψη, το τυρί απομίμησης παρέχει ένα ιδανικό μοντέλο για την εξέταση των αλληλεπιδράσεων των κυριότερων συστατικών τροφίμων - πρωτεϊνών / λιπαρών / πολυσακχαριτών και νερού. Είναι δυνατόν να επιτευχθεί η επιθυμητή ρεολογική συμπεριφορά χρησιμοποιώντας συνδυασμούς παραγόντων σχηματισμού πηκτής, ενώ χρησιμοποιείται μειωμένη ποσότητα συγκεκριμένου παράγοντα πηκτωματοποίησης. Ένα παράδειγμα αυτής της προσέγγισης είναι όπου η αλληλεπίδραση του αμύλου και της πρωτεΐνης παίζει σημαντικό ρόλο στις μακροσκοπικές ιδιότητες των προϊόντων διατροφής όπως η ροή, η σταθερότητα, η υφή και η αίσθηση στο στόμα. Τα προϊόντα αυτά περιλαμβάνουν απομιμήσεις τυποποιημένων τυριών όπου η αλληλεπίδραση μεταξύ του προστιθέμενου αμύλου και της πηγής πρωτεΐνης (συνήθως καζεΐνης πυτιάς) έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει τις ρεολογικές ιδιότητες του τυριού απομίμησης (Mounsey & O’Riordan, 2008).

Τα αναπληρώματα τυριού δίνουν τη δυνατότητα αντικατάστασης των παραδοσιακών προϊόντων με καινούργια που προσφέρουν επιθυμητά θρεπτικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά ή και χαρακτηριστικά υφής τα οποία καθορίζονται από τις ανάγκες της αγοράς και των καταναλωτών. Ένα υποκατάστατο τυριού δεν πρέπει να είναι θρεπτικά κατώτερο του τυριού το οποίο μιμείται. Η επιτυχία ενός αναπληρώματος τυριού μπορεί να αποδοθεί σε πολλούς παράγοντες (Chavan & Jana, 2007)

Ένα ανακατεργασμένο τυρί είναι ισοδύναμο θρεπτικά με ένα κοινό τυρί, ενώ μια απομίμηση είναι θρεπτικά κατώτερη. Τα υποκατάστατα των τυριών διαφέρουν από τα ανακατεργασμένα διότι στη σύσταση του δεν περιέχουν φυσικό τυρί. Ωστόσο, και τα δύο έχουν κάποιες ομοιότητες, όπως το γεγονός ότι περιλαμβάνουν ορισμένα ίδια συστατικά στη δομή για παράδειγμα τις πρωτεΐνες γάλακτος, παρουσιάζουν παρόμοια δομή καθώς επίσης η παραγωγή τους στηρίζεται σε παρόμοια παραγωγική διαδικασία.

Η ετήσια παραγωγή αναπληρωμάτων τυριού υπολογίζεται σε 80.000 τόνους, οι οποίοι υπερβαίνουν το 20% της συνολικής ποσότητας φυσικών τυριών που παράγονται σήμερα στις ΗΠΑ (McCarthy, 1993).

Σκοπός των τυριών αυτών είναι να προσομοιάζουν όσο το δυνατόν περισσότερες λειτουργικές ιδιότητες όπως είναι η υφή, το χρώμα και η γεύση με αυτή των κοινών τυριών. Η χρήση τους έχει αυξηθεί και χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο λόγω του χαμηλού κόστους τους κυρίως από χώρους μαζικής εστίασης (Fox et al., 2000).

2.3.1 Γενικά

Τα αναπληρώματα τυριού και τα υποκατάστατα τυριού είναι συνώνυμα. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι διεργασιών για την κατασκευή υποκατάστατων τυριού. Το πρώτο χρησιμοποιεί υγρό "γάλα" και περιλαμβάνει συμβατικές μεθόδους παρασκευής τυροκομικών προϊόντων, τα οποία συχνά αναφέρονται ως πλήρη τυριά. Ο δεύτερος τύπος, αναφερόμενος ως αναπληρώματα τυριού, γίνεται με ανάμειξη διαφόρων

πρώτων υλών μαζί με τεχνικές παρόμοιες με εκείνες για την παρασκευή τυποποιημένου τυριού. Η διαδικασία πλήρους τυριού έχει ορισμένα μειονεκτήματα καθώς χειρίζεται αρκετά μεγάλους όγκους ρεύματος χαμηλών στερεών. Η πλειοψηφία των υποκατάστατων τυριού παράγεται με τη διαδικασία της ανάμειξης.

Η ανάπτυξη υποκατάστατων τυριών περιλαμβάνει τη χρήση πηγών λίπους ή / και πρωτεϊνών διαφορετικών από εκείνες που προέρχονται από το γάλα, μαζί με ένα σύστημα γεύσης που προσομοιώνει όσο το δυνατόν περισσότερο το φυσικό προϊόν. Είναι επίσης απαραίτητο να αναπτυχθεί ένα κατάλληλο καθεστώς επεξεργασίας ικανό να συνδυάζει αυτά τα στοιχεία για να παρέχει τις απαιτούμενες υφαντικές και λειτουργικές ιδιότητες. Αναλογικά τυριά μπορούν να θεωρηθούν ως προϊόντα μηχανικής επεξεργασίας (Shaw, 1984).

Μπορούν να διακριθούν δύο μεγάλες κατηγορίες εμπορικών προϊόντων διατροφής: Τρόφιμα που συνήθως αποτελούν μέρος μικτής διατροφής και προϊόντα που μπορεί να αποτελούν μοναδική πηγή θρεπτικών συστατικών για ορισμένους ασθενείς ή για ορισμένους καταναλωτικούς τομείς. Σε κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες, υπάρχουν διάφορα επιστημονικά και ρυθμιστικά θέματα. Τα αναπληρώματα τυριού ανήκουν σε τρόφιμα για μια μεικτή διατροφή με περιορισμένη ρυθμιστική, επιστημονική και ιατρική πολυπλοκότητα.

Τα αναπληρώματα τυριού κερδίζουν όλο και μεγαλύτερη αποδοχή από τους μεταποιητές τροφίμων και τους καταναλωτές λόγω πολλών πιθανών οφελών. Τα αμερικανικά αναπληρώματα τυριού παράγονται γενικά ώστε να έχουν διατροφική ισοδυναμία ή σε ορισμένες περιπτώσεις να έχουν θρεπτικά πλεονεκτήματα έναντι του φυσικού τυριού. Η περιεκτικότητα σε βιταμίνες και ανόργανα συστατικά μπορεί να είναι τόσο καλή όσο και ανώτερη από εκείνη του φυσικού τυριού μέσω κατάλληλης οχύρωσης (Shaw, 1984).

Οι ανησυχίες των καταναλωτών σχετικά με την κατάποση νατρίου και κορεσμένων λιπών οδήγησαν σε έλεγχο των αναπληρωμάτων τυριών και τυριού που περιέχουν μειωμένα επίπεδα αυτών των συστατικών. Δεδομένου ότι τόσο τα λίπη όσο και τα άλατα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη φυσική κατάσταση του προϊόντος, οι

μειώσεις μπορούν να μεταβάλουν την εμφάνιση, την υφή, τη γεύση, τις ιδιότητες τήξης και άλλα χαρακτηριστικά (Eymery & Pangborn, 1988).

Εντούτοις, οι καταναλωτές έχουν όλο και μεγαλύτερη επίγνωση της σημασίας της διατήρησης επαρκούς διατροφής. Αντί να γίνει κάποια προσπάθεια να αναπτυχθούν προσπαθήσουμε, είναι προτιμότερο να δημιουργηθούν τρόφιμα με συστατικά που συμβάλλουν στη μείωση των κινδύνων για την υγεία, όπως στην περίπτωση υποκατάστατων ζωικών λιπών με φυτικά λίπη και έλαια, για να δώσουν τρόφιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε χοληστερόλη και κορεσμένα λίπη (Lobato- Calleros et al., 1997). Έτσι, τα αναπληρώματα τυριού μπορούν να προσφέρουν μια εξαιρετική ευκαιρία υποκατάστασης ενός παραδοσιακού προϊόντος με ένα νέο που προσφέρει τα ίδια ή καλύτερα χαρακτηριστικά διατροφής και υφής, χρησιμοποιώντας καζεϊνικά άλατα ως πρωτεϊνικές πηγές και χρήση πολυακόρεστων φυτικών λιπών και ελαίων που παράγουν προϊόντα χαμηλής χοληστερόλης και κορεσμένων λιπών (Giese, 1992; Kneifel & Seiler, 1993). Ένας σημαντικός τομέας έρευνας για τα αναπληρώματα τυριού είναι η δημιουργία του επιπέδου πολυακόρεστου λίπους, βελτιώνοντας έτσι τα οφέλη για την υγεία των υποκατάστατων τυριού (McNutt, 1989). Εάν χρησιμοποιούνται ακόρεστα λίπη τότε τα υποκατάστατα μπορούν να προσφέρουν ορισμένα πλεονεκτήματα υγείας ή διατροφής που συνήθως συνδέονται με ακόρεστα και πολυακόρεστα λιπαρά οξέα. Επίσης, αν δεν προστεθεί τυρί ή λίπος γάλακτος, τότε τα αναπληρώματα είναι ουσιαστικά απαλλαγμένα από χοληστερόλη (Shaw, 1984).

Τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA) είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην οξειδωση, ειδικά παρουσία καταλυτικών μεταλλικών ιόντων όπως ο σίδηρος ή ο χαλκός. Αυτή η λεγόμενη υπεροξειδωση λιπιδίων μπορεί να προληφθεί με την προσθήκη αντιοξειδωτικών όπως η βιταμίνη E, διαφορετικά η διάρκεια ζωής είναι περιορισμένη. Μια υψηλή πρόσληψη PUFA μπορεί να προκαλέσει υπεροξειδωση λιπιδίων επίσης *in vivo*. Επειδή δεν υπάρχουν ακριβείς πληροφορίες σχετικά με τη βέλτιστη πρόσληψη PUFA, το ποσό δεν πρέπει να υπερβαίνει το όριο του 10% της συνολικής ενέργειας (Eritsland, 2000). Άλλες συστάσεις είναι με το ανώτερο όριο του

7% (Zevenbergen & Rudrum, 1993). Εξάλλου, τα ω -6 και ω -3 λιπαρά οξέα πρέπει να είναι σε αναλογία μεταξύ 4:1 και 10:1 (British Nutrition Foundations Task Force).

Οι πρωτεΐνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο ίδιο επίπεδο με το φυσικό τυρί. Η βιολογική αξία της πρωτεΐνης σόγιας είναι υψηλότερη από αυτή της καζεΐνης (Ahmed et al., 1995). Δυστυχώς, τέτοιες σχετικά φθηνές φυτικές πρωτεΐνες τείνουν να προσδίδουν χαρακτηριστικές ανεπιθύμητες γεύσεις στο προϊόν απομίμησης τυριού και επίσης να δημιουργούν δυσκολίες στην παροχή της επιθυμητής υφής τυριού που κανονικά παράγεται μέσω της χρήσης καζεΐνης ή καζεϊνικών αλάτων (Kratochvil, 1986). Επιπλέον, η χρήση σόγιας ως ανθρώπινης τροφής είναι περιορισμένη λόγω των αντιθρομβικών παραγόντων και της ανάπτυξης μετεωρισμών μετά την κατανάλωση. Οι παράγοντες διάθλασης μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με κατάλληλη θερμική επεξεργασία. Ο μετεωρισμός μπορεί να ξεπεραστεί με τη ζύμωση (Singh & Mittal, 1984).

Μια άλλη ευεργετική πλευρά των συνθετικών τυροκομικών προϊόντων είναι το γεγονός ότι πολλά τέτοια προϊόντα μπορούν να παραχθούν με μια σχεδόν απεριόριστη διάρκεια ζωής (Kong-Chan et al., 1991). Η απομίμηση του τυριού Mozzarella ήταν λειτουργικά πιο σταθερή κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε ψυγείο από το φυσικό τυρί Mozzarella. Μια τέτοια σταθερότητα κάνει τα αναπληρώματα πολύ ελκυστικά για τις βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων και υπηρεσιών (Kiely et al., 1991). Έχουν συνεπή ποιότητα, χωρίς εποχιακές διακυμάνσεις, και μπορούν να ποικίλουν για να ικανοποιήσουν επιθυμητά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Η παραγωγή μπορεί να προγραμματιστεί για να καλύψει τις ανάγκες πωλήσεων, εξαλείφοντας ή μειώνοντας σημαντικά το κόστος αποθήκευσης και ψύξης (Bachmann, 2001).

2.3.2 Παρασκευή αναπληρωμάτων τυριού

Μία τυπική διαδικασία παρασκευής αναπληρωμάτων τυριού περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια (Guinee et al., 2004) :

- Προσθήκη κύριων συστατικών
- Ανάμιξη
- Προσθήκη γαλακτωματοποιητών
- Θερμική επεξεργασία
- Ομογενοποίηση
- Συσκευασία

Αρχικά πραγματοποιείται ταυτόχρονη προσθήκη της ποσότητας νερού και των ξηρών συστατικών (π.χ. καζεΐνη, γαλακτωματοποιητικά άλατα). Γίνεται μία πρώτη ανάδευση αυτών και στη συνέχεια προστίθενται το κατάλληλο έλαιο. Έπειτα το μείγμα θερμαίνεται στους 85°C χρησιμοποιώντας άμεση έγχυση ατμού ενώ ταυτόχρονα γίνεται ομογενοποίηση του μίγματος μέχρι την παραγωγή ομοιόμορφης μάζας. Ακολούθως προστίθενται τα αρωματικά υλικά και ο ρυθμιστής του pH (π.χ. κιτρικό οξύ) και το μείγμα αναμιγνύεται για λίγα λεπτά ακόμη και στη συνέχεια συσκευάζεται εν θερμώ (Guinee et al., 2004).

Η προσθήκη του οξέος στο τέλος της παρασκευής εξασφαλίζει ένα υψηλό pH (8-9) στο μείγμα κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του που βοηθά στην μεγαλύτερη απομόνωση του ασβεστίου από το γαλακτωματοποιητικό άλας κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Όλα αυτά οδηγούν σε καλύτερη γαλακτωματοποίηση του φυτικού ελαίου με τη πρωτεΐνη. Η προσθήκη αρωματικών συστατικών προς το τέλος της επεξεργασίας, ελαχιστοποιεί την απώλεια πτητικών αρωματικών ουσιών.

2.3.3 Παραδείγματα αναπληρωμάτων τυριού

Επαλειφόμενο αναπλήρωμα τυριού

Το απαλειφόμενο αναπλήρωμα τυριού παρασκευάζεται χρησιμοποιώντας νερό, φυτικό έλαιο, σκόνη γάλακτος, άλατα, γαλακτωματοποιητές, σταθεροποιητές και όξινα μέσα. Σε μία τυπική διαδικασία παρασκευής η σόγια αναμιγνύεται μαζί με το φυτικό λίπος και το νερό, ενώ στη συνέχεια προστίθενται τα άλατα, οι

γαλακτωματοποιητές και οι σταθεροποιητές και στη συνέχεια θερμαίνονται στους 57°C. Το μίγμα που προκύπτει μοιράζεται σε ειδικά δοχεία και στη συνέχεια ψύχεται (Hoffman & Marshall, 1985).

Σούφου

Πρόκειται για προϊόν το οποίο έχει τις ρίζες του σε χώρες της Άπω Ανατολής (Ιαπωνία, Κίνα) και αποτελεί εναλλακτικό είδος τυριού με επαλειφόμενη, κρεμώδη υφή και με ιδιαίτερη γεύση. Παράγεται με ζύμωση του τοφού, ενός προϊόντος που προέρχεται από πήξη του γάλακτος σόγιας, και ωρίμανση σε άλμη που περιέχει αλάτι και αλκοόλη. Το σούφου καταναλώνεται ως ορεκτικό ή ως δευτερεύον πιάτο, π.χ. με ρύζι ή ψωμί. Υπάρχουν διάφοροι τύποι τοφού, ανάλογα με τη διαδικασία παραγωγής, το χρώμα (μπορεί να είναι άσπρο, γκρι ή και κόκκινο) και τη γεύση του. Η ζύμωση μπορεί να προκληθεί φυσικά, από μύκητες (*Actinomucor*, *Aspergillus*), από βακτήρια ή και από ένζυμα (Chavan & Jana, 2007).

Αναπλήρωμα τυριού Mozzarella

Το αναπλήρωμα Mozzarella είναι ένα από τα προτιμότερα. Παράγεται από υδρογονωμένο φυτικό λάδι, καζεΐνες ή καζεϊνικά άλατα με ή όχι φυτικές πρωτεΐνες, σταθεροποιητές, άλατα γαλακτωματοποίησης, παράγοντες οξίνισης, αλάτι, ενισχυτικά γεύσεως ή και χρώματος, συντηρητικά και νερό χωρίς να χρησιμοποιείται καλλιέργεια ή πυτιά. Είναι κατάλληλο για πίτσα, οπότε και αναμιγνύεται με φυσική Mozzarella (20-30% w/w), ή και για burgers. Η σταθερότητα, το φαινομενικό ιξώδες και το ελεύθερο λάδι που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια αποθήκευσης αυτού του αναπληρώματος σε σχέση με τη φυσική Mozzarella κάνουν το τυρί αυτό αρκετά ελκυστικό από τις βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων (Jana & Upadhyay, 2003).

Αναπλήρωμα τυριού για πίτσα

Το αναπλήρωμα τυριού για πίτσα (APC: Analogue Pizza Cheese) παράχθηκε χρησιμοποιώντας συστατικά όπως καζεΐνες, γαλακτωματοποιητές, φυτικό λίπος, νερό, ρυθμιστή οξύτητας και υλικά που προσδίδουν γεύση. Όλα τα υλικά αυτά αναμίχθηκαν με την ταυτόχρονη έκχυση ατμού για να αυξηθεί η θερμοκρασία στους

85°C. Η καλύτερη σύνθεση για την παρασκευή αναπληρώματος τυριού για πίτσα που περιέχει καζεϊνικά άλατα είναι να περιέχει καζεϊνικό νάτριο και ασβέστιο σε αναλογία 75:25, λίπος επί ξηράς ουσίας 39,8% και υγρασία 52,3% (Chavan & Jana, 2007).

2.3.4 Πρώτες ύλες για τη παρασκευή αναπληρωμάτων τυριού

Καζεϊνικό νάτριο

Το καζεϊνικό νάτριο είναι το βιοχημικό όνομα για την καζεΐνη, που είναι ένας τύπος πρωτεΐνης που βρίσκεται στο γάλα από όλα τα θηλαστικά. Η καζεΐνη, η οποία είναι η λατινική λέξη για το "τυρί", αποτελεί βασική συνιστώσα του εμπορικού τυριού και της κύριας πηγής πρωτεΐνης. Η καζεΐνη χρησιμοποιείται επίσης ως πρόσθετο τροφίμων και για βιομηχανικούς σκοπούς. Η καζεΐνη είναι το όνομα μιας ομάδας τεσσάρων σχετικών πρωτεϊνών. Αυτές οι πρωτεΐνες βρίσκονται στο γάλα θηλαστικών, παρέχοντας το 80 τοις εκατό της πρωτεΐνης στο γάλα αγελάδας και περίπου το 60 τοις εκατό της πρωτεΐνης στο ανθρώπινο γάλα, σύμφωνα με το βιβλίο "Nutritional Sciences". Συνολικά, η καζεΐνη αντιπροσωπεύει περίπου το 3% του περιεχομένου του αγελαδινού γάλακτος, αλλά περισσότερο από 10% για τα περισσότερα τυριά. Ως πηγή τροφής, η καζεΐνη παρέχει απαραίτητα αμινοξέα, υδατάνθρακες, νάτριο, ασβέστιο και φώσφορο (Wardlaw & Smith, 2011).

Τα καζεϊνικά άλατα έχουν εξαιρετικές ιδιότητες γαλακτωματοποίησης και σταθεροποίησης του γαλακτώματος. Ένα από τα πιο πολυχρησιμοποιημένα καζεϊνικά άλας στην επεξεργασία των τροφίμων είναι το καζεϊνικό νάτριο χάρη στην πολύ καλή του διαλυτότητα, την επιφανειακή του δραστηριότητα, την αντοχή του στη θερμότητα και την ικανότητά του στην κατακράτηση του νερού. Οι καζεΐνες προσροφώνται ισχυρά στη διεπιφάνεια του υγρού με το λάδι κατά τη διάρκεια της ομογενοποίησης όταν σχηματίζονται τα λιποσταγονίδια. Έτσι το στρώμα καζεϊνικών προστατεύει τα λιποσταγονίδια από τη μεταξύ τους συνένωση και προσφέρει μακροχρόνια σταθερότητα στο σύστημα κατά τη διάρκεια επικείμενης επεξεργασίας και αποθήκευσης. Χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τις ιδιότητες των καζεϊνικών στρωμάτων που "αγκαλιάζουν" τα λιποσταγονίδια στα γαλακτοκομικά γαλακτώματα

μπορούν να αποκτηθούν μελετώντας τις ρεολογικές ιδιότητες των γαλακτωμάτων αυτών (Dickinson, 1999). Αρνητικό του καζεϊνικού νατρίου είναι ότι δε διαλύεται σε διάλυμα άλατος καθώς και ότι είναι ακριβότερο σε σχέση με φυτικές πρωτεΐνες που χρησιμοποιούνται στη τεχνολογία τροφίμων (Schilling, 2002).

Σύμφωνα με τον Κώδικα Τροφίμων και Ποτών τα “Βρώσιμα καζεϊνικά άλατα” πρέπει να ανταποκρίνονται στις παρακάτω προδιαγραφές:

1. Ουσιώδεις παράγοντες της σύνθεσης
 - Ανώτατη περιεκτικότητα σε υγρασία: 8% m/m
 - Κατώτατη περιεκτικότητα σε πρωτεϊνική καζεϊνή γάλακτος υπολογιζόμενη επί ξηρού υπολείμματος: 88% m/m
 - Ανώτατη περιεκτικότητα σε λιπαρές ουσίες γάλακτος υπολογιζόμενη επί ξηρού υπολείμματος: 2% m/m
 - Ανώτατη περιεκτικότητα σε άνυδρη λακτόζη: 1% m/m
 - pH: 6-8
 - Ανώτατη περιεκτικότητα σε ίζημα (καμένα σωματίδια): 22,5mg σε 25g
2. Ρυπαντές
 - Ανώτατη περιεκτικότητα σε μόλυβδο: 1 mg/kg
3. Προσμίξεις
 - Ξένα σώματα (όπως σωματίδια ξύλου, μετάλλου, τρίχες ή τμήματα εντόμων): καθόλου σε 25g
4. Βοηθητικά τεχνολογίας ποιότητας τροφίμων (παράγοντες εξουδετέρωσης και ρυθμιστικά διαλύματα)
 - Υδροξείδια, ανθρακικά, φωσφορικά, κιτρικά άλατα νατρίου, καλίου, ασβεστίου, αμμωνίου, μαγνησίου
5. Χαρακτηριστικά
 - Οσμή: πολύ ελαφρά αρώματα και ξένες οσμές
 - Μορφή: χρώμα μεταξύ του λευκού και λευκού κρεμ. Το προϊόν δεν πρέπει να περιέχει συσσωματώματα που ανθίστανται σε ελαφρά πίεση.
 - Διαλυτότητα: σχεδόν τελείως διαλυτά στο απεσταγμένο νερό εκτός από το καζεϊνικό άλας του ασβεστίου.

Άμυλο πατάτας

Το άμυλο πατάτας ανήκει στη κατηγορία των πολυσακχαριτών, χαρακτηριστικό των συγκεκριμένων υδατανθράκων είναι η παρουσία πάνω από δέκα μονάδων μονοσακχάρων. Οι πιο συνηθισμένοι πολυσακχαρίτες που απαντούν στη φύση έχουν μεγάλο μοριακό βάρος και το μόριο τους αποτελείται από εκατοντάδες ή χιλιάδες μόρια μονοσακχαριτών. Οι πολυσακχαρίτες είναι πολύ διαφορετικοί από τις βασικές δομικές μονάδες, που τους αποτελούν. Μακροσκοπικά και μικροσκοπικά εμφανίζονται άμορφοι, δεν έχουν γλυκιά γεύση και δεν ανάγουν το φερίγγειο υγρό. Με όξινη ή ενζυμική υδρόλυση οι πολυσακχαρίτες διασπώνται στα βασικά δομικά τους συστατικά (Μπόσκος, 2004). Το φυσικό άμυλο έχει μία σύνθετη δομή είναι πολυμερές της γλυκόζης με εμπειρικό τύπο ($C_6H_{12}O_5$). Οι μονάδες της γλυκόζης οι οποίες απαρτίζουν το μόριο του αμύλου συνδέονται μεταξύ τους με γλυκοζιτικούς δεσμούς α (1→4) και α (1→6) (Ανδρικόπουλος, 2010; Kurpad and Sheela, 1992). Το άμυλο που περιέχεται στους αμυλόκοκκους αποτελείται από την αμυλόζη και την αμυλοπηκτίνη. Το ποσοστό της περιεχόμενης αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης σε κάθε άμυλο ποικίλει ευρέως, ανάλογα με την προέλευση του. Κατά κανόνα, το ποσοστό της αμυλοπηκτίνης είναι μεγαλύτερο από το ποσοστό της αμυλόζης. (Ανδρικόπουλος, 2010; Ronda et al., 2008; Sandhu et al., 2004).

Το άμυλο πατάτας εξάγεται από τους κονδύλους του *Solanum tuberosum*, το οποίο καλλιεργήθηκε για πρώτη φορά γύρω στο 200 μΧ. στο Περού. Το άμυλο πατάτας παράγεται κυρίως στην Ευρώπη. Το άμυλο συνήθως απομονώνεται από γεώμηλα, πλεόνασμα πατάτας και παραπροϊόντα από την επεξεργασία πατάτας. Ωστόσο, υπάρχουν ειδικές ποικιλίες που αναπτύχθηκαν για την παραγωγή αμύλου. Οι κόνδυλοι γενικά περιέχουν 65-80% άμυλο (w/w). Το άμυλο πατάτας χρησιμοποιείται μη τροποποιημένο ή μπορεί να προζελατινοποιηθεί, να μετατραπεί σε κατιονική μορφή, να υποστεί δεξτρινοποίηση ή να παραγωγοποιηθεί με υδροξυαιθυλίωση, υδροξυπροπυλίωση ή καρβοξυμεθυλίωση. Χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες αμύλου πατάτας σε παχυντικές εμπορικές σούπες και το προζελατινοποιημένο άμυλο πατάτας είναι χρήσιμο σε στιγμιαίες πουτίγκες. Άλλες χρήσεις του αμύλου πατάτας

περιλαμβάνουν γεμίσεις πίτας, γλυκά, τσίχλες και ανάπτυξη αναπληρωμάτων τυριού (Ratnayake & Jackson, 2003).

Φοινικέλαιο

Εξ ορισμού, το φοινικέλαιο είναι ένας τύπος φυτικού ελαίου που προέρχεται από το φρέσκο μεσοκάρπιο των καρπών φοινίκων (*Elaiesguineensis*) που προέρχονται από την Αφρική (τροπικό δάσος της δυτικής Αφρικής). Το μη επεξεργασμένο φοινικέλαιο έχει χρώμα κόκκινο και περιέχει τριγλυκερίδια με κατά προσέγγιση 50% κορεσμένα λιπαρά οξέα (κυρίως παλμιτικό οξύ), 40% μονοακόρεστα και 10% πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, μαζί με καροτενοειδή (βακατένη), βιταμίνες E και B1. Το φοινικέλαιο, ένα κοινό λάδι μαγειρέματος στην Αφρική, στη Νοτιοανατολική Ασία και σε μέρη της Βραζιλίας, χρησιμοποιείται επίσης από τις εμπορικές βιομηχανίες τροφίμων παγκοσμίως (Mba et al., 2015).

Το ακατέργαστο φοινικέλαιο δεν είναι εδώδιμο επειδή περιέχει μη επιθυμητά συστατικά, όπως συμβαίνει και με τα περισσότερα έλαια που παραλαμβάνονται από φυτικής προέλευσης πρώτες ύλες, κυρίως σπέρματα και καρπούς πλούσιους σε έλαιο. Για να καταστεί εδώδιμο είναι απαραίτητος ο εξευγενισμός του που αποσκοπεί στην απομάκρυνση των συστατικών αυτών ή στη μείωση των επιπέδων τους σε αποδεκτό για την ποιότητα του εδώδιμου πλέον ελαίου βαθμό. Τα προς απομάκρυνση συστατικά είναι κυρίως τα ελεύθερα λιπαρά οξέα, ίχνη μετάλλων, τα φωσφολιπίδια, τα καροτενοειδή, και δύσοσμες πτητικές ενώσεις που είναι δευτερογενή προϊόντα οξείδωσης των ακόρεστων λιπαρών οξέων. Μαζί με αυτά απομακρύνονται μερικώς και επιθυμητά συστατικά (τοκοφερόλες και τοκοτριενόλες). Ο εξευγενισμός μπορεί να είναι είτε συμβατικός (περιλαμβάνει την αποκομμίωση, την εξουδετέρωση, τον αποχρωματισμό με τη χρησιμοποίηση αποχρωστικής γης, και την απόσμιση), είτε φυσικός κατά τον οποίο γίνεται ταυτόχρονα η εξουδετέρωση, ο αποχρωματισμός και η απόσμιση σε πολύ υψηλές θερμοκρασία (240-270°C). Ο

φυσικός εξευγενισμός προτιμάται επειδή είναι περισσότερο αποτελεσματικός και έχει χαμηλότερο κόστος. Οι απώλειες σε έλαιο είναι επίσης μικρότερες, ενώ παράγονται και μικρότερες ποσότητες αποβλήτων (Affandi, 2007). Επειδή το φοινικέλαιο

περιέχει τριακυλογλυκερόλες με μεγάλες διαφορές στο σημείο τήξεως, αυτές που απαντώνται σε υγρή μορφή διαχωρίζονται σε μια σχετικώς χαμηλή θερμοκρασία, με κρυστάλλωση και διήθηση, από αυτές που στη θερμοκρασία αυτή απαντώνται σε στερεή μορφή. Με τον τρόπο αυτό λαμβάνονται δύο κλάσματα, ένα υγρό (olein) και ένα στερεό (stearin), που είναι μικρότερης εμπορικής αξίας. Δύο είναι οι επικρατέστεροι τύποι κλασμάτωσης του φοινικελαίου, η ξηρή κλασμάτωση και η κλασμάτωση με χρήση τασιενεργών (detergents) (Affandi, 2007, Cheng Hai, 2002).

Όταν το κόκκινο φοινικέλαιο εξευγενιστεί μετατρέπεται σε λευκό φοινικέλαιο, καθώς κάποια από τα θρεπτικά συστατικά του (καροτενοειδή) αφαιρούνται. Με σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε κορεσμένα λιπαρά και λιγότερες θρεπτικές ουσίες, αμφισβητείται η καταλληλότητά του για κατανάλωση. Παρόλο που το κόκκινο φοινικέλαιο είναι ανώτερο θρεπτικά, το λευκό φοινικέλαιο μπορεί να θεωρηθεί ως μια ποιά υγιεινή επιλογή. Τα καροτένια προσδίδουν στο αγνό φοινικέλαιο το κόκκινο χρώμα του και όταν εξευγενιστεί απομακρύνεται το μεγαλύτερο ποσοστό τους. Έτσι το έλαιο αποκτά ένα ανοιχτό κίτρινο χρώμα όταν βρίσκεται σε υγρή κατάσταση ενώ όταν στερεοποιείται γίνεται άσπρο, παρόλα αυτά δεν απομακρύνονται όλα τα θρεπτικά συστατικά, κάποιες τοκοφερόλες και τοκοτριενόλες απομακρύνονται, ενώ οι περισσότερες από αυτές παραμένουν. Το εξευγενισμένο φοινικέλαιο περιέχει 67% τοκοφερόλες και 73% τοκοτριενόλες, έτσι προκύπτει ότι το λευκό φοινικέλαιο εξακολουθεί να είναι μια καλή πηγή Βιταμίνης Ε. Το λευκό φοινικέλαιο είναι χημικά σταθερό, ανθεκτικό στην οξείδωση και περιέχει την αντιοξειδωτική δύναμη από τις τοκοφερόλες και τις τοκοτριενόλες (Fife, 2007).

Γαλακτικό οξύ (E270)

Το γαλακτικό οξύ είναι αρκετά διαδεδομένο χημικό συστατικό, αρχικά θεωρήθηκε ως συστατικό του γάλακτος από τον Scheele όταν το ανακάλυψε για πρώτη φορά το 1780. Αργότερα ονομάστηκε *acide lactique* από τον Lavoisier το 1789 (Young-Jung Wee et al., 2006), παράγεται από βακτήρια όπως τα *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus* και *Lactobacillus bulgaricus* όταν ζυμώνουν τους υδατάνθρακες από γαλακτοκομικές και μη πηγές, που βρίσκεται στο ξινισμένο γάλα,

στη μελάσα, στα μήλα και στο χυμό ντομάτας. Εμπορικά παρασκευάζεται από διάφορα φυσικά προϊόντα όπως π.χ. οι πατάτες, το καλαμπόκι, με θέρμανση του σε υψηλές θερμοκρασίες και στη συνέχεια με ζύμωση με ειδικά βακτήρια. Το γαλακτικό οξύ είναι άχρωμο ή υποκίτρινο, σχεδόν άοσμο σιροπώδες υγρό με όξινη γεύση αποτελούμενη από μίγμα γαλακτικού οξέος και λακτιδίου του γαλακτικού οξέος. Το γαλακτικό οξύ έχει την ιδιότητα να αυξάνει την αντιοξειδωτική δράση άλλων ουσιών. Έχει παρατηρηθεί ότι προκαλεί πεπτικές διαταραχές σε βρέφη, γι' αυτό χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή. Χρησιμοποιείται ως συντηρητικό τροφίμων και για τον αρωματισμό τους (Gruño, 1986). Στα παραγόμενα γαλακτώματα προστίθεται για τη ρύθμιση του pH που επιθυμούμε να κυμαίνεται μεταξύ 4,7 και 6 με ιδανικές τιμές μεταξύ 5,1 και 5,7 για γευστικούς λόγους (Bachman, 2001). Ωστόσο δεν χρησιμοποιείται μόνο ως πρώτη ύλη για την παραγωγή διαφόρων προϊόντων με ζύμωση, αλλά χρησιμοποιείται επίσης σε βιομηχανίες φαρμακευτικών και κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων.

Ασκορβικό οξύ (E300)

Η πιο κοινή γνωστή από όλες τις βιταμίνες, η βιταμίνη C είναι υδατοδιαλυτή ουσία, που μοιάζει με υδατάνθρακα και λαμβάνει μέρος σε διαδικασίες του μεταβολισμού κυρίως των ζωικών οργανισμών. Απομονώθηκε από τα επινεφρίδια το 1928 από τον Ούγγρο βιοχημικό νομπελίστα Άλμπερτ Ζεντ Γκιόργκι και αναγνωρίστηκε ως παράγοντας θεραπείας του σκορβούτου το 1932. Η ονομασία της ασκορβικό οξύ προέρχεται από την έκφραση αντισκορβουτική βιταμίνη, δηλαδή την βιταμίνη που θεραπεύει και προλαμβάνει το σκορβούτο. Η βιταμίνη C έχει τεράστια σημασία για τον ανθρώπινο οργανισμό και είναι αναγκαία για τις διάφορες μεταβολικές λειτουργίες, όπως η σύνθεση του κολλαγόνου, η διατήρηση της σταθερότητας των αιμοφόρων αγγείων, το μεταβολισμό των αμινοξέων και της απελευθέρωσης των διαφόρων ορμονών στα επινεφρίδια. Οι ημερήσιες ανάγκες του ανθρώπου σε βιταμίνη C είναι μεγάλες και φτάνουν τα 70-80 mg.

Το ασκορβικό οξύ στη βιομηχανία τροφίμων χρησιμοποιείται ως αντιοξειδωτική ουσία και παρασκευάζεται συνθετικά. Βρίσκεται σε μορφή άοσμης κρυσταλλικής σκόνης με λευκή έως ελαφρά γκριζοκίτρινη χρώση (Μπόσκου, 1997).

Χρησιμοποιείται συνήθως για την πρόληψη του ενζυμικού μαυρίσματος στα κομμένα φρούτα και λαχανικά και θεωρείται αντιοξειδωτικό. Λειτουργεί ως αναγωγικό μέσο μεταφέροντας τα άτομα υδρογόνου πίσω στις κινόνες που σχηματίζονται από την ενζυμική οξείδωση φαινολικών ενώσεων, και δρα ως απορροφητής οξυγόνου σε ένα κλειστό σύστημα. Επίσης, το ασκορβικό οξύ διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις αντιδράσεις που παράγουν τις οξειδωμένες γεύσεις, οι οξειδωμένες γεύσεις στο φρέσκο γάλα που δεν συνδέονται με την αλλοίωση του λίπους αλλά με ασταθή λιπίδια στη μεμβράνη των λιποσφαιρίων. Στο γάλα, η προσθήκη ασκορβικού οξέος επιβραδύνει την ανάπτυξη οξειδωμένων αρωμάτων αλλά δεν εμποδίζει την ανάπτυξη της αρωματικής γεύσης (Fennema, 1999).

Σορβικό οξύ (E 200)

Το σορβικό οξύ και το άλας καλίου του, κοινώς ονομαζόμενα σορβικά, αναγνωρίζονται γενικά ως ασφαλείς ενώσεις (GRAS), βρίσκεται σε διάφορα φρούτα, αλλά για την εμπορική του χρήση παρασκευάζεται συνθετικά από την κετόνη. Το σορβικό οξύ βρίσκεται υπό την μορφή ρέουσας σκόνης με ελαφρά χαρακτηριστική οσμή, της οποίας το χρώμα δεν μεταβάλλεται μετά από θέρμανση στους 105C⁰ επί 90 λεπτά. Χρησιμοποιείται σαν συντηρητικό, επειδή δεν επιτρέπει την ανάπτυξη μυκήτων και ζυμομυκήτων όταν το pH κυμαίνεται από 4-6. Αντίθετα, δεν είναι πάρα πολύ αποτελεσματικό έναντι των βακτηριδίων, έτσι η ιδιότητά του αυτή το καθιστά ιδανικό για την συντήρηση των τυριών, αφού επιτρέπει την ανάπτυξη των ωφέλιμων βακτηριδίων που θα πραγματοποιήσουν τις αναγκαίες ζυμώσεις. Το σορβικό οξύ δεν δημιουργεί ιδιαίτερα προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου, είναι όμως ερεθιστικό για το δέρμα, όταν τοποθετηθεί απευθείας σ' αυτό (κατά τη χρήση του από τους εργαζόμενους των βιομηχανιών τροφίμων). Είναι ελαφρώς διαλυτό στο νερό, ενώ το σορβικό ασβέστιο είναι κάπως διαλυτό. Το σορβικό κάλιο είναι η μορφή που χρησιμοποιείται ευρύτερα στη βιομηχανία τροφίμων λόγω της σταθερότητας, της ευκολίας παρασκευής και της εξαιρετικής διαλυτότητάς του στο νερό (μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή 50% αποθεματικών διαλυμάτων). Στα έλαια, το σορβικό οξύ είναι περισσότερο διαλυτό από το σορβικό κάλιο. Έχουν εξετασθεί και άλλα παράγωγα του σορβικού οξέος, αλλά οι εμπορικές εφαρμογές παρεμποδίζονται

από προβλήματα όπως είναι η χαμηλή διαλυτότητα στο νερό και οι ισχυρές γεύσεις (Kasrazdeh & Genigeorgis, 1993). Τα προϊόντα που το περιέχουν είναι κομπόστες, ζελέδες φρουτοσαλάτες, χυμοί φρούτων, ποτά χωρίς αλκοόλ, χυμοί τομάτας, συμπυκνωμένα εκχυλίσματα λαχανικών, μαργαρίνη, τυριά ακατέργαστα, τυριά σε φέτες, κρασιά από μήλο, αρωματισμένα σιρόπια για μιλκ σέικ και παγωτά (Μπόσκου 1997).

Χλωριούχο νάτριο

Το κοινό μαγειρικό αλάτι (NaCl) προστίθεται στα παραγόμενα γαλακτώματα ως βελτιωτικό γεύσης. Επιπλέον, επηρεάζει την υφή του τυριού μέσω της ιοντικής αλληλεπίδρασης των Na^+ και Ca^+ και αποτρέπει την μετανάστευση των καζεϊνών από την καζεϊνική μάζα στη φάση του ορού. Άρα συμβάλλει στη διατήρηση της σταθερότητας του γαλακτώματος. Αντίθετα δεν επιτρέπει τη συγκράτηση υγρασίας με αποτέλεσμα να δρα και ως συντηρητικό αποτρέποντας την ανάπτυξη ανεπιθύμητων μικροοργανισμών. Την δράση αυτή ενισχύουν και τα ιόντα Cl που αποτρέπουν την εκβλάστηση τυχόν μικροβιακών σπόρων (Bachman, 2001).

Η συγκέντρωση του αλατιού στα φυσικά τυριά που παρασκευάζονται από γάλα, κυμαίνεται περίπου στα 0,7-4 g/100g. Στα ανακατεργασμένα και αναπληρώματα τυριών η περιεκτικότητά τους σε αλάτι κυμαίνεται σε μικρότερα όρια από 1-2 g/100g. Μεγάλες συγκεντρώσεις αλατιού έχουν συνδεθεί με προβλήματα υγείας όπως είναι ο καρκίνος στομάχου, οι πέτρες στα νεφρά, ο διαβήτης, η υψηλή πίεση, τα εγκεφαλικά επεισόδια ή ακόμα και η οστεοπόρωση αφού η υψηλή περιεκτικότητα σε NaCl αυξάνει την απώλεια του οργανισμού σε Ca. Αυτός είναι ένας λόγος για τον οποίο υπερτερούν τα αναπληρώματα τυριών σε σχέση με τα φυσικά τυριά όσον αφορά την υγιεινή διατροφή του καταναλωτή, αφού περιέχουν μικρότερες συγκεντρώσεις αλατιού. Μικρές πάλι συγκεντρώσεις αλατιού έχουν ως αποτέλεσμα την γρήγορη ανάπτυξη ανεπιθύμητων βακτηρίων τα οποία προκαλούν εκτεταμένη πρωτεόλυση με αποτέλεσμα την εμφάνιση πικρής γεύσης. Εκτός αυτού αυξάνεται η δραστηριότητα του νερού και η οξύτητα ενώ μειώνεται η σκληρότητα του προϊόντος. Για όλους τους

παραπάνω λόγους έχει βρεθεί ότι η ιδανική συγκέντρωση αλατιού στα είδη τυριών είναι μεταξύ 13 και 16 g/kg (δηλαδή 1,3-1,6%) (El-Bakry, 2012).

2.3.5 Αντικατάσταση καζεΐνης / καζεϊνικών αλάτων

Οι ερευνητές μπαίνουν στον πειρασμό να υποκαταστήσουν μέρος της καζεΐνης/καζεϊνικών αλάτων, καθώς οι φυτικές πρωτεΐνες ή τα άμυλα είναι πολύ φθηνότερα από αυτά τα συστατικά. Η αύξηση του ποσοστού αντικατάστασης της καζεΐνης από συνολικές πρωτεΐνες γάλακτος, στο εύρος του 0-50%, είχε ως αποτέλεσμα μια προοδευτική αύξηση της σταθερότητας και μια μείωση της ρευστότητας των προϊόντων αναπληρώματος τυριού (Analogue Cheese Products-ACP). Η αντικατάσταση 20,0% της καζεΐνης από τυτιά με φυσική φωσφοκαζεΐνη που παρασκευάστηκε με μικροδιήθηση αύξησε την ικανότητα ροής του λιωμένου ACP (Abou-El-Nour et al., 2001).

Η ενσωμάτωση πρωτεϊνών ορού γάλακτος σε ACP ως υποκατάστατο του τυριού ή της καζεΐνης επηρέασε την ικανότητα ροής και αύξησε τη σταθερότητα του προϊόντος. Συνεπώς, οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος πρέπει να περιορίζονται σε 1-3% w/w επίπεδα σε εφαρμογές όπου απαιτούνται ACPs που είναι ανθεκτικά στη ροή (πχ. τυρί σε μπιφτέκι).

Οι πρωτεΐνες των φυτών, π.χ. πρωτεΐνες σόγιας, φιστικιών ή σίτου, δίνουν ποικίλα αποτελέσματα εξαρτώμενα από την παρασκευή των συστατικών (π.χ. αλεύρι σόγιας ή απομόνωση σόγιας, pH, περιεκτικότητα σε λιπαρά) και τον τύπο και το επίπεδο άλλων συστατικών (π.χ υδροκολλοειδών) που χρησιμοποιούνται στη σύνθεση.

Το επίπεδο υποκατάστασης μεγαλύτερο από 20,0% w / w της ολικής πρωτεΐνης ως φυτικής πρωτεΐνης, γενικά έχει βρεθεί ότι παρέχει κατώτερη ποιότητα στα ACP σε σύγκριση με εκείνη που γίνεται χρησιμοποιώντας αποκλειστικά καζεΐνη. Μερικά από τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται όταν χρησιμοποιούνται φυτικές πρωτεΐνες σε υψηλότερα επίπεδα περιλαμβάνουν έλλειψη ελαστικότητας, χαμηλότερη σκληρότητα, συγκολλητικό / κολλώδες σώμα, μειωμένη ροή και ελαστικότητα και συχνά συνδέονται με κακή γεύση (Guinee et al., 2004).

Το άμυλο έχει ενσωματωθεί σε απομιμήσεις τυριού, κυρίως για να αντικαταστήσει την ακριβότερη καζεΐνη (Zwiercan et al., 1987; Mounsey & O'Riordan, 2001). Το φυσικό άμυλο αραβοσίτου χρησιμοποιείται κατά προτίμηση στο εμπόριο, ενώ τα άμυλα από άλλες πηγές και με διαφορετικούς τύπους τροποποιήσεων (προζελατινοποιημένα ή / και χημικά ή ενζυμικά τροποποιημένα) χρησιμοποιούνται λιγότερο συχνά. Το φυσικό άμυλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε επίπεδα 2-4% για να αντικαταστήσει περίπου το 10-15% της συνολικής καζεΐνης σε ανάλογο τυρί. Τα άμυλα (π.χ. αραβόσιτος, σιτάρι) με υψηλή αναλογία αμυλόζης προς αμυλοπηκτική τείνουν να οπισθοδρομούν και να υποβάλλονται σε ζελατινοποίηση ευκολότερα από εκείνα (π.χ. κηρώδης αραβόσιτος, ρύζι, πατάτα) με χαμηλότερο επίπεδο αμυλόζης κατά την αποθήκευση αναπληρώματος τυριού (Mounsey & O'Riordan, 2001). Οι Mounsey & O'Riordan (2001) κατέγραψαν μειωμένη τήξη και συνεκτικότητα σε απομιμήσεις τυριού που περιείχαν αυξανόμενο επίπεδο αμύλου. Η σκληρότητα των αναπληρωμάτων αυξήθηκε όταν χρησιμοποιήθηκε άμυλο σιταριού, πατάτας και αραβοσίτου, αλλά μειώθηκε με χρήση κηρώδους αραβοσίτου ή αμύλου από ρύζι.

2.3.6 Αντικατάσταση λίπους γάλακτος

Για πολλά χρόνια έχουν παρασκευαστεί συνθετικά τυροκομικά προϊόντα, όπου το λίπος βουτύρου που παραδοσιακά υπάρχει στο τυρί πλήρους λίπους αντικαταστάθηκε από ένα εναλλακτικό, λιπαρό, ζωικό ή φυτικό λίπος. Η πρακτική αυτή έγινε ευρέως διαδεδομένη στις αρχές της δεκαετίας του 1940 όταν προχώρησε η τεχνολογία επεξεργασίας, όπως για παράδειγμα, οι ομογενοποιήσεις και η ανάμειξη υγρών. Σε σχεδόν όλες τις περιπτώσεις, τα συνθετικά τυριά είχαν χαμηλό κόστος, το οποίο ήταν ίσως ο σημαντικότερος μεμονωμένος παράγοντας στην αρχική αποδοχή των συνθετικών γαλακτοκομικών προϊόντων. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, με την αυξημένη ευαισθητοποίηση του κοινού σχετικά με τους κινδύνους της χοληστερόλης που απαντώνται σε ζωικά λίπη, τα συνθετικά προϊόντα, στα οποία το λίπος βουτύρου αντικαθίσταται με λιπαρές ουσίες, έχουν αυξημένη δημοτικότητα (Kong-Chan et al., 1991).

Οι διάφορες διαδικασίες με υδρογονωμένα φυτικά έλαια, όπως σπόροι σόγιας, φιστίκι, φοινικοπυρήνα, βαμβακέλαιο, καρύδα ή καλαμπόκι, αναπτύχθηκαν (Lobato-Calleros et al., 1984; Brander et al., 1985; Arellano-Gomez et al., 1996). Η χρήση φυτικών λιπαρών μπορεί να δώσει στο τυρί μια συνοχή που το καθιστά ακατάλληλο για ορισμένες εφαρμογές. Το λιπαρό λίπος προσδίδει σκληρότητα και συγκολλητικότητα στα ανάλογα μόρια, αλλά μειώνει τη συνοχή και τη συνοχή τους, ενώ το αντίθετο οφειλόταν σε σόγια και λίπος βουτύρου (Lobato-Calleros et al., 1997). Οι αναλογίες τυριού που παρασκευάστηκαν με διαφορετικές αναλογίες βουτυρικού οξέος και / ή σογιελαίου ου έδειξαν σημαντικές διαφορές στην υφή (Arellano-Gomez et al., 1996). Το αναπλήρωμα τυριού φιστικιού είχε ελαστικά χαρακτηριστικά όπως το τυρί Mozzarella (Chen et al., 1979). Όταν χρησιμοποιούνται μείγματα διαφορετικών τύπων λίπους, η συμπεριφορά που αναστέλλεται από ένα δεδομένο χαρακτηριστικό υφής είναι ο μέσος όρος που παρέχεται από κάθε λίπος από μόνη της (Lobato-Calleros et al., 1997). Χρησιμοποιώντας το ανάλογο τυποποιημένο τυρί που περιέχει 4 λίπη με διαφορετικές σκληρότητες, αποδείχθηκε ότι ο ρόλος του λίπους στην υφή εξαρτάται από τις φυσικοχημικές του ιδιότητες (Marshall, 1991). Ο σχηματισμός μικρών και πολυάριθμων σταγονιδίων λίπους έχει σχέση με τα ανάμεικτα τυροειδή ανάλογα, δεδομένου ότι η έκφραση της πρωτεϊνικής μήτρας κατά την υφή του προϊόντος μειώνεται λόγω της διαταραχής της δομής της (Lobato-Calleros & Vernon-Carter, 1998). Για να αποφευχθεί η λίπανση, ο Hansen (1986) πρότεινε την επικάλυψη των λιπαρών σφαιριδίων με την ύλη του γάλακτος.

Οι Kong-Chan et al. (1991) χρησιμοποίησαν μια λιπαρή ουσία η οποία είναι άπεπτη ή μερικώς εύπεπτη ή χαμηλότερη σε καθαρή θερμιδική ικανότητα σε προσομοιωμένα προϊόντα τυριού με μειωμένο ζωικό λίπος και θερμίδες. Μεταξύ των λιπαρών υλικών με μειωμένες θερμίδες για ενσωμάτωση είναι οι πολυεστέρες πολυολυδριτών οξέων. Τα πλέον προτιμώμενα υλικά χαμηλής θερμιδικής αξίας για χρήση στα προσομοιωμένα τυροκομικά προϊόντα περιλαμβάνουν ζάχαρη, αλκοόλη σακχάρου και πολυγλυκερόλη λιπαρών οξέων.

Οι Rybinski et al. (1993) παρείχαν περιγραφή ενός αναλόγου μη λιπαρού τυριού με συνολική περιεκτικότητα σε λιπαρά μικρότερη από 0,5%. Ένα μη λιπαρό

αναπλήρωμα τυριού παράχθηκε με συνδυασμό καζεΐνης πυτιάς, νερού και γαλακτωματοποιητών. Οι Kerrigan et al. (1992) εφεύραν την παρασκευή μη λιπαρού φυσικού τυριού με ομογενοποίηση υψηλής πίεσης για να παράσχουν μία διασπορά καζεΐνης. Οι Muir et al. (1999) μελέτησαν την αντικατάσταση του λίπους γάλακτος με άμυλο ή πρωτεΐνη ορού γάλακτος με άμυλο στο αναμενόμενο αναλογικό τυποποιημένο τυρί. Οι αναλογικοί δείκτες που περιείχαν άνυδρο λίπος γάλακτος (AMF) διακρίνονταν εύκολα από τις υψηλότερες βαθμολογίες τους για την «κρεμώδη» και «βουτυρική» υφή.

2.4 Ρεολογία

Οι ιδιότητες που αναφέρονται στη συμπεριφορά ενός υλικού όταν αυτό ρέει υπό την επίδραση δύναμης ή δυνάμεων, καθώς και η συμπεριφορά του υλικού όταν παραμορφώνεται υπό την επίδραση δύναμης ή όταν ρέει υπό την επίδραση δύναμης, ονομάζονται μηχανικές ιδιότητες. Στην περίπτωση που λαμβάνεται υπόψη και ο χρόνος επίδρασης της δύναμης πάνω στο υλικό, τότε οι ιδιότητες ονομάζονται ρεολογικές (Ραφαηλίδης, 1987). Η επιστήμη που μελετά τη ροή και την παραμόρφωση των υλικών κάτω από την άσκηση πίεσης ονομάζεται ρεολογία. Ο όρος ρεολογία χρησιμοποιήθηκε από τον Eugene C. Bingham το 1928. Η ρεολογία καθιερώθηκε ως η επιστήμη της παραμόρφωσης και της ροής ενός αντικειμένου και μελετά με ποιον τρόπο τα υλικά αντιδρούν στην εφαρμοσμένη πίεση και τάση (Λαζαρίδης, 2000).

Τα τρόφιμα δεν μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ξεκάθαρα σε στερεά ή υγρά, καθώς δεν είναι ούτε ιξώδη ούτε ελαστικά, άλλα ιξωδοελαστικά (Borwankar & Shoemaker, 1992). Η σύνθεση και η δομή ενός τροφίμου καθορίζουν την ρεολογία του και η ρεολογία ενός τροφίμου καθορίζει και την υφή του (Borwankar & Shoemaker, 1992). Το ιξώδες, είναι αναμφισβήτητα η φυσική ιδιότητα ενός υγρού που έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στα χαρακτηριστικά της ροής του. Το ιξώδες περιγράφει το μέγεθος της αντίστασης που προβάλλεται μέσα στη μάζα του υγρού κατά την

εφαρμογή δυνάμεων διάτμησης, δυνάμεων δηλαδή που ενεργούν παράλληλα προς τη διεύθυνση ροής του ρευστού (Λαζαρίδης, 2000).

2.4.1 Ρεολογικές έννοιες

Η δύναμη η οποία εφαρμόζεται σε ένα υλικό και το εξαναγκάζει να κινηθεί λέγεται διατμητική τάση (σ). Δηλαδή, ως τάση ορίζεται μια εφαρμοζόμενη δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας ($\sigma = F/A$) και συνήθως μονάδα μέτρησης είναι το Pascal (N/m^2). Εάν η δύναμη εφαρμόζεται κάθετα στην επιφάνεια, ορίζεται ως τάση συμπίεσης ή εφελκυσμού και συμβολίζεται με σ . Όταν η δύναμη εφαρμόζεται παράλληλα (εφαπτομενικά) με την επιφάνεια του υλικού στην οποία ασκείται, τότε ονομάζεται τάση διάτμησης και συμβολίζεται με τ . Υπάρχουν και άλλοι τύποι τάσης όπως στρέψης, κάμψης, ιστροπική κ.ά.

Γενικά μπορούν να εκφραστούν από την σχέση:

$$\tau \text{ ή } \sigma = F / A$$

όπου F είναι η εφαρμοζόμενη δύναμη και A η επιφάνεια στην οποία εφαρμόζεται η δύναμη. Η παραμόρφωση (γ) που υφίσταται το ρευστό εκφράζεται ως ρυθμός παραμόρφωσης, ή ταχύτητα παραμόρφωσης, ή ταχύτητα διάτμησης ($\dot{\gamma}$). Συγκεκριμένα είναι η μετακίνηση σωματιδίων ενός υλικού σε σχέση το ένα με το άλλο έτσι ώστε να μη καταστρέφεται η συνέχεια του σώματος, με αποτέλεσμα μόνο τη μεταβολή του σχήματος ή/και του όγκου.

Μία από τις σημαντικότερες ιδιότητες των ρευστών είναι το ιξώδες (viscosity). Ιξώδες (η) ονομάζεται η αντίσταση στην ροή ενός ρευστού (εσωτερική τριβή) όταν δρουν σε αυτό δυνάμεις διάτμησης, η οποία οφείλεται στην επίδραση των δεσμών που συγκρατούν τη δομή του ρευστού και ορίζεται ως ο λόγος της τάσης προς την ταχύτητα διάτμησης ($\eta = \sigma/\dot{\gamma}$).

Για τα περισσότερα ρευστά, η ελαστική συμπεριφορά είναι πολύ μικρή ή μπορεί να αγνοηθεί, η πιο σημαντική ρεολογική ιδιότητά τους αποτελεί το ιξώδες. Το ιξώδες

αποτελεί μέτρο μέτρησης της εσωτερικής τριβής ή αλλιώς είναι η ιδιότητα ενός ρευστού που υποδηλώνει αντίσταση σε συνεχή παραμόρφωση (Ραφαηλίδης, 2006). Αν δύο παράλληλα επίπεδα στη μάζα ενός ρευστού κινούνται το ένα σχετικά με το άλλο, έχει βρεθεί ότι μια σταθερή δύναμη θα πρέπει να εξασκείται ώστε να διατηρείται μια σταθερή σχετική ταχύτητα. Αν τα επίπεδα βρίσκονται σε απόσταση z το ένα από το άλλο και αν η σχετική τους ταχύτητα είναι u , τότε η δύναμη F που απαιτείται για να διατηρήσει την κίνηση έχει βρεθεί πειραματικά να είναι ανάλογη της u και αντίστροφα ανάλογη της z για πολλά ρευστά. Ο συντελεστής αναλογίας ονομάζεται ιξώδες του ρευστού και συμβολίζεται ως η .

$$F/A = \eta u/z$$

όπου A η επιφάνεια στην οποία ασκείται η δύναμη. Ο λόγος u/z ονομάζεται ρυθμός διάτμησης (Chinnan et al., 1985; Steffen 1996).

2.4.2 Παραμόρφωση στερεών

Ο τύπος συμπεριφοράς κατά την οποία ένα παραμορφωμένο σώμα επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση, όταν η τάση που προκαλεί την παραμόρφωση απομακρυνθεί, ονομάζεται ελαστικότητα. Έτσι, η ύπαρξη της τάσης είναι απαραίτητη για να προκαλέσει και να διατηρήσει την παραμόρφωση. Η απλούστερη συμπεριφορά λαμβάνεται, όταν η τάση είναι ανάλογη με την παραμόρφωση. Αυτή η απλή συσχέτιση είναι ο νόμος του Hooke και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει την συμπεριφορά πολλών στερεών τροφίμων, όταν υφίστανται μικρές παραμορφώσεις (μικρότερες από 0,01). Μεγαλύτερες παραμορφώσεις προκαλούν καταστροφή της δομής τους ή μη γραμμική συμπεριφορά.

Στην περίπτωση της συμπίεσης και του εφελκυσμού, όπου εφαρμόζεται δύναμη κάθετη προς την επιφάνεια, υπολογίζεται το μέτρο ελαστικότητας ή μέτρο του Young (E) που περιγράφεται από την σχέση:

$$E = \sigma / \epsilon$$

όπου ϵ αναφέρεται στη γραμμική παραμόρφωση.

Το μέτρο ελαστικότητας είναι μέτρο της σκληρότητας του υλικού. Η αντίστοιχη μορφή του νόμου του Hooke για την απλή διάτμηση είναι:

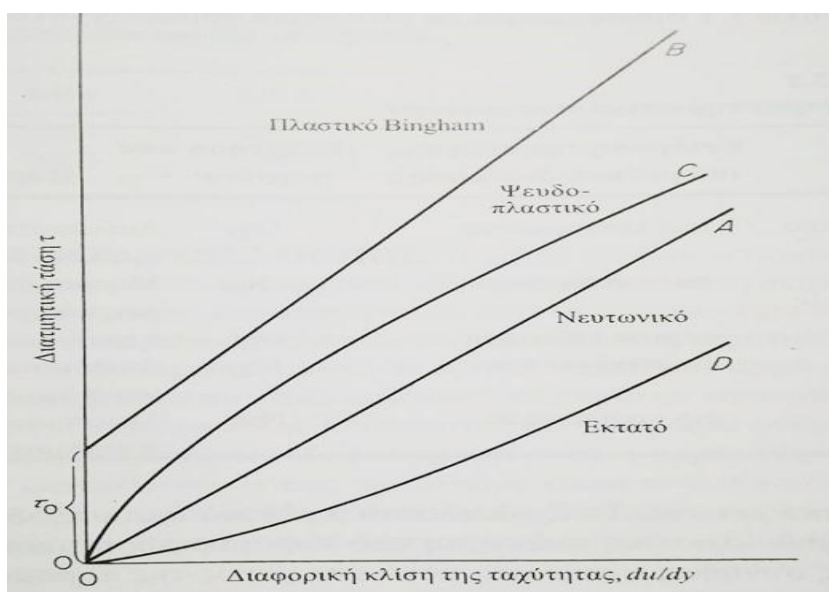
$$G = \tau \dot{\gamma}$$

όπου G είναι το μέτρο διάτμησης.

Για ένα καθαρά ελαστικό σώμα, όλο το έργο που δαπανάται για την παραμόρφωση του υλικού, αποθηκεύεται ως ελαστική ενέργεια και μπορεί να ανακτηθεί όταν το υλικό επιτρέπεται να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση (Steffe, 1996).

2.4.3 Ρεολογικές ιδιότητες των ρευστών

Οι σχέσεις που συνδέουν τη διατμητική τάση με το ρυθμό διάτμησης σε ένα πραγματικό ρευστό αποτελούν μέρος του αντικειμένου της επιστήμης της ρεολογίας. Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται διάφορα παραδείγματα της ρεολογικής συμπεριφοράς των ρευστών. Οι καμπύλες είναι οι γραφικές παραστάσεις της διατμητικής τάσης ως προς τον ρυθμό διάτμησης και αναφέρονται σε σταθερή θερμοκρασία και πίεση.



Σχήμα 2. Εξάρτηση της διατμητικής τάσης από τη διαφορική κλίση της ταχύτητας για νευτώνικά και μη νευτώνικά ρευστά (McCabe et al., 2003).

Η πιο απλή συμπεριφορά είναι αυτή που περιγράφει η γραφική παράσταση Α, που είναι μια ευθεία γραμμή που περνά από την αρχή των αξόνων. Τα ρευστά που συμπεριφέρονται με τον τρόπο που περιγράφει η ευθεία ονομάζονται νευτωνικά ρευστά. Τα αέρια και τα περισσότερα υγρά είναι νευτωνικά ρευστά (McCabe et al., 2003).

Πρόκειται για ρευστά που επιδεικνύουν απλή ρεολογική συμπεριφορά. Στην περίπτωση των νευτώνειων ρευστών, η διατμητική τάση (τ) είναι ευθέως ανάλογη με το ρυθμό διάτμησης ($\dot{\gamma}$) του ρευστού και περιγράφεται από τη σχέση:

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

Σε ένα διάγραμμα της διατμητικής τάσης σε συνάρτηση με το ρυθμό διάτμησης, όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση της ευθείας τόσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες (Wallevik & Wallevik, 2011).

Οι υπόλοιπες καμπύλες του σχήματος αντιπροσωπεύουν τη ρεολογική συμπεριφορά των μη νευτωνικών υγρών. Ορισμένα υγρά π.χ τα αιωρήματα των αποχετεύσεων, δεν ρέουν καθόλου μέχρι να πάρει μια συγκεκριμένη τιμή η διατμητική τάση (που συμβολίζεται με τ_0) και στη συνέχεια ρέουν γραμμικά ή σχεδόν γραμμικά σε διατμητικές τάσεις μεγαλύτερες του τ_0 .

Τα μη νευτώνεια ρευστά χαρακτηρίζονται από το φαινομενικό ιξώδες η_{app} (Barnes et al., 1989). Για την περιγραφή της συμπεριφοράς των μη νευτώνειων ρευστών προτάθηκε η σχέση:

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

που ονομάζεται γενική εξίσωση του εκθετικού νόμου (powerlaw) και όπου k είναι ο συντελεστής συνεκτικότητας, n ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς και η τάση διαρροής, η οποία απαιτείται σε ορισμένα υγρά για να αρχίσουν να ρέουν (Βλαχάβας & Δοϊτσίνης, 2001).

Η καμπύλη Β αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της σχέσης (McCabe et al., 2003). Τα υγρά που συμπεριφέρονται κατ' αυτόν τον τρόπο ονομάζονται πλαστικά

Bingham στα οποία για να αρχίσει η παραμόρφωση πρέπει η διατμητική τάση να υπερβεί μια ελάχιστη τιμή που αναφέρεται ως τάση διαρροής. Τη ρεολογική αυτή συμπεριφορά παρουσιάζουν διάφορα συστήματα διασποράς δυο φάσεων, όπως αιωρήματα. Για τα ρευστά αυτά η τάση διαρροής τους είναι μεγαλύτερη του μηδενός και ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς ισούται με τη μονάδα. Παράδειγμα τέτοιου είδους ρευστό είναι το κέτσαπ (Ραφαηλίδης, 2006).

Η καμπύλη C αντιπροσωπεύει ένα ψευδοπλαστικό ρευστό. Η καμπύλη περνάει από την αρχή των αξόνων, είναι κοίλη προς τα κάτω σε χαμηλές διατμητικές τάσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου ρευστού είναι το ελαστικό latex (McCabe et al., 2003). Τα ψευδοπλαστικά ρευστά αναφέρονται επίσης ως ρευστά διατμητικής διάτμησης. Το ιξώδες αυτών των ρευστών θα μειωθεί με την αύξηση του ρυθμού διάτμησης (Rapp, 2017). Για τα ρευστά αυτά, η τάση διαρροής τους είναι μηδέν και ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς είναι μικρότερος της μονάδας. Τυπικά παραδείγματα ψευδοπλαστικών υγρών είναι πολυμερή διαλύματα και παρόμοια διαλύματα ουσιών υψηλού μοριακού βάρους. Σε χαμηλές ταχύτητες διάτμησης, αυτά τα υγρά θα βιώσουν το σχηματισμό διατμητικής πίεσης. Η διατμητική τάση έχει ως αποτέλεσμα την αναδιάταξη των μορίων προκειμένου να μειωθεί η συνολική τάση (Βλαχάβας & Δοϊτσίνης, 2001; Rapp, 2017) Πολλά κολλοειδή συστήματα τροφίμων εμφανίζουν ψευδοπλαστικότητα, η οποία οφείλεται σε ένα "σπάσιμο" της δομής κατά την εφαρμογή τάσης. Τα πυκνά γαλακτώματα - κρέμες και οι περισσότερες πηκτές - γέλες ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία (Ριτζούλης, 2011).

Η καμπύλη D αντιπροσωπεύει ένα εκτατό ρευστό. Η καμπύλη αυτή είναι κοίλη προς τα πάνω σε χαμηλές διατμητικές τάσεις και γίνεται σχεδόν γραμμική σε υψηλές διατμητικές τάσεις. Τέτοια συμπεριφορά εμφανίζουν η κινούμενη άμμος και ορισμένα γαλακτώματα που περιέχουν άμμο. Τα ψευδοπλαστικά ρευστά γίνονται πιο λεπτόρρευστα όσο αυξάνεται η διάτμηση, ενώ τα εκτατά ρευστά γίνονται πιο παχύρρευστα όσο αυξάνεται η διάτμηση (McCabe et al., 2003). Για τα ρευστά αυτά, η τάση διαρροής τους είναι μηδέν και ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς είναι μεγαλύτερος της μονάδας (Βλαχάβας & Δοϊτσίνης, 2001).

Καμία από τις καμπύλες του σχήματος δεν εξαρτάται από τι έχει υποστεί το ρευστό. Ορισμένα υλικά εμφανίζουν την ίδια συμπεριφορά ανεξάρτητα από το χρονικό διάστημα κατά το οποίο εφαρμόστηκε η διατμητική τάση.

Τα θιξοτροπικά υγρά διασπώνται υπό την επίδραση συνεχούς διάτμησης και κατά την ανάμιξη δίνουν μικρότερες διατμητικές τάσεις για ένα δεδομένο ρυθμό διάτμησης, δηλαδή το φαινόμενο ιξώδες τους μειώνεται με το χρόνο (McCabe et al., 2003).

Οι ρεοπηκτικές ουσίες παρουσιάζουν την αντίστροφη συμπεριφορά, δηλαδή η διατμητική τάση αυξάνεται με το χρόνο όπως και το φαινόμενο ιξώδες τους. Στα τρόφιμα που παρουσιάζουν ρεοπηξία, τα συστατικά τους τείνουν να συσσωματώνονται και να σχηματίζουν τρισδιάστατα πλέγματα (χωροπλέγματα) που προσδίδουν κάποιο βαθμό ακαμψίας στην υφή. Τα πλέγματα αυτά προκύπτουν από αλληλεπιδράσεις διαφόρων χαρακτηριστικών ενεργών ομάδων μεταξύ τους. Οι αρχικές δομές και τα αρχικά φαινόμενα ιξώδη ανακτώνται όταν τα ρευστά αφήνονται να ηρεμήσουν.

Τα ιξωδοελαστικά ρευστά έχουν ιξώδεις και ελαστικές ιδιότητες. Εμφανίζουν ελαστική ανάκτηση από παραμορφώσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη ροή, όμως συνήθως ανακτάται μόνο ένα μέρος της παραμόρφωσης με την απομάκρυνση της τάσης. Κατά την παραμόρφωσή τους υπό σταθερές συνθήκες, τα ιξωδοελαστικά ρευστά αναπτύσσουν τάσεις και ο προσδιορισμός τους επιτρέπει την εκτίμηση της ελαστικότητάς τους. Η εκτίμηση της ιξωδοελαστικότητας μπορεί ακόμη να γίνει με την παραμόρφωση του υλικού υπό μη σταθερές συνθήκες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα ιξωδοελαστικών ρευστών είναι η ζύμη από αλεύρι, το ναπάλμ και μερικά πολυμερή τήγματα (Steffe, 1996; McCabe et al., 2003).

2.4.4 Ρεολογικές δοκιμές

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των ρεολογικών χαρακτηριστικών του τυριού μπορούν σε γενικές γραμμές να καταταγούν ως

οργανοληπτικές και ενόργανες, όπου οι ενόργανες μέθοδοι μπορούν να ταξινομηθούν περαιτέρω σε εμπειρικές και θεμελιώδεις.

2.4.5 Οργανοληπτικές μέθοδοι

Ο στόχος των οργανοληπτικών μεθόδων, οι οποίες συνήθως εκτελούνται από βαθμολογητές τυριών, είναι να αποκτήσει μια υφή που γίνεται αντιληπτή κατά τη διάρκεια της κατανάλωσης. Η υφή του τυριού μπορεί να οριστεί ως μία σύνθεση οργανοληπτικών χαρακτηριστικών που προκύπτουν από ένα συνδυασμό φυσικών ιδιοτήτων που γίνονται αντιληπτές με τις αισθήσεις της αφής (συμπεριλαμβανομένων και των στοματικών) και της όρασης (Brennan, 1988). Οι συνθήκες σε αυτές τις δοκιμές συχνά περιλαμβάνουν παραμορφώσεις που έχουν ως αποτέλεσμα οπτικά κατάγματα, όπως όταν τρίβουμε το τυρί ανάμεσα στα δάκτυλα ώσπου να γίνει εύπλαστο, τρία σημεία κάμψης ενός κυλινδρικού σχήματος τυριού ή φέτας τυριού, με τη δύναμη που απαιτείται για να λυγίσει ή να σπάσει. Εναλλακτικά, το τυρί μπορεί να αξιολογηθεί από την εφαρμογή της δύναμης ή παραμόρφωσης που δεν προκαλούν ορατά κατάγματα, π.χ., πατώντας με το μπροστινό μέρος του αντίχειρα την επιφάνεια όλου του τυριού και στη συνέχεια να αξιολογείται ο βαθμός της εσοχής ή η δύναμη που ασκήθηκε στα δάκτυλα. Σε όλες τις περιπτώσεις, η αποτύπωση της αίσθησης τυποποιείται και ο βαθμολογητής καταγράφει το αποτέλεσμα, που βασίζεται σε ένα ή περισσότερα κριτήρια, όπως οι συνθήκες δοκιμής και η αντίδραση σ' αυτές.

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν την υφή του τυριού έχουν ταξινομηθεί σε πρωτογενή και δευτερογενή. Τα πρωτογενή, από τα οποία προέρχονται όλα τ' άλλα, αφορούν τη σύνθεση, τη μικρο- και μακροδομή και τις μοριακές ιδιότητες. Τα δευτερογενή συνδέονται άμεσα με τις ρεολογικές ιδιότητες και είναι αυτές που σχετίζονται με τις καταπονήσεις και τις πιέσεις κατά τη διάρκεια του φαγητού, όπως η σκληρότητα, η ευθρυπτότητα, ελαστικότητα και η συγκολλητικότητα. Σύμφωνα με αυτή την κατάταξη, τα δευτερεύοντα χαρακτηριστικά συνδέονται με την αρχική αντίληψη στο στόμα, δηλαδή, κατά την επαφή με τη γλώσσα, τον ουρανίσκο και τα δόντια πριν τη μάσηση. Εκτός από την οργανοληπτική εξέταση των περισσότερων

από τα παραπάνω χαρακτηριστικών, κάποια από αυτά μπορούν να εξετασθούν και με τη χρήση μηχανημάτων. Τα χαρακτηριστικά αυτά περιλαμβάνουν τη σκληρότητα, τη συνοχή, τη συγκολλητικότητα, την ελαστικότητα, το ιξώδες, την ευθρυπτότητα και μασητικότητα. Οι μετρήσεις αυτές δίνουν αρκετά καλά αποτελέσματα.

2.4.6 Ενόργανες μέθοδοι

Πολλές μελέτες που αφορούν στην υφή εμπεριέχουν και ρεολογικές μετρήσεις με σκοπό να μιμηθούν την αισθητήρια αποτίμηση που δίνει η υφή του τυριού. Ο σκοπός των ενόργανων δοκιμών είναι να μετρήσουν την παράμετρο, που η εμπειρία έχει αποδείξει, ότι σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά της υφής του τυριού. Ως εκ τούτου, και ενώ οι συνθήκες των δοκιμών είναι αυθαίρετες και οι πιέσεις και τανύσεις που επενεργούν δεν είναι ακριβώς καθορισμένες, λαμβάνεται μια τιμή η οποία δίνει μια ένδειξη των χαρακτηριστικών της υφής του τυριού και διαφοροποιεί ένα δείγμα από ένα άλλο. Ωστόσο, παρέχουν μόνο μια τιμή από ένα σύνολο μετρήσεων από πολλές και διαφορετικές πτυχές της ρεολογικής συμπεριφοράς.

Σ' αυτές τις δοκιμές, το δείγμα συμπιέζεται ή υπόκειται σε διείδυση μία ή περισσότερες φορές, μιμούμενα τη συμπίεση ή τη διείδυση που συμβαίνει από τα δόντια κατά τη διάρκεια της μάσησης. Όπως και η δοκιμή που γίνεται με το σφαιροσυμπιεστή που μιμείται το βαθμολογητή που πιέζει με το μπροστινό μέρος του αντίχειρα του το τυρί.

2.4.6.1 Μηχανικές ιδιότητες στερεών

Οι μηχανικές ιδιότητες στερεών που προκύπτουν κατά την ανάλυση κατατομής της υφής (TPA) μπορούν να συνοψιστούν ως εξής (Ταχματζίδου, 2015):

H1 (N): Σκληρότητα 1. Αντιπροσωπεύει την τιμή της δύναμης που ασκείται στο δείγμα όταν έχει ολοκληρωθεί η πρώτη συμπίεση σε αυτό.

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.

A2 (J): Έργο συμπίεσης 2. Είναι η ενέργεια που απαιτείται κατά τη δεύτερη συμπίεση του δείγματος.

A3 (J): Συγκολλητικότητα. Είναι η τάση του τυριού να αντιστέκεται στην αποκόλλησή του από το υλικό με το οποίο έρχεται σε επαφή (π.χ. άλλο συστατικό, επιφάνεια μαχαιριού ή ουρανίσκου). 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 (m): Ελαστικότητα. Είναι η τάση του τυριού να ανακτά το αρχικό σχήμα και τις αρχικές διαστάσεις όταν η τάση σταματά να υφίστανται. Είναι το ύψος που επανακτά το δοκίμιο μετά την πρώτη συμπίεση. Μετράται κατά τη δεύτερη συμπίεση.

S2 (m): Εκτατότητα. Είναι η τάση του τυριού να σχηματίζει χορδές όταν τεντώνεται. Είναι η επιμήκυνση του δείγματος μέχρι αυτό να αποκολληθεί από την πλάκα συμπίεσης κατά την πρώτη αποσυμπίεση.

E (Pa): Μέτρο ελαστικότητας ή μέτρο του Young: $E = \sigma/\epsilon$, όπου $\sigma = F/A$. Οι παράμετροι σ , F , A και ϵ είναι η τάση συμπίεσης, η δύναμη συμπίεσης, η επιφάνεια συμπίεσης και η παραμόρφωση, αντίστοιχα. Πρέπει $\epsilon \leq 10\%$.

B (N): Ευθραυστότητα. Είναι η τάση του σκληρού τυριού να θρυμματίζεται όταν υπόκειται στη δράση εξωτερικής δύναμης. Αντιπροσωπεύει την τιμή της δύναμης που ασκείται στο δείγμα κατά την εμφάνιση της θραύσης της δομής του σε σχέση με το χρόνο.

G (N): Κομμώδης 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 (J): Μασητικότητα. Αντιστοιχεί στην ενέργεια μάσησης που απαιτείται στο στόμα ώστε στερεά τροφή να μετατραπεί σε ημίρρευστη. Προκύπτει από το γινόμενο της κομμώδους υφής επί την ελαστικότητα.

2.4.6.2 Ρεολογικές ιδιότητες ημίρρευστων

Οι ρεολογικές ιδιότητες ημίρρευστων δειγμάτων, όπως εξετάζονται κατά τη λιπαινόμενη συμπίεστη ροή ανάγονται στις ακόλουθες:

$\sigma_{app@2mm}$ (Pa): Φαινομενική τάση στο τέλος της συμπίεσης. Είναι ο λόγος F_0/A , όπου F_0 είναι η δύναμη στο τέλος της συμπίεσης για παραμόρφωση 80% και A η επιφάνεια συμπίεσης. Αντιστοιχεί στη συνεκτικότητα του δείγματος.

$\sigma_{app@3min}$ (Pa): Φαινομενική τάση στο τέλος της χαλάρωσης, μετά από 3 min. Είναι ο λόγος F_3/A , όπου F_3 είναι η δύναμη στο τέλος της χαλάρωσης και A η επιφάνεια συμπίεσης. Αντιστοιχεί στο στερεό χαρακτήρα του δείγματος.

3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της εργασίας ήταν η διερεύνηση της δυνατότητας ανάπτυξης αναπληρωμάτων τυριού με συστατικά όπως το καζεϊνικό νάτριο, το άμυλο πατάτας και το φοινικέλαιο. Στη συνέχεια, μελετήθηκε η επίδραση των διαφορετικών συστατικών στις φυσικοχημικές, μηχανικές και ρεολογικές ιδιότητες των τελικών προϊόντων που παρασκευάστηκαν.

4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πειραματικό μέρος της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Ελέγχου και Διασφάλισης Ποιότητας του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

4.1 Πρώτες ύλες

Για την παρασκευή των αναπληρωμάτων τυριού χρησιμοποιήθηκαν οι εξής πρώτες ύλες:

- Φοινικέλαιο
- Καζεϊνικό νάτριο
- Άμυλο πατάτας
- Νερό
- Χλωριούχο νάτριο
- Σορβικό κάλιο
- Ασκορβικό οξύ
- Γαλακτικό οξύ

4.2 Περιγραφή εργαστηριακού ομογενοποιητή-παστεριωτήρα

Για την παρασκευή των αναπληρωμάτων τυριού χρησιμοποιήθηκε η συσκευή ομογενοποίησης Stephan Universal Machine UMC 5, η οποία παρέχει τη δυνατότητα ταυτόχρονης θέρμανσης υπό κενό. Η συσκευή αυτή είναι ευέλικτη και πολυδύναμη, προσφέρει αποτελεσματική κοπή και ομογενή ανάμιξη δημιουργώντας σταθερά γαλακτώματα σε πολύ μικρούς χρόνους παρτίδας.

Η διάταξη της συσκευής παρουσιάζεται στο Σχήμα 3. Πρόκειται για μία συσκευή που αποτελείται από ένα κυλινδρικό κάδο ανάμιξης από ανοξείδωτο χάλυβα, όπου τοποθετείται το προς επεξεργασία μίγμα. Εσωτερικά αυτού τοποθετείται το μαχαίρι 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 είναι δυνατός ο καθαρισμός τους μετά από κάθε χρήση. Η διάταξη

μαχαιριών κοπής συνδέεται με τον κινητήρα, ο οποίος επιτυγχάνει 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 υδατόλουτρο 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. Στο καπάκι αυτό βρίσκεται ενσωματωμένος ένας χειροκίνητος αναδευτήρας από πολυαμίδιο, ο οποίος χρησιμεύει για την αποκόλληση προϊόντος από τα τοιχώματα του κάδου, ώστε να αποφεύγεται η θερμική καταπόνησή του. Το καπάκι ασφαλίζει και η συσκευή συνδέεται με αντλία κενού, ώστε να απάγεται ο αέρας από τη μάζα του υπό παρασκευή μίγματος. Το καπάκι επίσης διαθέτει βαλβίδα για την εκτόνωση του συστήματος, όταν η παρασκευή του δείγματος έχει ολοκληρωθεί. Τέλος, ο χειρισμός της συσκευής γίνεται μέσω ενός πληκτρολογίου πάνω από το οποίο υπάρχει οθόνη, με ενδείξεις του χρόνου και της θερμοκρασίας του δείγματος ανά πάσα στιγμή.



Σχήμα 3. Η συσκευή ομογενοποίησης Stephan Universal Machine UMC 5.

4.3 Πειραματική διαδικασία παρασκευής δειγμάτων

Για την παρασκευή των αναπληρωμάτων τυριού χρησιμοποιήθηκαν καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας (σε αναλογία 3:1), φοινικέλαιο, νερό, σορβικό κάλιο, ασκορβικό οξύ, γαλακτικό οξύ και αλάτι (NaCl). Σε όλα τα δείγματα που παρασκευάστηκαν οι περιεκτικότητες των καζεϊνικού νατρίου, του φοινικέλαιου, του αμύλου πατάτας και του νερού μεταβάλλονταν, ενώ αυτές του γαλακτικού οξέος (1,5%), σορβικού καλίου (0,1%), ασκορβικού οξέος (0,1%) και αλατιού (1,5%) παρέμεναν σταθερές.

Στην προκαταρκτική μελέτη παρασκευάστηκαν δείγματα αναπληρωμάτων τυριών με ακραίες συγκεντρώσεις καζεϊνικού νατρίου, αμύλου πατάτας, φοινικέλαιου και νερού προκειμένου να βρεθούν τα όρια των συγκεντρώσεων μέχρι τα οποία μπορούν να παρασκευαστούν σταθερά γαλακτώματα. Αφού βρέθηκαν τα όρια, ξεκίνησε το κύριο πειραματικό μέρος της μελέτης. Για αρχή σχεδιάστηκε το πειραματικό σχέδιο της μελέτης με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος Minitab 18.1. Το πειραματικό αυτό σχέδιο υποδείκνυε την παρασκευή των 13 διαφορετικών δειγμάτων.

Οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των δειγμάτων ήταν ένας ζυγός ακριβείας για την μέτρηση του βάρους-όγκου των υλικών και ο εργαστηριακός ομογενοποιητής Stephan Universal Machine UMC 5 για την ομοιόμορφη ανάμιξη αυτών. Τα υλικά αφού ζυγίζονταν στις συγκεντρώσεις που υπαγορεύονταν από το πειραματικό σχέδιο κάθε φορά, τοποθετούνταν όλα στον κάδο ανάμιξης, αφού προηγουμένως είχε τοποθετηθεί το μαχαίρι. Στη συνέχεια, ο κάδος ανάμιξης τοποθετούνταν στη θέση του στη συσκευή και κλεινόταν ερμητικά με το καπάκι του, στο οποίο ελέγχονταν οι δύο του βαλβίδες, δημιουργίας κενού και εκτόνωσης κενού, να είναι κλειστές. 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 min στα 2000 rpm. Με τη λήξη της ανάδευσης, κλεινόταν ο διακόπτης του υδατόλουτρου, ανοιγόταν η βαλβίδα εκτόνωσης του κενού, αφαιρούνταν το καπάκι του κάδου και απομακρυνόταν ο κάδος από τη συσκευή.

Το ρευστό μίγμα άμεσα μεταφερόταν σε ειδικά καλούπια για την μετέπειτα μελέτη της υφής του, πριν μειωθεί η θερμοκρασία του και δεν μπορεί να μορφοποιηθεί. Τα καλούπια αυτά ήταν δυο ειδών: το ένα είδος έδινε δείγματα στα οποία επρόκειτο να γίνει ανάλυση κατατομής της υφής τους (TPA) και το άλλο είδος έδινε δείγματα στα οποία επρόκειτο να εφαρμοστεί η δοκιμή της λιπαινόμενης συμπιεστής ροής (SF). Και τα δυο είδη καλουπιών επαλείφονταν με παραφινέλαιο πριν την εισαγωγή του μίγματος σε αυτά, για να είναι εύκολη η εξαγωγή των δειγμάτων από αυτά, και τυλίγονταν με διαφανής 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. Καλούπια και βάζα φυλάσσονταν σε θερμοκρασία 4°C.

4.4 Αναλυτής υφής

Ο αναλυτής υφής TA-XT Plus Universal Texture Analyser ανήκει στις συσκευές αξιολόγησης της υφής τροφίμων και μελέτης των ρεολογικών ιδιοτήτων τους και η διάταξή του φαίνεται στο Σχήμα 4.

Όλες οι κεφαλές φόρτισης αποθηκεύουν τη βαθμονόμηση και τις πληροφορίες προσδιορισμού τους, ενώ η σύνδεση της συσκευής με ηλεκτρονικό υπολογιστή κάνει τη χρήση τους ακόμα πιο εύκολη. Τα δεδομένα για το ακουστικό, ηλεκτρικό και οποιαδήποτε άλλο ψηφιακό σήμα μπορούν να ληφθούν και από το χρήστη. Διαθέτει τέσσερα εξωτερικά κανάλια RS485 που χρησιμοποιούν ένα τυποποιημένο πρωτόκολλο βιομηχανίας MODBUS. Κάθε κανάλι καταγράφει σε ένα δείγμα ανά δέκα δευτερόλεπτα σε 16 μπιτ και είναι κατάλληλο για την αντίληψη της εξωτερικής θερμοκρασίας, υγρασίας κλπ.

Το TA-XT Plus περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα τυποποιημένων προγραμμάτων ανάλυσης υφής, συμπεριλαμβανομένων των δοκιμών τάσης-παραμόρφωσης, ημιτονοειδών δοκιμών, ανάλυσης κατατομής υφής (TPA), κύκλων κόπωσης και τάσης-χαλάρωσης. Στον Πίνακα 1 παρατίθενται οι προδιαγραφές της συσκευής.



Σχήμα 4. Συσκευή TA-XT Plus Universal Texture Analyzer.

Πίνακας 1. Προδιαγραφές Αναλυτή Υφής

1	Ανώτατη δύναμη: 30kg	Ευαισθησία δύναμης: 1,0g
2	Εύρος ταχυτήτων: 0,01-40mm/s (μέγιστη 20mm/s στην κεφαλή των 50kg)	
3	Ακρίβεια ταχύτητας: καλύτερη του 0,1%	
4	Ρύθμιση θέσης: 0,001295mm	
5	Διακριτότητα θέσης: 0,001m	
6	Ταχύτητα λήψης δεδομένων: μέχρι 500 σημεία ανά δευτερόλεπτο για κάθε κανάλι στοιχείων	
7	Σύνδεση με Η/Υ: μέσω θύρας RS232 115200 BAUD	
8	Θερμοκρασία λειτουργίας: 0-40°C	
9	Γενικές διαστάσεις: 665mm ύψος×440mm βάθος×280mm πλάτος	
10	Βάρος: 16,2kg	

4.5 Δοκιμή ανάλυσης κατατομής υφής (TPA)

Η τεχνική της ανάλυσης κατατομής υφής TPA (Texture Profile Analysis) στηρίζεται στη συμπίεση του δείγματος από ζεύγος πλακών και χρησιμοποιείται για να ληφθούν καμπύλες δύναμης – χρόνου. Τα δείγματα τοποθετούνται σε ειδικά ανοξείδωτα κυλινδρικά καλούπια διαμέτρου 22mm και ύψους 22mm 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 γίνεται απόξεση στην επιφάνεια τους για να γίνει λεία και έπειτα αφαιρούνται οι δακτύλιοι προσεκτικά.

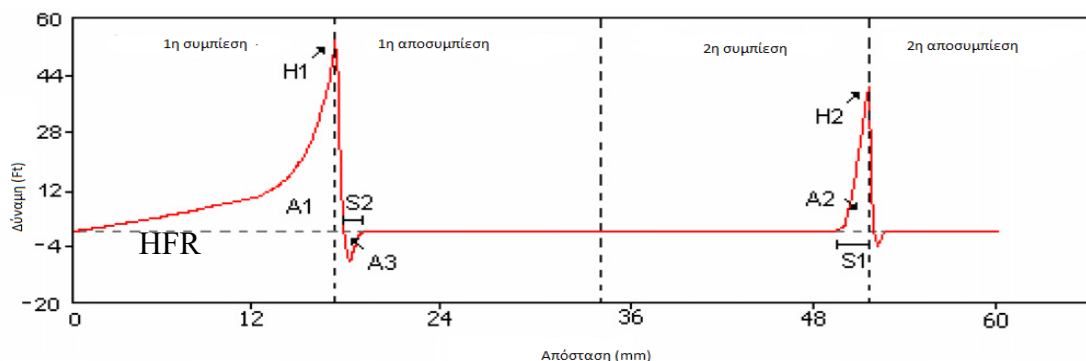
Κατά αυτόν τον τρόπο τα υπό συμπίεση δείγματα διατηρούν το κυλινδρικό τους σχήμα. Στη συνέχεια τοποθετούνται τα δείγματα ανάμεσα στις δύο πλάκες απ' τις οποίες η άνω μόνο πλάκα είναι κινητή. Η άνω πλάκα λοιπόν, η οποία έχει διάμετρο 7,5 cm, κατέρχεται μέχρι να συναντήσει το δοκίμιο. Από εκείνο το σημείο 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 δυο διαδοχικούς και όμοιους κύκλους συμπίεσης-αποσυμπίεσης, ως προσομοίωση της μάσησης.

Η ταχύτητα κίνησης της πλάκας έχει οριστεί για το πείραμά μας να είναι 0,33mm/s. Καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμής, το ηλεκτρονικό καταγραφικό του οργάνου κατέγραφε τη στιγμιαία δύναμη. Για το κάθε υπό ανάλυση δείγμα πραγματοποιήθηκαν δύο επαναλήψεις.

Συνοψίζοντας, οι συνθήκες δοκιμής TPA παρατίθενται συγκεντρωμένες παρακάτω:

- Θερμοκρασία: 4°C
- Διαστάσεις κυλινδρικών δοκιμίων: 22×22mm
- Ταχύτητα κεφαλής: 0,33 mm/s
- Παραμόρφωση: 80%

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 5.



Σχήμα 5. Καμπύλη δύναμης – απόστασης που προκύπτει κατά τη δοκιμή TPA

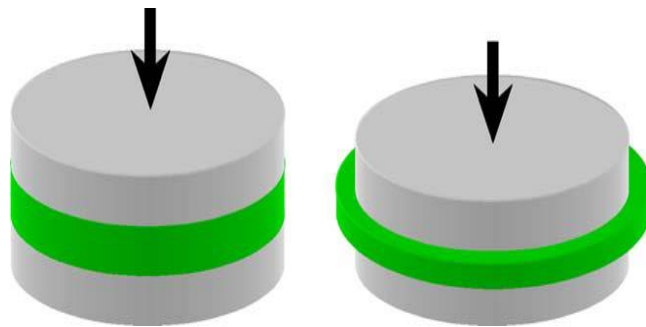
Οι μηχανικές ιδιότητες που εξετάζονται κατά τη μέθοδο TPA είναι:

- **H1 (N):** Σκληρότητα 1
- **H2 (N):** Σκληρότητα 2
- **A1 (J):** Έργο συμπίεσης 1
- **A2 (J):** Έργο συμπίεσης 2
- **A3 (J):** Συγκολλητικότητα
- **C:** Συνεκτικότητα
- **S1 (m):** Ελαστικότητα
- **S2 (m):** Εκτατότητα
- **G (N):** Κομμώδης υφή

4.6 Δοκιμή λιπαινόμενης συμπιεστής ροής (Squeeze flow)

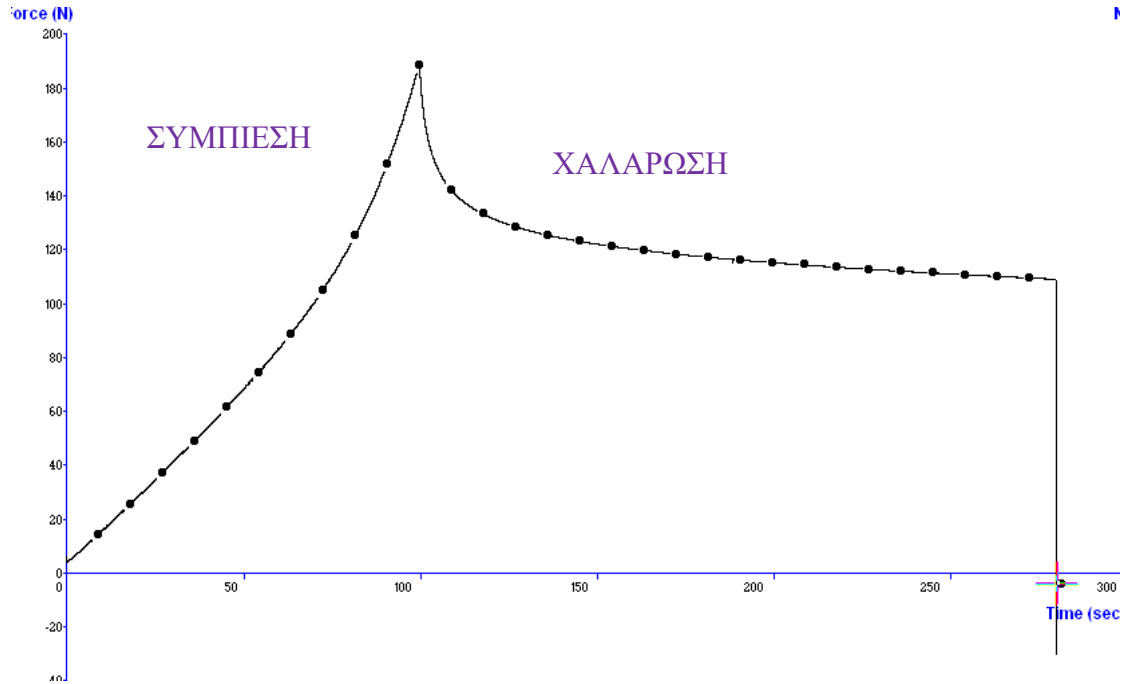
Μετά την τήξη και παστερίωση των δειγμάτων, ακολούθησε πλήρωση των κυκλικών υποδοχέων (καλούπια) από τεφλόν, ύψους 10mm και διαμέτρου 100mm με την κατάλληλη ποσότητα δείγματος πάνω σε γυάλινες βάσεις οι οποίες έχουν καλυφθεί επαρκώς με παραφινέλαιο. Οι δίσκοι από τεφλόν είχαν αλειφθεί και αυτοί με παραφινέλαιο.

Στα δείγματα μέσα στους υποδοχείς εφαρμοζόταν ελαφρά πίεση ώστε να καλυφθούν όλα τα κενά στους υποδοχείς και να αποφευχθούν σημεία μη πληρωμένα με υλικό. Πριν γίνει η μέτρηση, γινόταν επάλειψη με παραφινέλαιο της επιφάνειας των δακτυλίων που ήταν ακάλυπτη. Με προσεχτικές κινήσεις αφαιρούνταν ο δακτύλιος από τεφλόν από τα δείγματα έτσι ώστε να μη διαταραχθεί η δομή και το σχήμα που είχαν πάρει τα δείγματα πάνω στη γυάλινη πλάκα. Με τον τρόπο αυτό τα δείγματα διατηρούσαν το κυκλικό τους σχήμα και ομοιόμορφο ύψος 5mm. Επάλειψη με παραφινέλαιο γινόταν και στην πλάκα που ήταν προσαρμοσμένη στην κεφαλή του οργάνου πριν την έναρξη της κάθε δοκιμής. Η ρεολογική δοκιμή της συμπίεσης είναι βασισμένη στη συμπίεση ενός δείγματος μεταξύ δύο παράλληλων πλακών (Σχήμα 6). Μπορούν να ταξινομηθούν σε δοκιμές σταθερής επιφάνειας ή σταθερό όγκου δείγματος ή εναλλακτικά, σε εκείνες που βασίζονται σε σταθερό φορτίο ή σταθερό ποσοστό παραμόρφωσης (Shukla et al., 1995).



Σχήμα 6. Συμπίεση δείγματος με σταθερή επαφή μεταξύ του δείγματος και των δύο παράλληλων πλακών.

Στο Σχήμα 7 δίνεται η καμπύλη δύναμης – χρόνου κατά τη δοκιμή της λιπαινόμενης συμπιεστής ροής (συμπίεση και χαλάρωση).



Σχήμα 7. Καμπύλη δύναμης – χρόνου κατά τη δοκιμή Squeeze flow

Κατά τη δοκιμή λιπαινόμενης συμπιεστής ροής, 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).

Η μετατόπιση της επιφάνειας του δείγματος που συμβαίνει όταν εφαρμόσουμε μία εξωτερική δύναμη, είτε συμπιεστική είτε εφελκυστική, είναι το αθροιστικό αποτέλεσμα της παραμόρφωσης σε κάθε σημείο σε όλο το μήκος του δείγματος. Η σχέση μεταξύ της τάσης και της παραμόρφωσης είναι χαρακτηριστική για τα υλικά και εξαρτάται από τη θερμοκρασία, ενώ για τα ιξωδοελαστικά υλικά, εξαρτάται και από άλλους παράγοντες συμπεριλαμβανομένων, του χρόνου που η τάση εφαρμόζεται, η ιστορία της τάσης-παραμόρφωσης πριν τη δοκιμή και ο βαθμός της παραμόρφωσης

Οι ρεολογικές ιδιότητες που εξετάστηκαν κατά τη δοκιμή Squeeze flow :

- $\sigma_{app@2mm}$ (Pa): Φαινομενική τάση στο τέλος της συμπίεσης
- $\sigma_{app@3min}$ (Pa): Φαινομενική τάση στο τέλος της χαλάρωσης

4.7 Φυσικοχημικές αναλύσεις

4.7.1 Προσδιορισμός pH

Η μέτρηση του pH των τυριών έγινε με τη βοήθεια φορητού πεχαμέτρου, μοντέλο HI 8424 NEW (Hanna Instruments) (Σχήμα 8), το οποίο είναι συνδεδεμένο με ηλεκτροδίο βύθισης στη μάζα, μοντέλο HI 1230B (Hanna Instruments).

Αρχικά ρυθμίζεται το όργανο με τη χρησιμοποίηση δύο ρυθμιστικών διαλυμάτων pH 7 και 4. Έπειτα, αφού το δείγμα έχει εξισορροπηθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, ενεργείται η μέτρηση του pH με βύθιση του ηλεκτροδίου του στη μάζα του προϊόντος. Μετά από μερικά δευτερόλεπτα σταθεροποίησης, λαμβάνεται η ένδειξη του πεχαμέτρου. Μετά από εμβάπτιση σε οποιοδήποτε διάλυμα, γίνεται έκπλυση του ηλεκτροδίου με αποσταγμένο νερό και καθαρισμός του με μαλακό απορροφητικό χαρτί. Αφού τελειώσουμε με τη χρήση του πεχαμέτρου γενικότερα και το καθαρίσουμε καλά, βάζουμε στο καπάκι του ηλεκτροδίου βύθισης KCl πριν την τοποθέτησή του.



Σχήμα 8. Μέτρηση του pH με το φορητό πεχάμετρο HI 8424 NEW (Hanna Instruments)

4.7.2 Προσδιορισμός χρώματος

Η μέτρηση του χρώματος των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια χρωματομέτρου HunterLab με σύστημα οπτικού αισθητήρα D25 με επεξεργαστή DP-9000 (Σχήμα 9). Το σύστημα D25 έχει κατασκευαστεί για να αντέχει τις σκληρές συνθήκες περιβάλλοντος και παρέχει ακριβή μέτρηση χρωμάτων και ανάλυσης σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών. Στον οπτικό αισθητήρα D25, φως από μια κυκλική λάμπα αλογόνου χαλαζία απευθύνεται σε δείγμα υπό γωνία 45° από την κάθετο. Το ανακλώμενο φως στη συνέχεια συλλέγεται σε έναν υποδοχέα που βρίσκεται ακριβώς πάνω από το δείγμα στις 0° από την κάθετο. Ο επεξεργαστής DP-9000 μετατρέπει τα σήματα από τον οπτικό αισθητήρα σε τιμές χρώματος σχετικές με την πηγή φωτός και 2° από τον πρότυπο παρατηρητή. Οι τιμές αυτές εμφανίζονται στην οθόνη υγρών κρυστάλλων. Όλες οι λειτουργίες του συστήματος εκτελούνται μέσω του πίνακα ελέγχου, ο οποίος περιέχει έξι πλήκτρα λειτουργιών και τέσσερα πλήκτρα με τα βέλη. Ο επεξεργαστής περιέχει επίσης καλυμμένο και έναν εσωτερικό εκτυπωτή για τις μετρήσεις χρώματος και άλλων δεδομένων εκτύπωσης. Η μνήμη του επεξεργαστή κρατά έως και 99 πρότυπα του προϊόντος και μπορεί να αποθηκεύσει έως και 400 μετρήσεις.



Σχήμα 9. Χρωματόμετρο Hunterlab D25 DP9000.

Πριν την έναρξη των μετρήσεων, πραγματοποιείται βαθμονόμηση του οργάνου με τη χρήση δύο προτύπων, ενός λευκού κεραμικού και ενός μαύρου πλαστικού πλακιδίου.

Ένας γλόμπος Ulbricht, σε συνδυασμό με έναν λαμπτήρα φλας Xenon, εκπέμπουν ακτινοβολία. Αυτό που μετράται είναι η διάχυτη αντανάκλαση του δείγματος σε γωνία 8°. Το φως διαβιβάζεται στη φορητή μονάδα μέτρησης μέσω καλωδίου οπτικών ινών για τον ακριβή διαχωρισμό πάνω στα πρότυπα φίλτρα χρώματος. Το ειδικό αυτό σύστημα μέτρησης παρέχει στο χρήστη αναπαραγωγικά αποτελέσματα. Οι μετρούμενες τιμές επεξεργάζονται από μικροεπεξεργαστές. Όλες οι μετρούμενες τιμές αποθηκεύονται και απεικονίζονται ψηφιακά.

Το χρωματόμετρο HunterLab λειτουργεί με βάση το χρωματικό μοντέλο CIELab το οποίο παρουσιάστηκε από την CIE το 1976. Πρόκειται για ένα ομοιόμορφο οπτικά χρωματικό χώρο ο οποίος προσομοιάζει καλύτερα από όλα τα χρωματικά συστήματα ή μοντέλα στην ανθρώπινη αντίληψη των χρωματικών διαφορών. Το κάθε χρώμα περιγράφεται από 3 συντεταγμένες.

Οι συντεταγμένες αυτές συμβολίζονται με τα γράμματα L^* , a^* και b^* . Η συντεταγμένη L^* (Lightness) εκφράζει τη φωτεινότητα ή λαμπρότητα και παίρνει τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό). Όσον αφορά στις άλλες δύο, οι θετικές τιμές της a^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κόκκινου και οι αρνητικές τιμές της a^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του πράσινου. Επίσης, οι θετικές τιμές της b^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κίτρινου, ενώ αρνητικές τιμές της b^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του μπλε. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό αυτού του χρωματικού μοντέλου είναι η ανεξαρτησία των πληροφοριών φωτεινότητας και αποχρώσεων.

4.7.3 Μέτρηση μεγέθους λιποσφαιρίων

Η συσκευή Mastersizer 2000, της εταιρίας Malvern (Σχ. 10), χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του μεγέθους των λιποσφαιρίων των δειγμάτων και την εκτίμηση της σταθερότητάς τους. Η αρχή λειτουργίας του οργάνου βασίζεται στην σκέδαση του φωτός όταν ακτίνες laser διέρχονται μέσα από τα σωματίδια (Σχ. 11). Η γωνία εκτροπής εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων, δηλαδή πιο 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 εγκάρσιας διατομής. Τα μικρά σωματίδια σκεδάζουν σε ευρύτερες οπτικές γωνίες αλλά με χαμηλή ένταση ενώ, τα μεγάλα σωματίδια σκεδάζουν το φως σε μικρές γωνίες με υψηλή ένταση.

Το υπό μελέτη υλικό τοποθετείται σε ειδική κυψελίδα (flow cell) και ακτινοβολείται από διπλή δέσμη φωτός: μια δέσμη laser He-Ne χαμηλής συχνότητας, “κόκκινη δέσμη”, και μια υψηλότερης συχνότητας, “μπλε δέσμη”, ώστε να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια. Οι δέσμες φωτός, εστιάζονται, φιλτράρονται και στη συνέχεια προσπίπτουν πάνω στα σωματίδια του υλικού και 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 συσσωρεύονται σε 100 μέρη διαφορετικής κλάσης μεγέθους. Έτσι το όργανο αυτό με δεδομένη τη γωνία σκέδασης και με γνωστούς τους δείκτες διάθλασης του μέσου διασποράς και των διεσπαρμένων σωματιδίων προσδιορίζει με ακρίβεια, ταχύτητα και αξιοπιστία το μέγεθος σωματιδίων διαμέτρου από 0,02 μm έως 2000 μm και με γνώμονα το μοντέλο σκέδασης του Mie καθορίζει την περιεκτικότητα κατ’ όγκο των σωματιδίων που ανήκουν σε καθεμία από τις κλάσεις μεγέθους. Επειδή η συσκευή βασίζεται σε βασικές αρχές δεν χρειάζεται βαθμονόμηση και ελέγχεται εύκολα ως προς την αξιοπιστία της (Malvern, 2005).

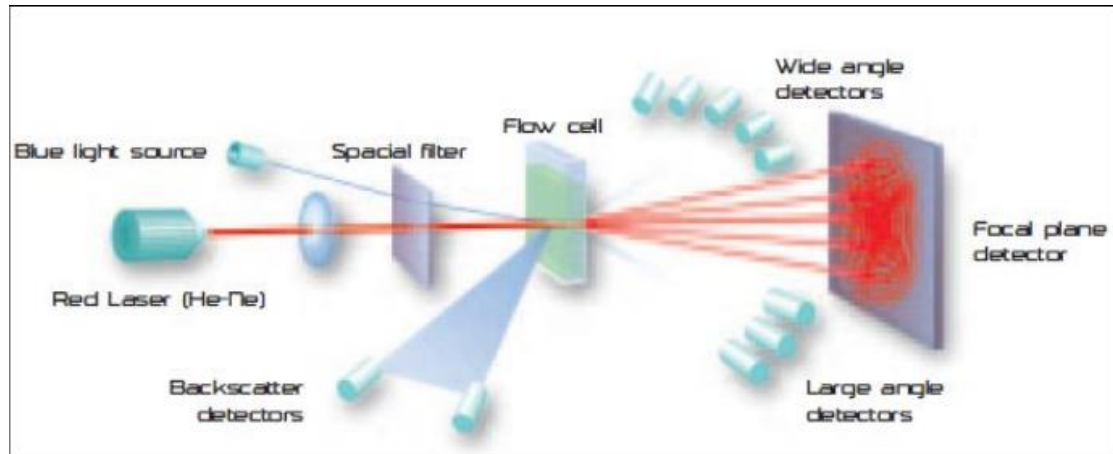
Το Mastersizer, χρησιμοποιεί το μοτίβο σκέδασης φωτός που σχετίζεται με ένα δείγμα ώστε να υπολογίσει την κατανομή στο μέγεθος των σωματιδίων και να ολοκληρώσει τη μέτρηση σε λίγα δευτερόλεπτα. Περιλαμβάνει για αυτόν τον σκοπό μία πηγή φωτός, ένα θάλαμο δείγματος και έναν καταγραφέα της έντασης της σκέδασης σε διάφορες γωνίες. Το σύστημα μπορεί να αναλύσει γαλακτώματα, αιωρήματα και ξηρές σκόνες και συνεπώς είναι κατάλληλο για πολλές εφαρμογές. Το όργανο διαθέτει δυο μονάδες εισαγωγής, τις Hydro 2000 και Scirocco 2000 για την

διεξαγωγή μετρήσεων σε υγρά αλλά και στερεά δείγματα αντίστοιχα (Malvern, 2005).

Πριν από τη μέτρηση του κάθε δείγματος, το μηχάνημα υπόκειται σε 2 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 συνεχίζει η ανάδευση γίνεται μέτρηση της διαύγειας του νερού. Αν η μέτρηση είναι στα επιτρεπόμενα όρια τότε γίνεται εισαγωγή 10-30 ml δείγματος. Στην πορεία λειτουργεί ο υπέρηχος για την μέτρηση του μέσου μεγέθους επί 30 δευτερόλεπτα. Η μέτρηση πραγματοποιείται και τα αποτελέσματα καταγράφονται αυτόματα σε πρόγραμμα εγκατεστημένο στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Για το κάθε δείγμα πραγματοποιούνται τρεις μετρήσεις. Τα αποτελέσματα λαμβάνονται με τη μορφή καμπύλης με διάμετρο λιποσφαιρίων $D(4,3)$ (μm).



Σχήμα 10. Απεικόνιση της συσκευής Malvern Mastersizer 2000 Hydro.



Σχήμα 11. Απεικόνιση της αρχής λειτουργίας της συσκευής Malvern Mastersizer 2000 Hydro.

4.7.3.1 Προετοιμασία των δειγμάτων

Σε κάθε δείγμα γίνεται αραιώση (9:1). Στη συνέχεια, τα αραιωμένα δείγματα μεταφέρονται σε ποτήρια ζέσεως με μαγνήτες ανάδευσης και παραμένουν σε ανάδευση για 2 ώρες. Τα δείγματα παραμένουν στον αναδευτήρα για μια ώρα και αμέσως μετά ακολουθεί μέτρηση του μεγέθους των λιποσφαιρίων στο Mastersizer.

4.8 Πολλαπλή παλινδρόμηση

Για την εύρεση του μοντέλου που περιγράφει επιτυχώς την επίδραση των τριών συστατικών των επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού ($p=3$) στις ρεολογικές και φυσικοχημικές ιδιότητες, μέσω πλέον των κύριων συνιστωσών, επιλέχθηκε η μέθοδος της πολλαπλής παλινδρόμησης.

Η επιλογή των στατιστικά σημαντικών παραγόντων πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια της μεθόδου προοδευτικής ή σταδιακής ένταξης των μεταβλητών. 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, 2015).

Στα στοιχεία που προέκυψαν από τη μελέτη των ιδιοτήτων αυτών εφαρμόστηκε το μοντέλο της δευτεροβάθμιας πολυωνυμικής εξίσωσης:

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

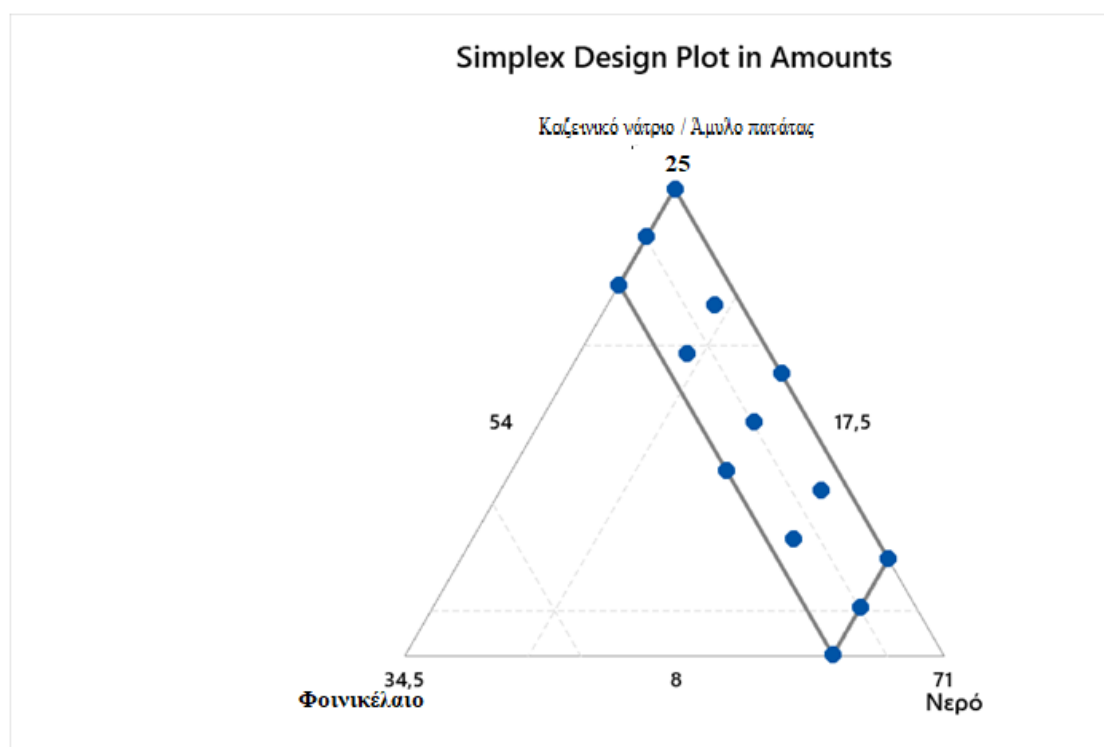
- b_1, b_2, b_3 : συντελεστές 1ου βαθμού, οι οποίοι δηλώνουν την γραμμική σχέση της εκάστοτε εξαρτημένης μεταβλητής (Y) με το κάθε ένα από τα τρία συστατικά (πρωτεΐνη, φυτικό έλαιο, νερό) αντίστοιχα. Έτσι αν ο συντελεστής έχει θετικό πρόσημο σημαίνει ότι με την αύξηση του κάθε συστατικού αυξάνεται η 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 στη 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, με συνέπεια τη μείωση της εξαρτημένης.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης απεικονίσθηκαν γραφικά με γραφήματα ισοϋψών καμπυλών (Mixture Contour plot) καθώς και ιχνογραφήμάτων απόκρισης (Cox Response Trace plot) των κύριων αξόνων.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Αποτελέσματα προκαταρκτικής μελέτης

Στην προκαταρκτική μελέτη παρασκευάστηκαν 156 δείγματα αναπληρωμάτων τυριού. Αφού βρέθηκαν τα όρια μέσα 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 18.1, χρησιμοποιήθηκε το πείραμα μείξης (mixture experiment). Τα δείγματα που προέκυψαν ήταν 13 με αναλογία καζεϊνικού νατρίου / άμυλο πατάτας = 3:1. (Σχήμα 12). Μείξεις εκτός του πεδίου αυτού θεωρούνται είτε ασταθή γαλακτώματα, είτε γαλακτώματα που είναι αδύνατον να παρασκευαστούν, λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων της συσκευής Stephan.



Σχήμα 12. Πειραματικό σχέδιο μείξης για την παρασκευή 13 δειγμάτων αναπληρωμάτων τυριού

5.2 Δείγματα και στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων

Στον Πίνακα 2 εμφανίζονται τα δείγματα τα οποία προέκυψαν και εξετάστηκαν μετέπειτα με τις αντίστοιχες περιεκτικότητες στα τρία βασικά συστατικά τους.

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με τη χρήση της πολλαπλής παλινδρόμησης. Προέκυψαν πολυωνυμικές εξισώσεις που εκφράζουν τις ιδιότητες που μελετήθηκαν σε συνάρτηση με τις περιεκτικότητες σε καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας, φοινικέλαιο και νερό. 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 το προϊόν. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε με βάση το μέγεθος των συντελεστών προσδιορισμού (R^2 , R^2_{pred}), οι οποίοι δείχνουν κατά πόσο οι εξισώσεις αυτές μπορούν να αποτελέσουν μοντέλα πρόβλεψης. Ο «προβλεπόμενος R^2 » (R^2_{pred}) δεν πρέπει να διαφέρει πάνω από 20% από τον συντελεστή R^2 για να θεωρηθούν τα αποτελέσματα αξιόπιστα.

Πίνακας 2. Περιεκτικότητα δειγμάτων σε καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας, φοινικέλαιο και νερό.

Δείγμα	Καζεϊνικό νάτριο- Άμυλο πατάτας	Φοινικέλαιο	Νερό
1	21	8	67,5
2	17,5	25	54
3	17,5	11,5	67,5
4	21	21,5	54
5	17,5	18,25	60,75
6	19,25	23,25	54
7	21	14,75	60,75
8	19,25	9,75	67,5
9	19,25	16,5	60,75
10	20,125	12,25	64,125
11	18,375	20,75	57,375
12	18,375	14	64,125
13	20,125	19	57,375

Όλα τα δείγματα που προέκυψαν ήταν επαλειφόμενα αναπληρώματα τυριού με σταθερή δομή.

5.3 Αποτελέσματα φυσικοχημικών παραμέτρων

Στον Πίνακα 3 δίνονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις των χρωματικών παραμέτρων L*, a* και b* των δειγμάτων.

Πίνακας 3. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των χρωματικών παραμέτρων L*, a* και b* των δειγμάτων επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού.

Δείγμα	L*	a*	b*
1	80,47 ± 0,06	-0,79 ± 0,91	15,88 ± 1,85
2	82,33 ± 0,23	-1,62 ± 0,38	15,66 ± 0,35
3	83,09 ± 0,04	-1,20 ± 1,39	13,76 ± 0,59
4	81,28 ± 0,13	-0,62 ± 0,06	16,02 ± 0,06
5	81,96 ± 0,01	-1,06 ± 0,17	15,83 ± 0,64
6	83,69 ± 0,00	-1,51 ± 0,47	14,32 ± 0,73
7	83,42 ± 0,02	-1,12 ± 0,37	14,37 ± 0,33
8	84,16 ± 0,00	-2,16 ± 0,70	13,23 ± 1,82
9	82,67 ± 0,01	-1,34 ± 0,35	14,61 ± 1,71
10	83,24 ± 0,06	-1,46 ± 0,75	14,17 ± 0,77
11	82,71 ± 0,08	-1,18 ± 0,42	14,95 ± 0,27
12	83,07 ± 0,01	-1,84 ± 0,31	14,56 ± 1,36
13	82,75 ± 0,01	-1,09 ± 0,88	14,61 ± 1,34

Οι πολωνυμικές εξισώσεις που προέκυψαν από τις τιμές του χρώματος είναι οι εξής:

$$L^* = 84,67 \cdot \text{Φοινικέλαιο (\%)} + 68,4 \cdot \text{Καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας (\%)} + 86,61 \cdot \text{Νερό (\%)}$$

με συντελεστές προσδιορισμού $R^2=6,12\%$ και $R^2_{\text{pred}}=0,000\%$.

$$a^* = -2,60 \cdot \text{Φοινικέλαιο (\%)} + 9,89 \cdot \text{Καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας (\%)} - 4,50 \cdot \text{Νερό (\%)}$$

με συντελεστές προσδιορισμού $R^2=23,03\%$ και $R^2_{\text{pred}}=0,000\%$.

$$b^* = 18,31 \cdot \text{Φοινικέλαιο (\%)} + 23,4 \cdot \text{Καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας (\%)} + 11,07 \cdot \text{Νερό (\%)}$$

με συντελεστές προσδιορισμού $R^2=20,78\%$ και $R^2_{\text{pred}}=0,000\%$.

Στον Πίνακα 4 δίνονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις των τιμών pH των δειγμάτων.

Πίνακας 4. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των τιμών pH των δειγμάτων επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού.

Δείγμα	pH
1	4,89 ± 0,06
2	4,69 ± 0,23
3	4,71 ± 0,04
4	4,75 ± 0,13
5	4,60 ± 0,01
6	4,69 ± 0,00
7	4,79 ± 0,02
8	4,66 ± 0,00
9	4,67 ± 0,01
10	4,69 ± 0,06
11	4,49 ± 0,08
12	4,53 ± 0,01
13	4,67 ± 0,01

Παρατηρούμε μια σχετική ομοιομορφία στις τιμές του pH και αυτό οφείλεται στο καζεϊνικό νάτριο και το γαλακτικό οξύ. Το καζεϊνικό νάτριο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη θετική επίδραση που οφείλεται στο σχετικά υψηλό pH του (pH=6,6). Οι τιμές κυμαίνονται από 4,49 έως και 4,89.

Στον Πίνακα 5 δίνονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις της διαμέτρου D(4,3) των λιποσφαιρίων των δειγμάτων.

Πίνακας 5. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις της διαμέτρου D(4,3) των λιποσφαιρίων των δειγμάτων επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού.

Δείγμα	D(4,3)
1	29,747 ± 22,386
2	99,645 ± 44,440
3	88,121 ± 57,367
4	108,892 ± 97,656
5	70,150 ± 16,134
6	29,361 ± 8,610
7	40,032 ± 4,769
8	80,304 ± 37,076
9	59,865 ± 38,713
10	61,114 ± 2,251
11	50,426 ± 45,631
12	44,628 ± 36,180
13	82,102 ± 44,279

Όταν ένα γαλάκτωμα έχει μεγάλο μέγεθος λιποσφαιρίων, η συνολική διεπιφάνεια λαδιού-νερού είναι μικρότερη από αυτή των γαλακτωμάτων που έχουν μικρό μέγεθος λιποσφαιρίων, με αποτέλεσμα να αντανακλούν μικρότερο ποσοστό φωτός και να φαίνονται πιο σκοτεινά. Άρα, μεγάλη ποσότητα φοινικέλαιου δίνει πιο σκοτεινά γαλακτώματα. Λαμβάνοντας όμως υπόψη ότι το καζεϊνικό νάτριο δρα ως γαλακτωματοποιητής, αυξημένη ποσότητα φοινικέλαιου παρουσία μεγάλης

ποσότητας πρωτεϊνών που περιβάλλουν τα λιποσφαίρια και εμποδίζουν την μεταξύ τους συνένωση, έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση πολλών μικρών λιποσφαιρίων στο γαλάκτωμα. Τα πολλά σε αριθμό και μικρά σε μέγεθος λιποσφαίρια δίνουν μεγαλύτερη συνολική διεπιφάνεια λαδιού-νερού με αποτέλεσμα η αντανάκλαση του φωτός να είναι μεγαλύτερη και τα γαλακτώματα πιο φωτεινά. Έτσι εξηγείται και η θετική αλληλεπίδραση φοινικέλαιου και καζεϊνικού νατρίου στη φωτεινότητα των τυριών (Παναγιώτου, 1998).

Οι πολυωνυμική εξίσωση που προέκυψε και αφορά στη διάμετρο $D(4,3)$ των λιποσφαιρίων των δειγμάτων είναι η εξής:

$$D(4,3) = 220 \cdot \text{Φοινικέλαιο (\%)} - 251 \cdot \text{Καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας (\%)} + 111 \cdot \text{Νερό (\%)}$$

με συντελεστές προσδιορισμού $R^2=10,45\%$ και $R^2_{\text{pred}}=0,000\%$.

Στην περίπτωση όπου το άμυλο δεν προσροφάται στην επιφάνεια των λιποσφαιρίων του γαλακτώματος που έχουν επικαλυφθεί με πρωτεΐνη, τα κέντρα της μάζας των μορίων του αμύλου δεν μπορούν να πλησιάσουν την επιφάνεια των λιποσφαιρίων σε απόσταση κοντινότερη από την ακτίνα περιστροφής τους. Κατά συνέπεια, η συγκέντρωση του αμύλου σε μια περιοχή γύρω από το λιποσφαίριο είναι χαμηλότερη από ότι στο υπόλοιπο διάλυμα. Αυτό το αποτέλεσμα της εξάντλησης δημιουργεί μια οσμωτική διαφορά πίεσης που σχετίζεται άμεσα με την συγκέντρωση του αμύλου πατάτας-καζεϊνικού νατρίου και με την κατανομή του μεγέθους των λιποσφαιρίων. Όταν η έλξη είναι αρκετά ισχυρή για να υπερβεί την εντροπία των λιποσφαιρίων, δηλαδή πάνω από μια ελάχιστη συγκέντρωση καζεϊνικού νατρίου-αμύλου πατάτας, τα λιποσφαίρια κροκιδώνονται (κροκίδωση υπό εκκένωση) (Ριτζούλης, 2011).

5.4 Αποτελέσματα μηχανικών και ρεολογικών ιδιοτήτων

Στους Πίνακες 6-8 παρατίθενται τα αποτελέσματα των μηχανικών ιδιοτήτων που προέκυψαν από την ανάλυση κατατομής της υφής και στον Πίνακα 9 απεικονίζονται

τα αποτελέσματα των ρεολογικών ιδιοτήτων που εξήχθησαν από τη δοκιμή της λιπαινόμενης συμπιεστής ροής.

Πίνακας 6. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις σκληρότητας 1, σκληρότητας 2, ελαστικότητας και εκτατότητας των δειγμάτων επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού.

ΔΕΙΓΜΑ	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ1 (N)	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ2 (N)	ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ (m)	ΕΚΤΑΤΟΤΗΤΑ (m)
1	2,385 ± 0,847	1,790 ± 0,517	0,009 ± 0,001	0,008 ± 0,002
2	4,137 ± 0,009	2,426 ± 0,174	0,014 ± 0,000	0,006 ± 0,001
3	1,569 ± 0,137	0,903 ± 0,032	0,008 ± 0,001	0,005 ± 0,001
4	18,862 ± 5,626	12,492 ± 2,369	0,015 ± 0,002	0,005 ± 0,000
5	7,696 ± 4,611	3,353 ± 0,369	0,018 ± 0,004	0,006 ± 0,000
6	15,324 ± 5,634	9,593 ± 2,990	0,019 ± 0,004	0,006 ± 0,000
7	15,331 ± 6,016	8,672 ± 1,838	0,020 ± 0,004	0,006 ± 0,000
8	3,732 ± 0,250	2,748 ± 0,170	0,012 ± 0,004	0,006 ± 0,000
9	9,378 ± 4,880	5,782 ± 2,747	0,014 ± 0,000	0,004 ± 0,000
10	9,261 ± 3,839	4,222 ± 1,872	0,016 ± 0,002	0,005 ± 0,000
11	6,140 ± 2,556	3,244 ± 1,297	0,017 ± 0,002	0,005 ± 0,000
12	4,173 ± 2,487	2,418 ± 1,319	0,012 ± 0,001	0,005 ± 0,000
13	15,589 ± 4,727	9,819 ± 2,740	0,016 ± 0,001	0,005 ± 0,001

Πίνακας 7. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις του έργου 1, έργου 2, της συγκολλητικότητας και της συνεκτικότητας των δειγμάτων επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού.

ΔΕΙΓΜΑ	ΕΡΓΟ 1 (J)	ΕΡΓΟ 2 (J)	ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (J)	ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ
1	17,540 ± 0,947	2,564 ± 0,283	2,350 ± 0,375	0,280 ± 0,025
2	19,982 ± 1,202	2,719 ± 0,184	3,182 ± 0,041	0,274 ± 0,001
3	6,022 ± 0,315	1,028 ± 0,261	1,438 ± 0,335	0,318 ± 0,004
4	82,700 ± 25,855	11,130 ± 0,907	3,757 ± 0,818	0,319 ± 0,078
5	27,422 ± 1,661	4,189 ± 2,323	4,557 ± 1,798	0,328 ± 0,008
6	62,889 ± 20,717	8,784 ± 1,804	7,729 ± 2,560	0,308 ± 0,044
7	57,912 ± 19,318	9,297 ± 1,973	6,621 ± 2,176	0,359 ± 0,056
8	13,789 ± 0,705	3,345 ± 0,616	2,178 ± 0,197	0,453 ± 0,084
9	31,933 ± 14,320	5,203 ± 1,915	5,148 ± 2,058	0,293 ± 0,031
10	33,988 ± 11,985	5,256 ± 1,580	5,353 ± 1,714	0,297 ± 0,021
11	22,457 ± 7,210	2,951 ± 0,958	4,105 ± 1,142	0,261 ± 0,001
12	12,729 ± 6,419	2,314 ± 1,183	2,853 ± 1,467	0,342 ± 0,013
13	54,974 ± 9,649	8,799 ± 2,172	7,896 ± 1,644	0,287 ± 0,023

Στην έρευνά τους, οι Cunha et al. (2009) ανέφεραν ότι οι ισχυροποιημένες συνδέσεις μεταξύ πρωτεϊνών και μεταξύ πρωτεϊνών και λιποσφαιρίων, που προκύπτουν από την αύξηση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες, έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της ελαστικότητας του προϊόντος.

Οι Hennelly et al. (2005) διαπίστωσαν ότι η συνεκτικότητα αναπληρωμάτων τυριού δεν φαίνεται να επηρεάζεται από την περιεκτικότητά τους σε νερό.

Πίνακας 8. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις της κομμωδούς υφής και της ευθραυστότητας των δειγμάτων επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού.

ΔΕΙΓΜΑ	ΚΟΜΜΙΩΔΗΣ ΥΦΗ (N)	ΕΥΘΡΑΥΣΤΟΤΗΤΑ (N)
1	0,503 ± 0,175	1,576 ± 0,229
2	0,569 ± 0,288	2,185 ± 0,229
3	0,282 ± 0,196	0,707 ± 0,001
4	2,563 ± 0,170	5,308 ± 0,290
5	1,182 ± 0,101	1,875 ± 0,903
6	2,112 ± 0,683	3,661 ± 0,072
7	2,140 ± 0,716	3,387 ± 0,138
8	0,976 ± 0,367	1,497 ± 0,151
9	1,516 ± 0,426	1,985 ± 0,223
10	1,425 ± 0,371	2,073 ± 0,031
11	0,808 ± 0,164	1,291 ± 0,002
12	0,761 ± 0,121	0,845 ± 0,172
13	2,528 ± 0,675	3,572 ± 0,652

Πίνακας 9. Φαινομενική τάση στο τέλος της συμπίεσης στα 2 mm ύψος ($\sigma_{app@2mm}$) (80% παραμόρφωση) και φαινομενική τάση στο τέλος της χαλάρωσης, μετά από 3 min ($\sigma_{app@3min}$) των δειγμάτων επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού.

ΔΕΙΓΜΑ	ΦΑΙΝΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ (Pa)	ΦΑΙΝΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΧΑΛΑΡΩΣΗΣ (Pa)
1	36553,4 ± 1142,8	14162,3 ± 1286,9
2	23225,1 ± 2300,7	7058,4 ± 128,9
3	17695,0 ± 8811,3	5339,8 ± 825,7
4	30900,1 ± 2541,0	15716,0 ± 246,1
5	16948,3 ± 6315,5	5430,1 ± 286,5
6	54683,4 ± 6289,5	27778,8 ± 4029,3
7	44854,0 ± 6343,1	20849,9 ± 435,9
8	25397,7 ± 1289,4	7726,2 ± 512,8
9	35212,6 ± 9964,9	13929,1 ± 310,8
10	25785,2 ± 6205,3	9386,2 ± 358,9
11	12994,9 ± 2603,8	3546,4 ± 136,8
12	8748,5 ± 114,9	2155,1 ± 454,7
13	31046,3 ± 2866,6	16386,0 ± 607,3

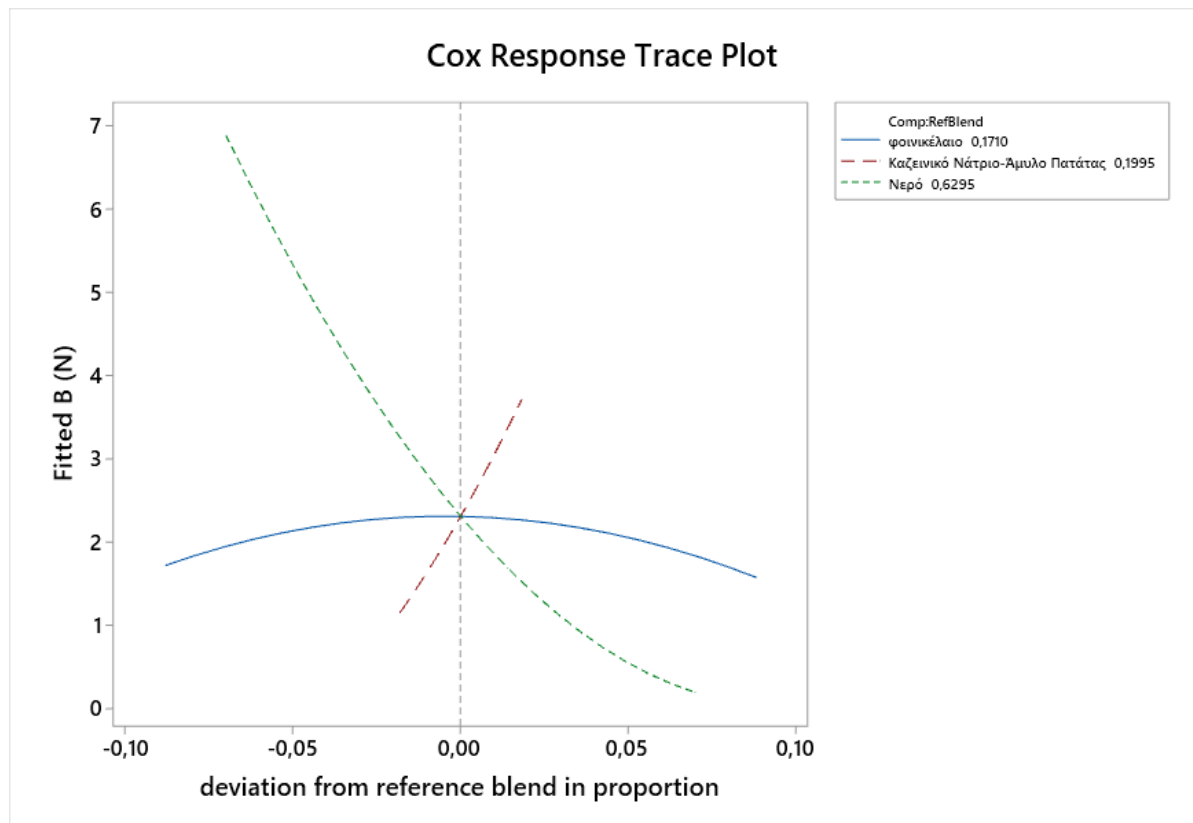
Από την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψαν τα κατωτέρω διαγράμματα ισοϋψών και ιχνογραφήματα απόκρισης των στατιστικά σημαντικών ιδιοτήτων.

5.4.1 Ευθραυστότητα

Στο Σχήμα 13 απεικονίζεται το ιχνογράφημα απόκρισης και στο Σχήμα 14 το διάγραμμα ισοϋψών καμπυλών, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών βασικών συστατικών στην ευθραυστότητα των δειγμάτων. Η πολυωνυμική εξίσωση 2^{ου} βαθμού που προέκυψε είναι η παρακάτω:

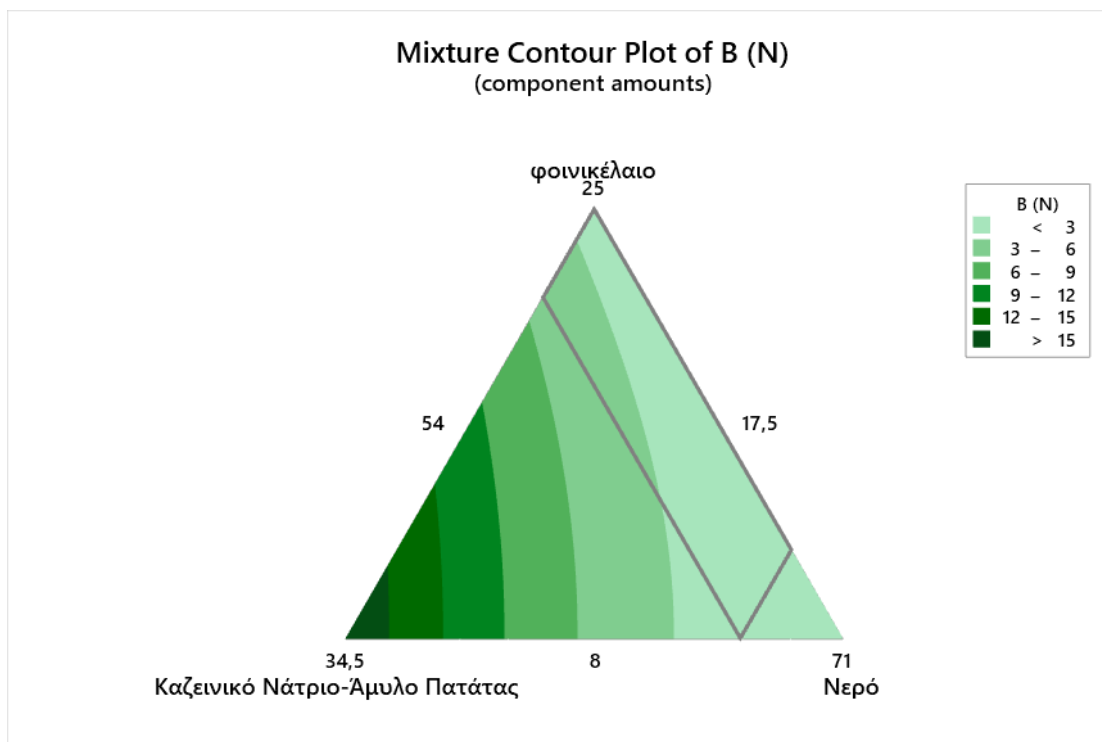
$$\text{Ευθραυστότητα (N)} = -57,0 \cdot \text{Φοινικέλαιο (\%)} + 294,1 \cdot \text{Καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας (\%)} + 19,1 \cdot \text{Νερό (\%)} - 467,1 \cdot \text{Καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας} \cdot \text{Νερό (\%)}$$

με συντελεστές προσδιορισμού $R^2=90,82\%$ και $R^2_{\text{pred}}=83,36\%$.



Σχήμα 13. Ιχνογράφημα απόκρισης ευθραυστότητας (N) των δειγμάτων επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού.

Η ευθραυστότητα των δειγμάτων αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση της περιεκτικότητάς τους σε μείγμα καζεϊνικού νατρίου-αμύλου πατάτας, ενώ το νερό λειτουργεί αντίστροφα μειώνοντας τις τιμές της ευθραυστότητας. Το φοινικέλαιο προκαλεί ελαφρά μείωση στην ευθραυστότητα.



Σχήμα 14. Διάγραμμα ισοϋψών καμπυλών ευθραυστότητας (N) των δειγμάτων επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού.

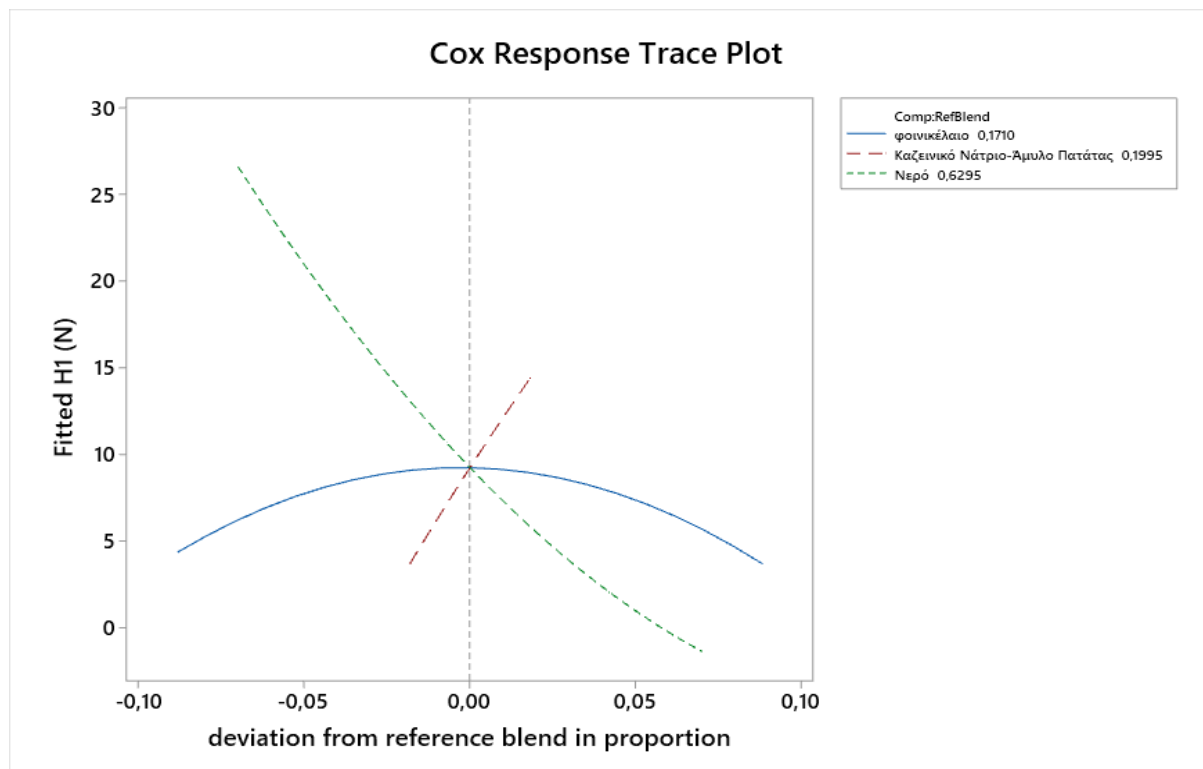
Στο διάγραμμα ισοϋψών καμπυλών επιβεβαιώνεται ότι η ευθραυστότητα είναι συνδεδεμένη με το ποσοστό του μείγματος καζεϊνικού νατρίου-αμύλου πατάτας στα δείγματα. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό του μείγματος καζεϊνικού νατρίου-αμύλου πατάτας, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ευθραυστότητα του δείγματος. Στο διάγραμμα ισοϋψών καμπυλών διακρίνεται ότι τα δείγματα διαχωρίζονται σε δύο ομάδες με τιμές κάτω από 6 N.

5.4.2 Σκληρότητα 1

Στο Σχήμα 15 απεικονίζεται το ιχνογράφημα απόκρισης και στο Σχήμα 16 το διάγραμμα ισοϋψών καμπυλών, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών βασικών συστατικών στη σκληρότητα 1 των δειγμάτων. Η πολωνυμική εξίσωση 2^{ου} βαθμού που προέκυψε είναι η παρακάτω:

$$\text{Σκληρότητα 1 (N)} = -455 \cdot \text{Φοινικέλαιο (\%)} - 136 \cdot \text{Καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας (\%)} + 30,2 \cdot \text{Νερό (\%)} + 2788 \cdot \text{Φοινικέλαιο} \cdot \text{Καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας (\%)}$$

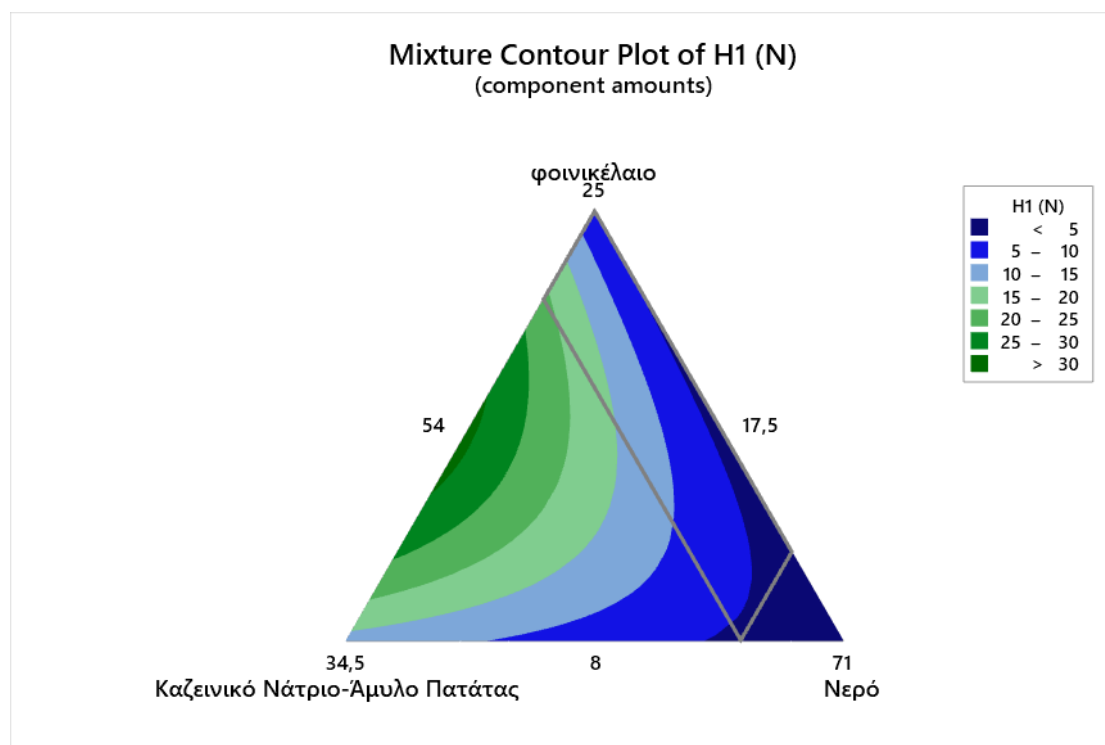
με συντελεστές προσδιορισμού $R^2=89,31 \%$ και $R^2_{\text{pred}}=70,74 \%$.



Σχήμα 15. Ιχνογράφημα απόκρισης σκληρότητας 1 (N) των δειγμάτων επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού.

Η αύξηση της ποσότητας σε καζεϊνικό νάτριο - άμυλο πατάτας επιδρά σημαντικά στην αύξηση της σκληρότητας κατά την πρώτη συμπίεση, σε αντίθεση με το νερό που

όσο αυξάνεται τη μειώνει. Επίσης, το φοινικέλαιο προκαλεί πολύ μικρή μείωση της σκληρότητας 1 που μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα.



Σχήμα 16. Διάγραμμα ισοϋψών καμπυλών σκληρότητας 1 των δειγμάτων επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού.

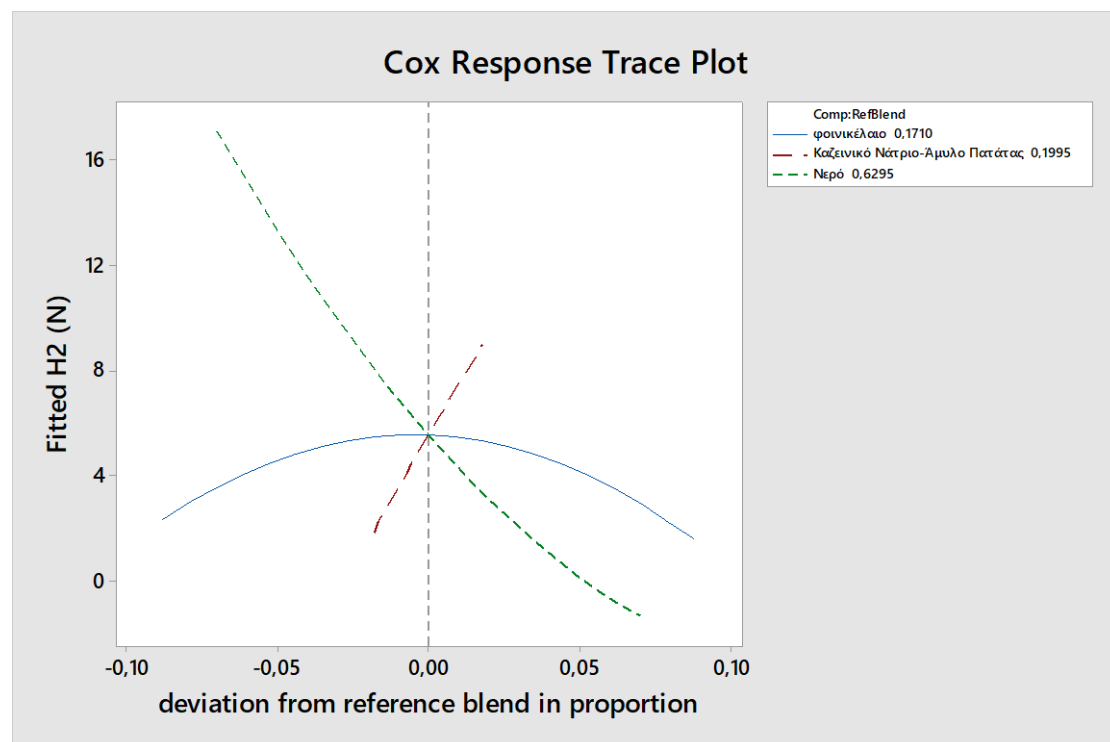
Στο διάγραμμα ισοϋψών καμπυλών επιβεβαιώνεται ότι η σκληρότητα 1 είναι συνδεδεμένη με το ποσοστό του μείγματος καζεϊνικού νατρίου-αμύλου πατάτας στα δείγματα. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό του μείγματος καζεϊνικού νατρίου-αμύλου πατάτας, τόσο μεγαλύτερη είναι και η σκληρότητα 1 των δειγμάτων. Στο διάγραμμα ισοϋψών καμπυλών διακρίνεται ότι τα δείγματα διαχωρίζονται σε πέντε ομάδες με τιμές κάτω από 25 N.

5.4.3 Σκληρότητα 2

Στο Σχήμα 17 απεικονίζεται το ιχνογράφημα, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών βασικών συστατικών στη σκληρότητα 2 των δειγμάτων. Η πολωνυμική εξίσωση 2^{ου} βαθμού που προέκυψε είναι η παρακάτω:

$$\text{Σκληρότητα 2 (N)} = -317,6 \cdot \text{Φοινικέλαιο (\%)} - 101,3 \cdot \text{Καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας (\%)} + 22,4 \cdot \text{Νερό (\%)} + 1933 \cdot \text{Φοινικέλαιο} \cdot \text{Καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας (\%)}$$

με συντελεστή προσδιορισμού $R^2=94,79\%$ και $R^2_{\text{pred}}=89,14\%$.



Σχήμα 17. Ιχνογράφημα απόκρισης σκληρότητας 2 (N) των δειγμάτων επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού.

Η αύξηση της ποσότητας καζεϊνικού νατρίου-αμύλου πατάτας επιδρά σημαντικά στην αύξηση της σκληρότητας των δειγμάτων κατά τη δεύτερη συμπίεση, σε αντίθεση με το νερό που τη μειώνει. Το φοινικέλαιο προκαλεί πολύ μικρή μείωση της

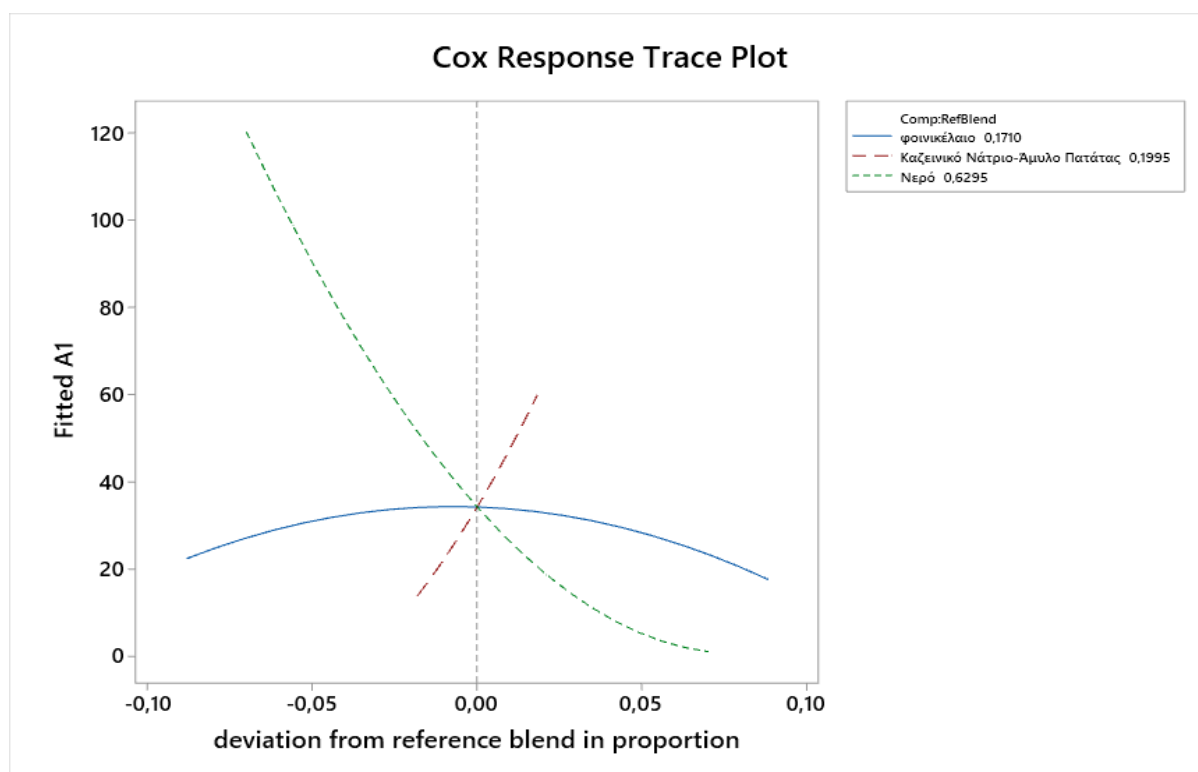
σκληρότητας 2 που μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα. Επίσης, όσο αυξάνεται η ποσότητα του νερού που περιέχεται στα δείγματα, τόσο μειώνεται η σκληρότητα 2.

5.4.4 Έργο συμπίεσης 1

Στο Σχήμα 18 απεικονίζεται το ιχνογράφημα απόκρισης, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών βασικών συστατικών στο έργο συμπίεσης 1 των δειγμάτων. Η πολυωνυμική εξίσωση 2^{ου} βαθμού που προέκυψε είναι η παρακάτω:

$$\text{Έργο Συμπίεσης 1 (J)} = -1246 \cdot \text{Φοινικέλαιο (\%)} + 6098 \cdot \text{Καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας (\%)} + 459 \cdot \text{Νερό (\%)} - 10019 \cdot \text{Καζεϊνικό νάτριο-άμυλο-πατάτας} \cdot \text{Νερό (\%)}$$

με συντελεστές προσδιορισμού $R^2=93,80\%$ και $R^2_{\text{pred}}=88,21\%$.



Σχήμα 18. Ιχνογράφημα απόκρισης έργου συμπίεσης 1 (J) των δειγμάτων επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού.

Από το ιχνογράφημα απόκρισης φαίνεται η μεγάλη επίδραση του μείγματος καζεϊνικού νατρίου-αμύλου πατάτας, καθώς όσο αυξάνεται η ποσότητά του στα δείγματα αυξάνεται και η ενέργεια που πρέπει να ασκηθεί στο δείγμα για την πρώτη συμπίεσή του. Το νερό λειτουργεί αντίθετα, καθώς όσο αυτό αυξάνεται τόσο η απαιτούμενη ενέργεια για τη συμπίεση μειώνεται. Το φοινικέλαιο από την άλλη πλευρά επιδρά ελάχιστα στη μείωση της τιμής του έργου συμπίεσης 1.

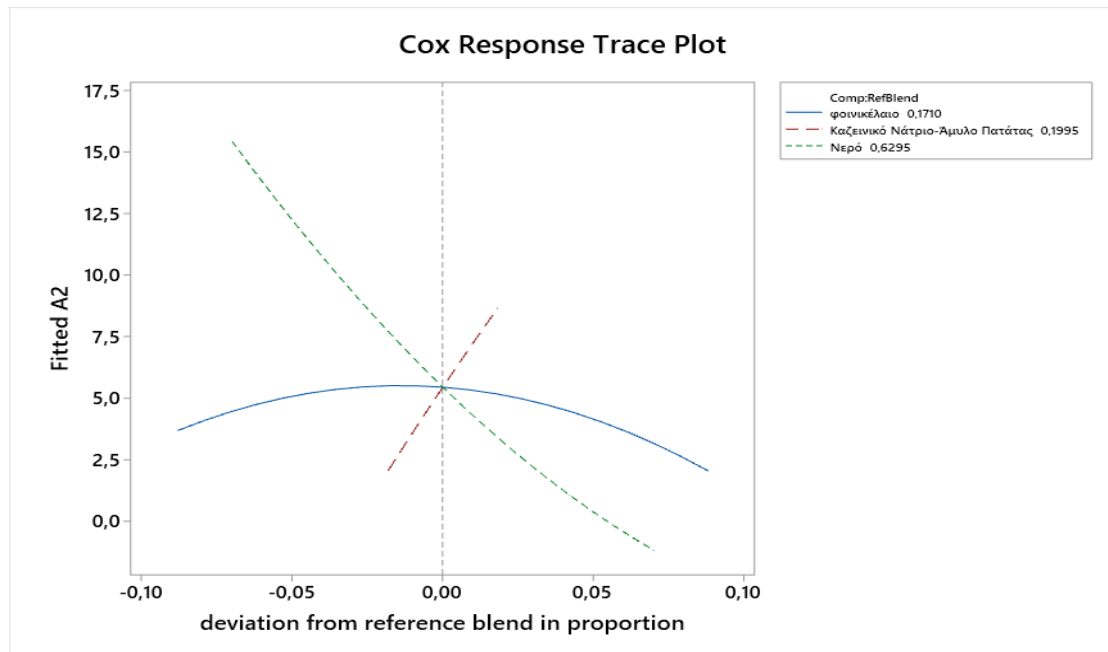
5.4.5 Έργο συμπίεσης 2

Στο Σχήμα 19 απεικονίζεται το ιχνογράφημα απόκρισης, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών βασικών συστατικών στο έργο συμπίεσης 2 των δειγμάτων. Η πολυωνυμική εξίσωση 2^{ου} βαθμού που προέκυψε είναι η παρακάτω:

Έργο συμπίεσης 2 (J) = $-231,4 \cdot \text{Φοινικέλαιο (\%)} - 38,7 \cdot \text{Καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας (\%)} + 8,7 \cdot \text{Νερό (\%)} + 1386 \cdot \text{Φοινικέλαιο} \cdot \text{Καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας (\%)}$

με συντελεστές προσδιορισμού $R^2=89,5 \%$ και $R^2_{\text{pred}}=76,48 \%$.

Το έργο συμπίεσης 2 παρουσιάζει τα ίδια αποτελέσματα με το έργο συμπίεσης 1 καθώς είναι δύο μεταβλητές που παρουσιάζουν πολύ υψηλή συσχέτιση μεταξύ τους. Η αύξηση της ποσότητας σε καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας επιδρά σημαντικά στην αύξηση των τιμών του έργου κατά τη δεύτερη συμπίεση, σε αντίθεση με το νερό που όσο αυξάνεται τη μειώνει. Τέλος, το φοινικέλαιο προκαλεί πολύ μικρή μείωση στις τιμές του έργου συμπίεσης 2.



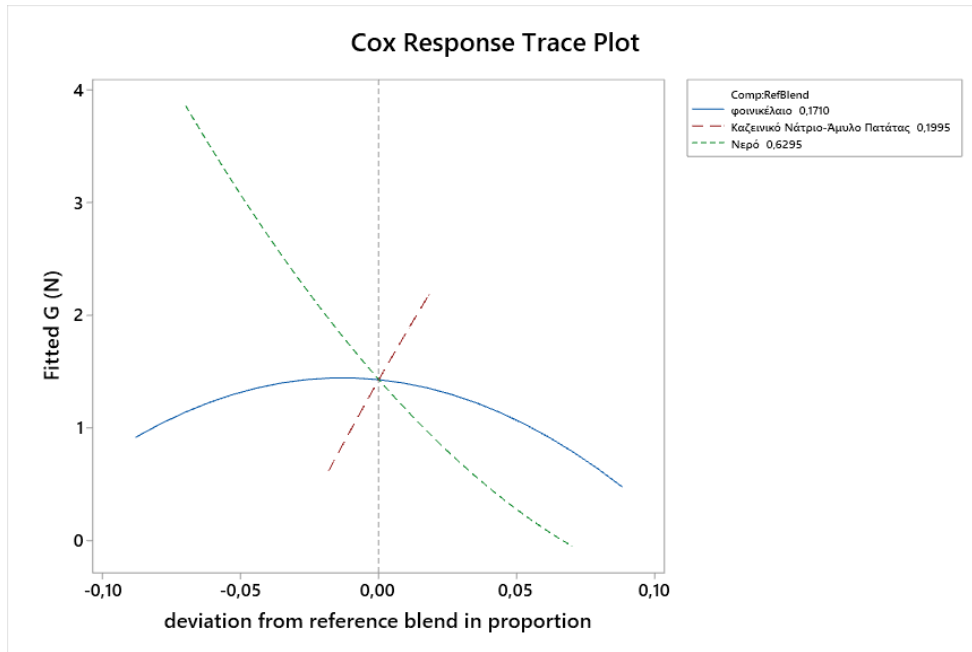
Σχήμα 19. Ιχνογράφημα απόκρισης έργου συμπίεσης 2 (J) των δειγμάτων επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού.

5.4.6 Κομμιάδης υφή

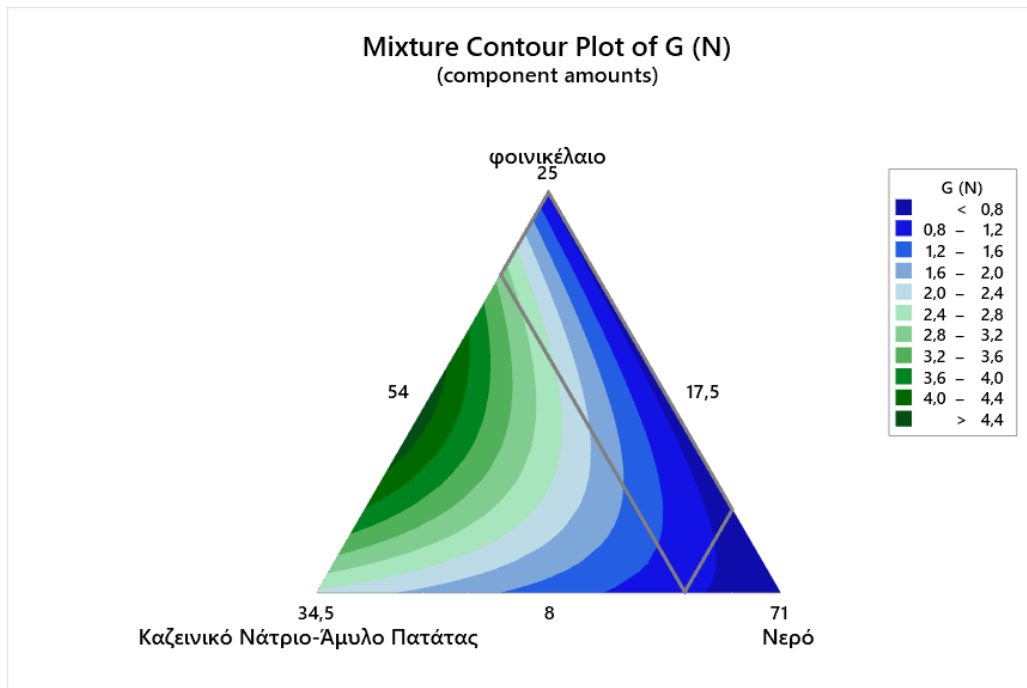
Στο Σχήμα 20 απεικονίζεται το ιχνογράφημα απόκρισης και στο Σχήμα 21 το διάγραμμα ισοϋψών καμπυλών, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών βασικών συστατικών στην κομμιάδη υφή των δειγμάτων. Η πολυωνυμική εξίσωση 2^{ου} βαθμού που προέκυψε είναι η παρακάτω:

$$\text{Κομμιάδης υφή} = -65,4 \cdot \text{Φοινικέλαιο (\%)} - 17,7 \cdot \text{Καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας (\%)} + 4,43 \cdot \text{Νερό (\%)} + 392 \cdot \text{Φοινικέλαιο} \cdot \text{Καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας (\%)}$$

με συντελεστές προσδιορισμού $R^2=82,72 \%$ και $R^2_{\text{pred}}=47,65 \%$.



Σχήμα 20. Ιχνογράφημα απόκρισης κομμιάδους υφής (N) των δειγμάτων επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού.



Σχήμα 21. Διάγραμμα ισοϋψών καμπυλών κομμιάδους υφής (N) των δειγμάτων επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού.

Η κομμώδης υφή των δειγμάτων επηρεάζεται σημαντικά από την αύξηση της περιεκτικότητάς τους σε μείγμα καζεϊνικού νατρίου-αμύλου πατάτας, ενώ το νερό λειτουργεί αντίστροφα, μειώνοντας τις τιμές της κομμώδους υφής με την αύξηση του ποσοστού του. Από την άλλη πλευρά, η αύξηση της περιεκτικότητας σε φοινικέλαιο προκαλεί μικρή μείωση στην κομμώδη υφή.

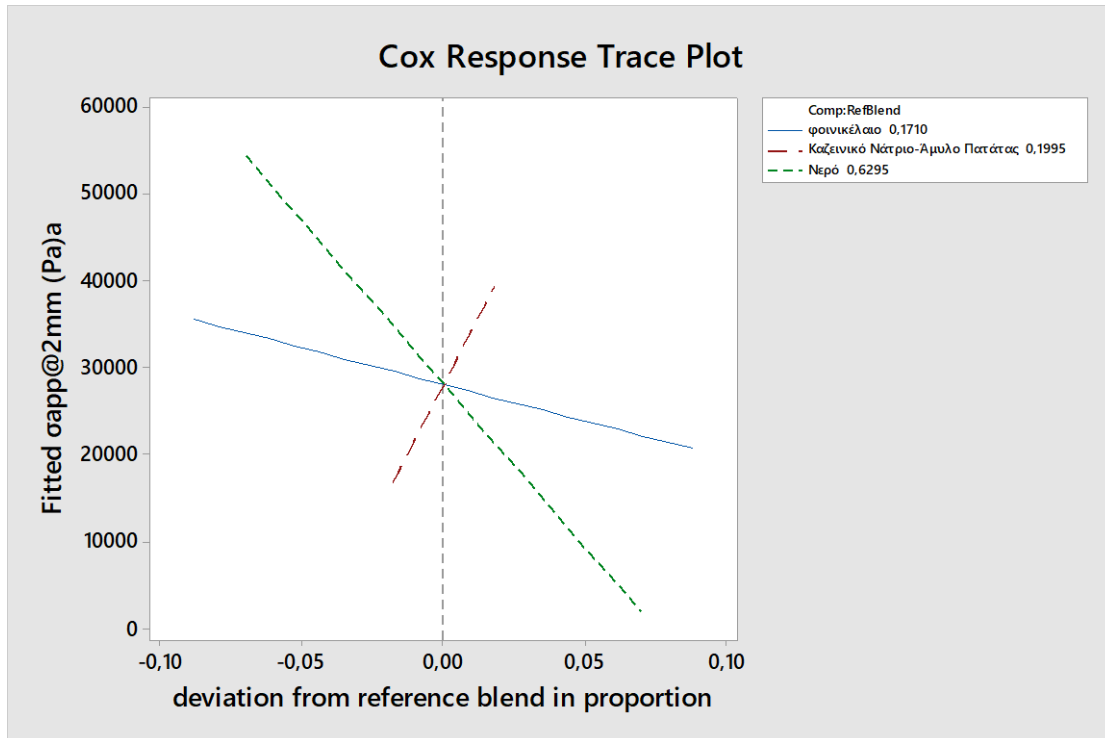
Στο διάγραμμα ισοϋψών καμπυλών επιβεβαιώνεται ότι η κομμώδης υφή είναι συνδεδεμένη με το ποσοστό του μείγματος καζεϊνικού νατρίου-αμύλου πατάτας στα δείγματα. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό του μείγματος καζεϊνικού νατρίου-αμύλου πατάτας, τόσο μεγαλύτερη είναι και η κομμώδης υφή των δειγμάτων. Στο διάγραμμα ισοϋψών καμπυλών διακρίνεται ότι τα δείγματα διαχωρίζονται σε έξι ομάδες με τιμές κάτω από 2,8 N.

5.4.7 Φαινομενική τάση στο τέλος της συμπίεσης

Στο Σχήμα 22 απεικονίζεται το ιχνογράφημα απόκρισης, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών βασικών συστατικών στη φαινομενική τάση στο τέλος της συμπίεσης $\sigma_{app@2mm}$ των δειγμάτων. Η πολυωνυμική εξίσωση 2^{ου} βαθμού που προέκυψε είναι η παρακάτω:

$$\sigma_{app@2mm} \text{ (Pa)} = -41506 \cdot \text{Φοινικέλαιο (\%)} + 525545 \cdot \text{Καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας (\%)} - 110775 \cdot \text{Νερό (\%)}$$

με συντελεστές προσδιορισμού $R^2=45,28 \%$ και $R^2_{pred}=8,23 \%$.



Σχήμα 22. Ιχνογράφημα απόκρισης της φαινομενικής τάσης στο τέλος της συμπίεσης $\sigma_{app@2mm}$ (Pa) των δειγμάτων επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού.

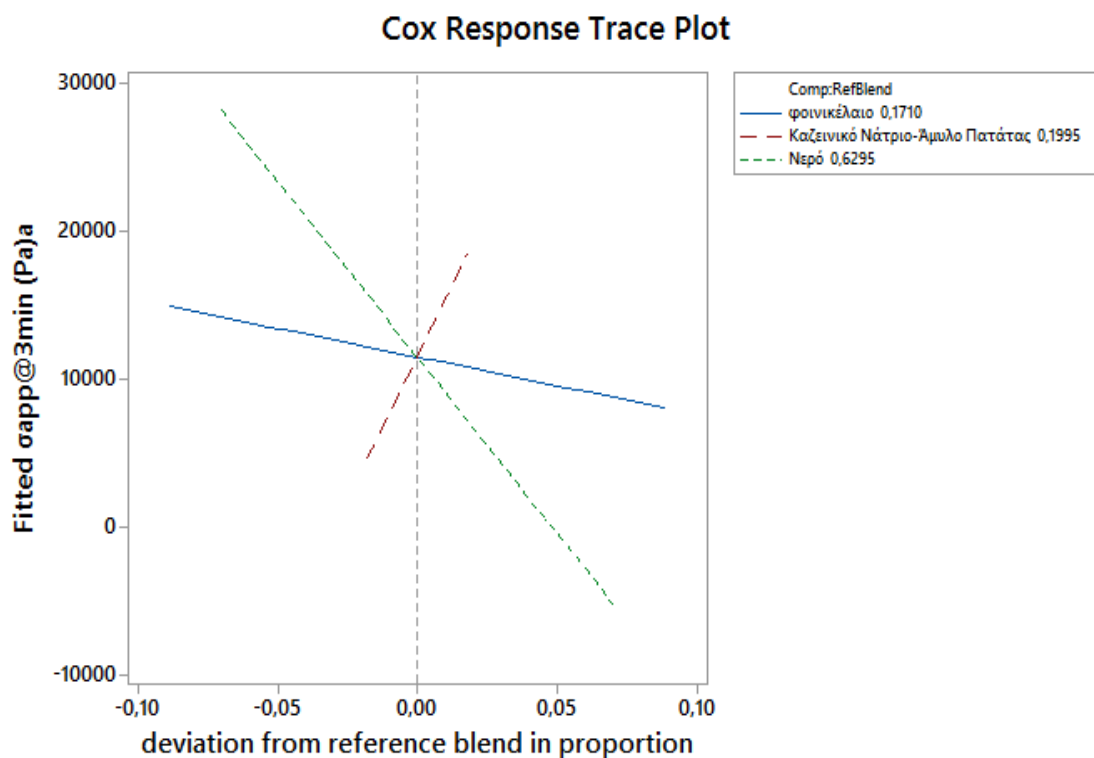
Στο παραπάνω ιχνογράφημα φαίνεται ότι το μείγμα καζεϊνικού νατρίου-αμύλου πατάτας επηρεάζει περισσότερο και θετικά τη φαινομενική τάση στο τέλος της συμπίεσης, η οποία εκφράζει τη συνεκτικότητα των δειγμάτων. Αρνητική επίδραση παρατηρείται στα δύο άλλα συστατικά.

5.4.8 Φαινομενική τάση στο τέλος της χαλάρωσης

Στο Σχήμα 23 απεικονίζεται το ιχνογράφημα απόκρισης και στο Σχήμα 24 το διάγραμμα ισοϋψών καμπυλών, όπου φαίνεται η επίδραση των τριών βασικών συστατικών στη φαινομενική τάση στο τέλος της χαλάρωσης $\sigma_{app@3min}$ των δειγμάτων. Η πολυωνυμική εξίσωση 2^{ου} βαθμού που προέκυψε είναι η παρακάτω:

$$\sigma_{app@3min} \text{ (Pa)} = -20589 \cdot \text{Φοινικέλαιο (\%)} + 317637 \cdot \text{Καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας (\%)} - 76795 \cdot \text{Νερό (\%)}$$

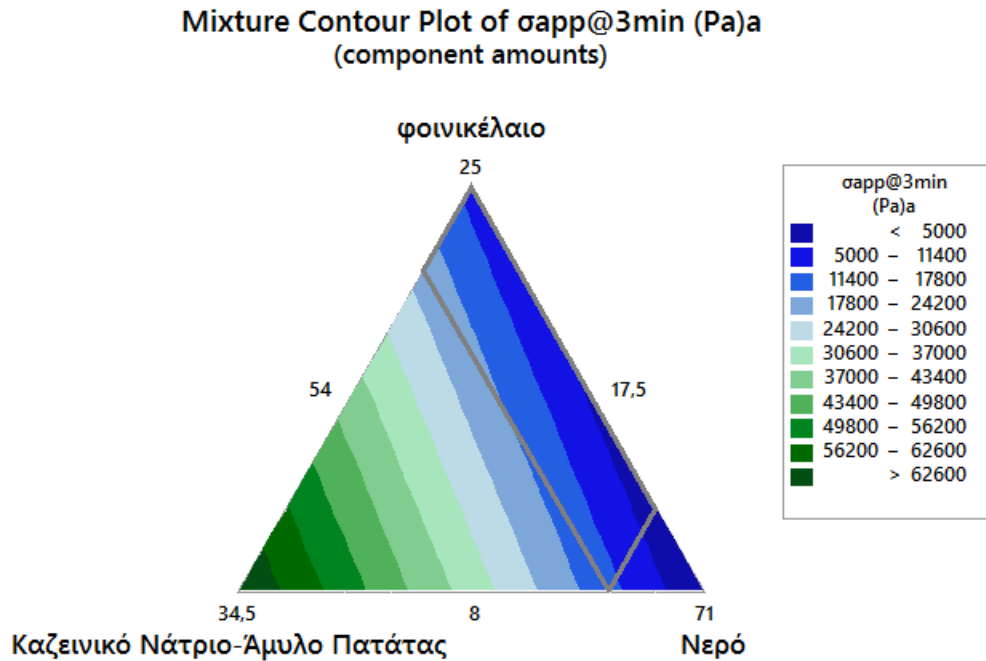
με συντελεστές προσδιορισμού $R^2=55,38\%$ και $R^2_{\text{pred}}=23,43\%$.



Σχήμα 23. Ιχνογράφημα απόκρισης της φαινομενικής τάσης στο τέλος της χαλάρωσης $\sigma_{\text{app}}@3\text{min}$ (Pa) των δειγμάτων επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού.

Στο ιχνογράφημα απόκρισης φαίνεται ότι το καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας επηρεάζει περισσότερο και θετικά τη φαινομενική τάση στο τέλος της χαλάρωσης, η οποία εκφράζει το στερεό χαρακτήρα των δειγμάτων. Μικρότερη και αρνητική επίδραση έχουν το νερό και το φοινικέλαιο.

Τα αποτελέσματα για την φαινομενική τάση στο τέλος της χαλάρωσης επιβεβαιώθηκαν και στο διάγραμμα ισοϋψών καμπυλών. Πιο αναλυτικά, στην περιοχή των δειγμάτων που εξετάστηκαν, η μεγαλύτερη επίδραση στη φαινομενική τάση στο τέλος της χαλάρωσης ασκήθηκε από το καζεϊνικό νάτριο-άμυλο πατάτας. Λιγότερο σημαντικά ήταν το νερό και ακολούθως το φοινικέλαιο. Στο διάγραμμα ισοϋψών καμπυλών διακρίνεται ότι τα δείγματα διαχωρίζονται σε τέσσερις ομάδες με τιμές κάτω από 24200 Pa.



Σχήμα 24. Διάγραμμα ισοϋψών καμπυλών της φαινομενικής τάσης στο τέλος της χαλάρωσης $\sigma_{app@3min}$ (Pa) των δειγμάτων επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού.

5.4.9 Ιδιότητες για τις οποίες δεν δημιουργήθηκε ιχνογράφημα λόγω έλλειψης προσαρμογής

Στις φυσικοχημικές ιδιότητες, του χρώματος L^* (λαμπρότητα), a^* (πράσινο), b^* (κίτρινο), του pH και του μεγέθους των λιποσφαιρίων $D(4,3)$, καθώς και στις μηχανικές ιδιότητες $S1$ (ελαστικότητα), $A3$ (συγκολλητικότητα) και C (συνεκτικότητα), δεν δημιουργήθηκαν ιχνογραφήματα (Cox response trace plot), καθώς παρουσίασαν σημαντική έλλειψη προσαρμογής των στοιχείων τους ($p < 0,001$) και οι τιμές των προσδιοριστικών τους συντελεστών προσαρμογής R^2 και R^2_{pred} ήταν $< 45\%$ (Πετρίδης, 2016).

5.4.10 Συσχετίσεις

Οι σκληρότητες H1 και H2 εμφάνισαν θετική συσχέτιση με τις παραμέτρους A1 ($r=0,980$), A2 ($r=0,987$), A3 ($r=0,784$), B ($r=0,887$), $\sigma_{app@2mm}$ ($r=0,594$), $\sigma_{app@3min}$ ($r=0,733$) και S1 ($r=0,692$), και φυσικά όπως ήταν αναμενόμενο εμφάνισαν πολύ υψηλή συσχέτιση μεταξύ τους ($r=0,963$). Το έργο συμπίεσης A1 παρουσίασε υψηλή θετική συσχέτιση με τις παραμέτρους A2 ($r=0,985$), A3 ($r=0,715$), G ($r=0,941$), B ($r=0,973$), $\sigma_{app@2mm}$ ($r=0,654$), $\sigma_{app@3min}$ ($r=0,763$) και S1 ($r=0,629$). Το έργο συμπίεσης A2 εμφάνισε ισχυρή θετική συσχέτιση με τις παραμέτρους G ($r=0,798$), B ($r=0,595$), $\sigma_{app@2mm}$ ($r=0,606$), $\sigma_{app@3min}$ ($r=0,704$) και S1 ($r=0,784$). Η κομμώδης υφή G παρουσίασε ισχυρή συσχέτιση με τις παραμέτρους $\sigma_{app@2mm}$ ($r=0,607$), $\sigma_{app@3min}$ ($r=0,736$) και S1 ($r=0,656$). Η ευθραυστότητα B εμφάνισε ισχυρή θετική συσχέτιση με τις παραμέτρους G ($r=0,893$), $\sigma_{app@2mm}$ ($r=0,618$), $\sigma_{app@3min}$ ($r=0,731$). Η φαινομενική τάση στο τέλος της συμπίεσης $\sigma_{app@2mm}$ παρουσίασε ισχυρή θετική συσχέτιση με την φαινομενική τάση στο τέλος της χαλάρωσης $\sigma_{app@3min}$ ($r=0,972$). Το pH συσχετίστηκε θετικά με τις παραμέτρους $\sigma_{app@2mm}$ ($r=0,649$), $\sigma_{app@3min}$ ($r=0,564$). Η χρωματική παράμετρος b^* (κίτρινο) εμφάνισε θετική συσχέτιση με τη χρωματική παράμετρο a^* (πράσινο) ($r=0,856$). Το μέγεθος των λιποσφαιρίων D(3,2) παρουσίασε θετική συσχέτιση με το μέγεθος των λιποσφαιρίων D(4,3) ($r=0,945$). Τέλος, η λαμπρότητα L^* συσχετίστηκε αρνητικά με τις παραμέτρους S2 ($r=0,636$), B ($r=0,887$) και A1 ($r=0,748$).

5.4.11 Σύγκριση αποτελεσμάτων με παρόμοιες εργασίες

Από την παρούσα μελέτη βρέθηκε ότι, για την παρασκευή αναπληρωμάτων τυριού με επαλειφόμενη μορφή, η μέγιστη συγκέντρωση νερού και ελαίου έπρεπε να είναι 79% και η ελάχιστη 75,5%, ενώ η αναλογία των στερεών συστατικών (καζεϊνικό νάτριο προς άμυλο πατάτας) 3:1. Συγκεκριμένα, το καζεϊνικό νάτριο έπρεπε να κυμαίνεται από 11,7 έως 14%, το άμυλο πατάτας από 5,8 έως 7%, το φοινικέλαιο από 8 έως 25%, και το νερό από 54 έως 67,5%. Σε ανάλογη εργασία που πραγματοποιήθηκε από την Ταχματζίδου (2015), βρέθηκε ότι τα όρια νερού και σογιελαίου μεταξύ

κοπτόμενης και επαλειφόμενης μορφής αναπληρωμάτων τυριού ήταν από 77,5% έως 79%. Η ελάχιστη περιεκτικότητα σε σογιέλαιο που έδωσε σταθερό γαλάκτωμα ήταν 8%, ενώ η μέγιστη περιεκτικότητα σε σογιέλαιο ορίστηκε στο 22%. Τα δείγματα με πολύ χαμηλές περιεκτικότητες σε σογιέλαιο (8-12%) είχαν όλα κοπτόμενη μορφή, ενώ δείγματα με περιεκτικότητα σε νερό πάνω από 68% δεν ήταν ποτέ σταθερά, όποια και να ήταν η περιεκτικότητα των υπόλοιπων συστατικών τους. Επιπροσθέτως, σε εργασία των Καφετζή–Κούτσουλα (2018), βρέθηκε ότι το ελάχιστο δυνατό άθροισμα περιεκτικότητας σε νερό και σογιέλαιο ήταν το 69%, η ελάχιστη περιεκτικότητα σε σογιέλαιο που θα μπορούσε να δώσει σταθερά αναπληρώματα τυριού ήταν 6%, ενώ η μέγιστη περιεκτικότητα σε σογιέλαιο ορίστηκε στο 32%. Τέλος, σε μελέτη που έγινε από τους Rinaldoni et al. (2013), αναπληρώματα τυριού με περιεκτικότητα σε λίπος μεταξύ 10 και 13% είχαν υγρασία 68,07-70,75%.

Στη συνέχεια, μελετώντας τις φυσικοχημικές ιδιότητες των δειγμάτων διαπιστώθηκε ότι τα δείγματα με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε νερό είχαν μεγαλύτερη φωτεινότητα, δηλαδή ήταν πιο λευκά, ενώ αυτά που είχαν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε καζεϊνικό νάτριο και άμυλο πατάτας είχαν ελαφρά υποκίτρινο χρώμα. Επιπρόσθετα, το pH παρέμεινε σταθερό, ενώ το μεγάλο μέγεθος των λιποσφαιρίων έδειξε ότι τα δείγματα είχαν υποστεί κροκίδωση υπό εκκένωση.

Κατά τη μελέτη των μηχανικών και ρεολογικών χαρακτηριστικών, φάνηκε ότι καθοριστικό ρόλο έπαιξε η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε καζεϊνικό νάτριο και άμυλο πατάτας, δηλαδή όσο αυξανόταν η περιεκτικότητα των αναπληρωμάτων τυριού σε καζεϊνικό νάτριο και άμυλο πατάτας, τόσο αυξάνονταν και οι τιμές των μετρούμενων χαρακτηριστικών. Αντίθετα, τα δείγματα που είχαν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε νερό εμφάνισαν μείωση των τιμών των μετρούμενων ιδιοτήτων. Όσον αφορά στο φοινικέλαιο, σε όλες τις περιπτώσεις φάνηκε να επηρεάζει ελάχιστα και αρνητικά τις ρεολογικές ιδιότητες των τυριών. Στην εργασία της Ταχματζίδου (2015), τα αποτελέσματα οδήγησαν σε παρόμοια συμπεράσματα, δηλαδή, όσο αυξανόταν η περιεκτικότητα των αναπληρωμάτων τυριού σε καζεϊνικό νάτριο τόσο αυξάνονταν και οι τιμές των μηχανικών και ρεολογικών χαρακτηριστικών. Αντίθετα, βρέθηκε ότι ο ρόλος του ελαίου, σε αυτή την περίπτωση σογιελαιού, δεν ήταν σαφής,

αφού επηρέασε ελάχιστα τις ρεολογικές ιδιότητες των τυριών, άλλοτε θετικά, όπως στην ευθραυστότητα και τον συντελεστή ιξώδους, και άλλοτε αρνητικά έως και καθόλου, όπως στο όριο διαρροής, τη σκληρότητα και τα έργα 1 και 2 κατά τη συμπίεση των δειγμάτων. Ακόμη, σε εργασία των Arancibia et al. (2016), βρέθηκε ότι σε πρωτεϊνούχα επιδόρπια, όταν οι συγκεντρώσεις της απομονωμένης πρωτεΐνης σόγιας (SPI) και του αμύλου αυξάνονταν, οι ιξωδοελαστικές ιδιότητες των δειγμάτων αυξάνονταν και κυρίως στα δείγματα με πρωτεΐνη 8% και άμυλο 3,5%. Επίσης, σε μελέτη των Sołowiej et al. (2016), βρέθηκε ότι η σκληρότητα, η συγκολλητικότητα, η συνεκτικότητα και το ιξώδες αυξήθηκαν με τη συγκέντρωση πρωτεΐνης ή αμύλου. Η αύξηση του ιξώδους ήταν μεγαλύτερη για δείγματα που περιείχαν ακετυλιωμένο αδιπικό άλας (ADA) από ότι φωσφορικό διϋδροξυπροπύλιο (HDP). Παρατηρήθηκε ότι τα αναπληρώματα τυριού που περιείχαν άμυλο παρουσίασαν πιο ιξώδεις ιδιότητες σε υψηλότερες τιμές pH (6,0-7,0) και πιο ελαστικές ιδιότητες σε χαμηλότερες τιμές pH (4,5-5,5). Αντίθετα, οι Totosaus et al. (2017) έδειξαν ότι τα αναπληρώματα τυριού που παρασκευάστηκαν ήταν περισσότερο σκληρά, με την αύξηση της υγρασίας.

Επιπλέον, κατά τη μελέτη των αλληλεπιδράσεων προέκυψε ότι το pH με τη λαμπρότητα παρουσιάζουν αρνητική συσχέτιση, δηλαδή όσο αυξάνεται το pH τόσο μειώνεται η τιμή της λαμπρότητας των δειγμάτων. Σε μελέτη των Caric & Kalab (1993), αναφέρεται ότι το pH διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις μεταβολές των χρωματικών παραμέτρων του ανακατεργασμένου τυριού. Η λαμπρότητα επίσης παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση και με τη χρωματική παράμετρο b^* , δηλαδή όταν αυξάνεται η μία μειώνεται η άλλη. Ενώ η σκληρότητα 1 και η σκληρότητα 2 παρουσιάζουν την υψηλότερη συσχέτιση με $r=0.994$, από την άλλη πλευρά φαίνεται ότι όσο αυξάνεται η σκληρότητα μειώνεται η συνεκτικότητα των δειγμάτων, σε αντίθεση με την κομμώδη υφή, όπου αυξάνεται με την αύξηση της σκληρότητας. Τέλος, υψηλή συσχέτιση παρουσίασε και η φαινομενική τάση στο τέλος της χαλάρωσης (στερεός χαρακτήρας) με την ελαστικότητα.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τη μελέτη των δειγμάτων αναπληρωμάτων τυριού που παρασκευάστηκαν είναι τα εξής:

- Τα προϊόντα που παρασκευάστηκαν παρουσίασαν σταθερή δομή και επαλειφόμενη υφή.
- Η τιμή pH των δειγμάτων εμφάνισε μικρή διακύμανση.
- Το χρώμα των δειγμάτων ήταν υπόλευκο με ελαφρά πρασινωπή χροιά και κιτρινωπή απόχρωση. Επηρέαστηκε κυρίως από την περιεκτικότητα σε μείγμα καζεϊνικού νατρίου- αμύλου πατάτας.
- Από το μεγάλο μέγεθος των λιποσφαιρίων προκύπτει ότι κατά τη γαλακτωματοποίηση έλαβε χώρα κροκίδωση υπό εκκένωση.
- Οι μηχανικές και ρεολογικές ιδιότητες των δειγμάτων αυξήθηκαν σημαντικά με την αύξηση της περιεκτικότητάς τους σε μείγμα καζεϊνικού νατρίου- αμύλου πατάτας.
- Η αύξηση του ποσοστού νερού οδήγησε σε μείωση των τιμών των μηχανικών και ρεολογικών ιδιοτήτων.
- Το φοινικέλαιο προκάλεσε μικρή μείωση στις μηχανικές και ρεολογικές ιδιότητες των δειγμάτων.
- Οι συστάσεις που αναπτύχθηκαν μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για την ανάπτυξη νέων καινοτόμων προϊόντων.
- Το καζεϊνικό νάτριο και το άμυλο πατάτας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ευρέως για την ανάπτυξη παρόμοιων προϊόντων σε συνδυασμό με άλλα συστατικά.

7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

- Προσθήκη βελτιωτικών χρωμάτων και αρωμάτων, ώστε να αναπτυχθούν οι ευχρημικές ιδιότητες των προϊόντων που παρασκευάστηκαν και επακόλουθη οργανοληπτική αξιολόγηση.
- Μελέτη της διατηρησιμότητας σε συνθήκες ψύξης με ή και χωρίς την προσθήκη συντηρητικών.
- Εφαρμογή διαφορετικών συνθηκών επεξεργασίας (χρόνος, στροφές, θερμοκρασίες) και σύγκριση των ιδιοτήτων των προϊόντων που θα προκύψουν με αυτά της παρούσας μελέτης.
- Παρασκευή και μελέτη αναπληρωμάτων τυριού με την προσθήκη διαφορετικού τύπου λαδιών ή και πρωτεϊνών.
- Προσθήκη αποκλειστικά φυτικών πρωτεϊνών (σόγιας, αρακά) για την παρασκευή καθαρά μη γαλακτοκομικών αναπληρωμάτων τυριού, για νηστεία, φυτοφαγία κλπ.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

Abou-El-Nour, A. M., Buchheim, W., & Abd El-Salam, M. H. (2001). The use of novel milk protein preparations in the manufacture of processed cheese analogue. *Egyptian Journal of Dairy Science*, 29, 313–323.

Ahmed, N. S., Hassan, F. A. M., Salama, F. M. M., & Enb, A. K. M. (1995). Utilization of plant proteins in the manufacture of cheese analogs. *Egyptian Journal of Food Science*, 23, 37–45.

Arellano-Gomez, L. A., Lobato-Calleros, C., Aguirre-Mandujano, E., & Lobato-Calleros, M. O. (1996). Effect of using different fats in the microstructure and texture characteristics of cheese analogs. *Proceedings 1996 IFT Annual Meeting*, 9–9

Rinaldoni, A. N., Palatnik, D. R., Zaritsky N., & Campderros, M. E. (2014). Soft Cheese-like product development enriched with soy protein concentrates. *Food Science and Technology*, 55, 139-147.

Arancibia C., Bayarri S., & Costell E. (2015). Effect of hydrocolloid on rheology and microstructure of high-protein soy desserts. *Journal of Food Science and Technology*, 52(10), 6435–6444.

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

Belitz, H., Grosch, W. & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry*. Berlin: Springer.

Brander, R. W., Raap, T. A., & Gessler, J. F. (1985). Soy milk containing cheese analog. United States Patent, 4556569 (pp. 1–4)

British Nutrition Foundations' Task Force (1992). *Unsaturated fatty acids. Nutritional and physiological significance*. London: Chapman and Hall.

- Borwankar, R.P. (1992). Food texture and Rheology: A tutorial review. *Journal of Food Engineering*, 16, 1–16
- Branen, L.A., Davidson, M.P. & Salminen, S. (1990). *Food Additives*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Chen, S. L., Wan, P. J., Lusas E. W., & Rhee, K. C. (1979). Utilization of peanut protein and oil in cheese analogs. *Food Technology*, 33, 88–93.
- Chavan, R.S., & Jana A. (2007). Cheese substitutes: an alternative to natural cheese - A review. *International Journal of Food Science, Technology & Nutrition*, 2, 25-39.
- Chung, C. & McClements, D. (2014). Structure–function relationships in food emulsions: Improving food quality and sensory perception. *Food Structure*, 1, 106-126.
- Cheng Hai T., Hon. Advisor, Plantation Agriculture (2002). 'The palm oil industry in Malaysia, From Seed to Frying Pan', WWF Malaysia, 88
- Dickinson E., & Golding M. (1997). Rheology of sodium caseinate stabilized oil-in-water emulsions, *Journal of Colloid and Interface Science*, 191, 166-176.
- Dimitreli G., & Thomareis A.S. (2007). Effect of chemical composition on the linear viscoelastic properties of spreadable-type processed cheese. *Journal of Food Engineering*, 84, 368–374.
- Dickinson, E. (1999). Caseins in emulsions: interfacial properties and interactions - an overview. *International Dairy Journal*, 9, 305-312.
- El-Bakry, M. (2012). Salt in Cheese: A Review. *Current Research in Dairy Sciences*, 4(1), 1.-5.
- Eritsland, J. (2000). Safety considerations of polyunsaturated fatty acids. *American Journal of Clinical Nutrition*, 71, 197– 201.

Eymery, O., & Pangborn, R. M. (1988). Influence of fat, citric acid and sodium chloride on texture and taste of a cheese analog. *Science des Aliments*, 8, 15–32.

Fennema O.R. (1996). *Food chemistry*. 3rd ed. New York: Marcel Dekker.

Fife, B. (2007). *The palm oil miracle*. Colorado Springs, CO: Picadilly Books.

Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. H. (2000). *Fundamentals of cheese science*. Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers, Inc.

Giese, J. (1992). Developing low-fat meat products. *Food Technology*, 46, 100–108.

Guinee, T.P., Caric, M. & Kalab, M. (2004). Pasteurized processed cheese and substitute/imitation cheese products. In: P. F. Fox, P. L. H. Mc Sweeney, T. M. Cogan & T. P. Guinee (Eds.), *Cheese - Chemistry, Physics and Microbiology, Vol. 2. Major cheese groups* (pp. 349-394). London: Elsevier Academic Press.

Hansen, R. (1986). Cheese with vegetable oil. *Nordeuropaeisk Mejeri-Tidsskrift*, 52, 261–261.

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

Jana A. H., & Upadhyay K. G. (2003). Mozzarella cheese analogue: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 40, 1-10.

Kalab, M., Modler, H. W., Caric, M., & Milanovic, S. (1991). Structure, Meltability, and Firmness of Process Cheese Containing White Cheese. *Food Structure*, 10, 193-201.

Kasrazdeh M., & Genigeoris C. (1993). Potential growth and control Salmonella in soft Hispanic type cheese. *International Journal of Food Microbiology*, 22, 127-140.

Kerrigan, G. L., Heth, A. A., & Hamann, A. C. (1992). Process of making a non-fat natural cheese. United States Patent, 5.094.873 (pp. 1–12).

- Kiely, L. J., McConnell, S. L., & Kindstedt, P. S. (1991). Observations on the melting behavior of imitation Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*, 74, 3568–3572.
- Kneifel, W., & Seiler, A. (1993). Water holding properties of milk protein products. A review. *Food Structure*, 12, 297–308.
- Kontou, V., Dimitreli, G. & Raphaelides, S. (2019). Elongational flow studies of processed cheese spreads made from traditional Greek cheese varieties. *LWT–Food Science and Technology*, 107, 318-324.
- Kong-Chan, J. L. Y., Hellyer, J. A., & Tafuri, M. W. (1991). Simulated cheese products with reduced animal fat and calories. United States Patent, 5.061.503 (pp. 1–14).
- Kratochvil, J. F. (1986). Imitation cheese product. United Kingdom Patent Application, 2165134 A (pp.1–8).
- Kurpad A. V. and Sheela M. L., (1992). Preparation and food applications of physically modified starches. *Trends in Food Science & Technology* 3, 145-148.
- Liasant K.J. (1984). *A review of emulsions and emulsion Technology*. Part III. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Lobato-Calleros, C., Vernon-Carter, E. J., Guerrero-Legarreta, I., Soriano-Santos, J., & Escalona-Beundia, H. (1997). Use of fat blends in cheese analogs: Influence on sensory and instrumental textural characteristics. *Journal of Texture Studies*, 28, 619–632.
- Lobato-Calleros, C., & Vernon-Carter, E. J. (1998). Microstructure and texture of cheese analogs containing different types of fat. *Journal of Texture Studies*, 29, 569–586.
- Marshall, R. J. (1990). Composition, structure, rheological properties and sensory texture of processed cheese analogues. *Journal of Science on Food & Agriculture*, 50, 237–252.

Marshall, R. J. (1991). Combined instrumental and sensory measurement of the role of fat in food texture. *Food Quality Preference*, 2, 117–124.

Mba O., Dumont M. O. & Ngadi M. (2015). Palm Oil: Processing, Characterization and Utilization in the Food Industry – A Review. *Food Bioscience*, 10, 26–41.

McCabe W., Smith J. & Harriott P. (2003). Βασικές Διεργασίες Χημικής Μηχανικής, 6^η έκδοση. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.

McClements, D. (2016). *Food emulsions*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group.

McNutt, K. (1989). Cheese analogs. *Food Engineering*, 61, 76–79.

Mortensen, H., & McCarthy, J. (1991). Imitation cheese products will gain importance. *Scandinavian Dairy Information*, 5, 14–15.

Mounsey, J., & O’Riordan, E. (2008). Influence of pre-gelatinised maize starch on the rheology, microstructure and processing of imitation cheese. *Journal of Food Engineering*, 84(1), pp.57-64.

Mounsey, J. S. & O’Riordan, E. D. (2001) Characteristics of imitation cheese containing native starches. *Journal of Food Science*, 66, 586-591.

Muir, D. D., Tamime, A. Y., Shenana, M. E., & Dawood, A. H.(1999). Processed cheese analogues incorporating fat-substitutes. Composition, microbiological quality and flavour changes during storage at 5 degrees C. *Food Science & Technology Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 32, 41–49.

Rapp, B. (2017). *Microfluidics: Modelling, Mechanics and Mathematics*. 1st ed. pp. Amsterdam: Elsevier Science.

Ratnayake, W.S., & Jackson, D.S. (2003). Learn more about Potato Starch. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)*.

- Myint, P. K., Luben, R. N., Welch, A. A., Bingham, S. A., Wareham, N. J. & Khaw K.-T. (2008). Plasma vitamin C concentrations predict risk of incident stroke over 10 y in 20 649 participants of the European Prospective Investigation into Cancer–Norfolk prospective population study, *The American Journal of Clinical Nutrition*, 87(1), 64–69.
- Rybinski, B. E., Bixby, D. G., Dawson, L. E., & Woodford, L. E. (1993). No-fat cheese analog containing rennet casein. European Patent Application, 0-568-287 (pp. 1–1).
- Ronda F. & Roos Y. H., (2008). Gelatinization and freeze-concentration effects on recrystallization in corn and potato starch gels. *Carbohydrate Research* 343(5), 903-911.
- Santos, B. L., Resurreccion, A. V. A., & Garcia, V. V. (1989). Quality characteristics and consumer acceptance of a peanut-based imitation cheese spread. *Journal of Food Science*, 54, 468–471.
- Shaw, M. (1984). Cheese substitutes: threat or opportunity? *Journal of the Society of Dairy Technology*, 37, 27–31.
- Singh, S., & Mittal, K. (1984). Development of soy cheese spread. *Journal of Food Science & Technology (Mysore)*, 31, 205–208.
- 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.
- Steffe J. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering*, 2nd edition, East Lansing, Michigan: Freeman Press.
- Sołowiej, B., Dylewska, A., Kowalczyk, D., Sujka, M., Tomczyńska-Mleko, M., & Mleko, S. (2016). The effect of pH and modified maize starches on texture, rheological properties and meltability of acid casein processed cheese analogues. *Eur Food Res Technol*, 242 (9). doi: 10.1007/s00217-016-2658-4.

Steffe, J.F. (1996) *Rheological Methods in Food Process Engineering*. 2nd Edition, Freeman Press, East Lansing.

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

Sandhu, K. & Singh, N. (2004). Characteristics of the different corn types and their grain fractions: Physicochemical, thermal, morphological, and rheological properties of starches. *Journal of Food Engineering*, 64, 119-127.

Terpstra M.E.J., Janssen A.M., & Van Der Linden E. (2007), Exploring Imperfect Squeezing Flow Measurements in a Teflon Geometry for Semisolid Foods. *Journal of Food Science*, 72, 492-502

Totosaus, A., Rojas-Nery, E. & Franco-Fernández, M.J. (2017), Soya bean oil/soya protein isolate and carrageenan emulsions as fat replacer in fat-reduced Oaxaca-type cheese. *Int J Dairy Technol*, 70, 499-505.

Wardlaw G., & Smith A. (2011). *Contemporary Nutrition*, McGraw-Hill.

Young-Jung Wee, Jin-namkim & Hwa-Won, Ryu (2006). Biotechnological production of lactic acid and its recent applications. *Food Technology and Biotechnology*, 44, 163-172.

Zevenbergen, J. L., & Rudrum, M. (1993). The role of polyunsaturated fatty acids in the prevention of chronic diseases. *Fett-Wissenschaft & Technologie*, 95, 456–460.

Zwiercan, G. A., Lacourse, N. L., & Lenchin, J. M. (1987). Imitation cheese products containing high amylose starch as total caseinate replacement. Patent US 4 695 475.

Ελληνική

Ανδρικόπουλος Ν. Κ.. (2010). *Ανάλυση Τροφίμων - Θεωρία Μεθοδολογίας Οργανολογίας και Εργαστηριακές Ασκήσεις*, Εκδόσεις Μπιστικά, Αθήνα.

Βλαχάβας Γ., Δοϊτσίνης Κ. (2001). Μελέτη του φαινομενικού ιξώδους ανακατεργασμένων τυριών κατά την πήξη. Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Καφετζή Ι., Κούτσουλας Λ. (2018). Ανάπτυξη και μελέτη επαλειφόμενων αναπληρωμάτων τυριού με βάση την πρωτεΐνη σόγιας. Διατριβή μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης. Τμήμα Τεχνολογίας Γεωπονίας και Τεχνολογίας Τροφίμων & διατροφής, ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Κώδικας Τροφίμων - Ποτών (2009). Γενικό Χημείο του Κράτους, Ανώτατο Χημικό Συμβούλιο, Αθήνα.

Λαζαρίδης Χ. (2000). Μηχανική Τροφίμων, 2^η Εκδ., 93-108. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη.

Μπόσκος Δ. (2004). Χημεία Τροφίμων, Πέμπτη Έκδοση, Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη

Παναγιώτου Κ. (1998). Διεπιφανειακά φαινόμενα και κολλοειδή συστήματα, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Πετρίδης Δ. (2016). Εφαρμοσμένη Στατιστική με έμφαση στην Τεχνολογία Τροφίμων, Εκδόσεις BackOffice, Θεσσαλονίκη.

Ραφαηλίδης Σ.Ν. (1987). Σημειώσεις Μηχανικής Τροφίμων 1. Α.Τ.Ε.Ι.Θ., Θεσσαλονίκη.

Ραφαηλίδης Σ. (2006). Εργαστηριακές Σημειώσεις Μηχανικής Τροφίμων Ι, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Ριτζούλης Χ. (2011). Φυσικοχημεία Τροφίμων, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Ταχματζίδου Β. (2015). Μελέτη των φυσικοχημικών και ρεολογικών χαρακτηριστικών αναπληρωμάτων τυριού χαμηλής λιποπεριεκτικότητας. Διατριβή μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης. Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, ΑΤΕΙ

Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Regression for Mixtures: L versus Φοινικέλαιο; Καζεϊνικό ... τας; Νερό

Estimated Regression Coefficients for L (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Φοινικέλαιο	84,87	5,68	*	*	12,05
Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας	68,4	18,0	*	*	150,70
Νερό	86,61	4,88	*	*	110,83

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
1,05626	6,12%	0,00%	22,5763	0,00%

Regression for Mixtures: A versus Φοινικέλαιο; Καζεϊνικό ... τας; Νερό

Estimated Regression Coefficients for A (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
φοινικέλαιο	-2,60	2,16	*	*	12,05
Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας	9,89	6,84	*	*	150,70
Νερό	-4,50	1,86	*	*	110,83

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0,401592	23,03%	7,64%	3,04880	0,00%

Regression for Mixtures: B versus Φοινικέλαιο; Καζεϊνικό ... τας; Νερό

Estimated Regression Coefficients for B (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
φοινικέλαιο	18,31	4,52	*	*	12,05
Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας	23,4	14,3	*	*	150,70
Νερό	11,07	3,89	*	*	110,83

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0,841007	20,78%	4,93%	14,0826	0,00%

Regression for Mixtures: D (4,3) μm . versus φοινικέλαιο; ... άτας; Νερό

Estimated Regression Coefficients for D (4,3) μm (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Φφοινικέλαιο	220	144	*	*	12,05
Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας	-215	456	*	*	150,70
Νερό	111	124	*	*	110,83

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
26,7991	10,45%	0,00%	14113,7	0,00%

Regression for Mixtures: B (N) versus Φοινικέλαιο; ... Πατάτας; Νερό

Estimated Regression Coefficients for B (N) (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Φοινικέλαιο	-57,0	22,3	*	*	972,82
Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας	294,1	89,3	*	*	19447,95
Νερό	19,1	13,2	*	*	4252,73
Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας*Νερό	-467	177	-2,65	0,027	30313,24

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0,461598	90,82%	87,76%	3,47456	83,36%

Regression for Mixtures: H1 (N) versus Φοινικέλαιο; ... Πατάτας; Νερό

Estimated Regression Coefficients for H1 (N) (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Φοινικέλαιο	-455	136	*	*	1611,83
Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας	-136	118	*	*	1516,96
Νερό	30,2	29,9	*	*	968,66
Φοινικέλαιο*Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας	2788	821	3,39	0,008	2299,07

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
2,18930	89,31%	85,75%	118,096	70,74%

Regression for Mixtures: H2 (N) versus Φοινικέλαιο; ... Πατάτας; Νερό

Estimated Regression Coefficients for H2 (N) (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Φοινικέλαιο	-317,6	61,0	*	*	1611,83
Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας	-101,3	53,0	*	*	1516,96
Νερό	22,4	13,4	*	*	968,66
Φοινικέλαιο*Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας	1933	368	5,26	0,001	2299,07

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0,980305	94,79%	93,05%	18,0290	89,14%

Regression for Mixtures: A1 versus Φοινικέλαιο; ... υλοΠατάτας; Νερό

Estimated Regression Coefficients for A1 (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Φοινικέλαιο	-1246	324	*	*	972,82
Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας	6098	1295	*	*	19447,95
Νερό	459	192	*	*	4252,73
Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας*Νερό	-10019	2560	-3,91	0,004	30313,24

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
6,69534	93,80%	91,74%	767,561	88,21%

Regression for Mixtures: A2 versus Φοινικέλαιο; ... λο Πατάτας; Νερό

Estimated Regression Coefficients for A2 (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Φοινικέλαιο	-231,4	75,4	*	*	1611,83
Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας	-38,7	65,5	*	*	1516,96
Νερό	8,7	16,6	*	*	968,66
Φοινικέλαιο*Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας	1386	455	3,05	0,014	2299,07

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
1,21214	89,51%	86,02%	29,6591	76,48%

Regression for Mixtures: A3 versus Φοινικέλαιο; ... λο Πατάτας; Νερό

Estimated Regression Coefficients for A3 (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Φοινικέλαιο	7,50	9,25	*	*	12,05
Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας	60,3	29,3	*	*	150,70
Νερό	-14,15	7,95	*	*	110,83

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
1,71942	43,17%	31,80%	58,9519	0,00%

Regression for Mixtures: C (A2/A1, mJ) versus ... μυλο Πατάτας; Νερό

Estimated Regression Coefficients for C (A2/A1, mJ) (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Φοινικέλαιο	0,044	0,241	*	*	12,05
Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας	0,266	0,762	*	*	150,70
Νερό	0,405	0,207	*	*	110,83

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0,0447250	18,63%	2,36%	0,0361460	0,00%

Regression for Mixtures: S1 (mm) versus Φοινικέλαιο; ... ατάτας; Νερό

Estimated Regression Coefficients for S1 (mm) (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Φοινικέλαιο	0,0350	0,0155	*	*	12,05
Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας	0,0698	0,0490	*	*	150,70
Νερό	-0,0084	0,0133	*	*	110,83

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0,0028760	44,86%	33,83%	0,0001632	0,00%

Regression for Mixtures: S2 (mm) versus Φοινικέλαιο; ... ατάτας; Νερό

Estimated Regression Coefficients for S2 (mm) (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Φοινικέλαιο	0,1614	0,0570	*	*	1611,83
Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας	0,1581	0,0495	*	*	1516,96
Νερό	-0,0329	0,0125	*	*	968,66
Φοινικέλαιο*Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας	-0,970	0,344	-2,82	0,020	2299,07

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0,0009161	51,64%	35,53%	0,0000216	0,00%

Regression for Mixtures: G (N) versus Φοινικέλαιο; ... Πατάτας; Νερό

Estimated Regression Coefficients for G (N) (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Φοινικέλαιο	-65,4	24,2	*	*	1611,83
Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας	-17,7	21,0	*	*	1516,96
Νερό	4,43	5,31	*	*	968,66
Φοινικέλαιο*Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας	392	146	2,69	0,025	2299,07

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0,388789	82,72%	76,96%	4,12067	47,65%

Regression for Mixtures: $\sigma_{app@2mm}$ (Pa) versus ... ο Πατάτας; Νερό

Estimated Regression Coefficients for $\sigma_{app@2mm}$ (Pa) (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Φοινικέλαιο	-41506	56235	*	*	12,05
Καζεϊνικό Νάτριο-Άμυλο Πατάτας	525545	178039	*	*	150,70
Νερό	-110775	48329	*	*	110,83

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
10454,5	45,28%	34,34%	1833114080	8,23%

Correlations

	D (3,2) μm	D (4,3) μm	pH	L*
D (4,3) μm .	0,945			
	0,000			
pH	-0,038	-0,039		
	0,903	0,898		
L*	-0,152	-0,102	-0,400	
	0,621	0,740	0,176	
a*	0,200	0,061	0,426	-0,748
	0,512	0,843	0,147	0,003
b*	0,135	0,126	0,184	-0,887
	0,661	0,683	0,548	0,000
B (N)	0,254	0,233	0,368	-0,163
	0,402	0,444	0,217	0,595
H1 (N)	0,091	0,058	0,169	0,034
	0,768	0,850	0,581	0,913
H2 (N)	0,159	0,104	0,218	-0,003
	0,603	0,736	0,474	0,992
A1 (J)	0,119	0,081	0,282	-0,086
	0,700	0,792	0,351	0,781
A2 (J)	0,092	0,060	0,287	0,011
	0,765	0,846	0,341	0,972
A3 (J)	-0,281	-0,288	-0,007	0,258
	0,352	0,340	0,981	0,394
C (A2/A1)	0,070	0,074	0,015	0,515
	0,820	0,809	0,962	0,072
S1 (mm)	-0,240	-0,236	-0,252	0,244
	0,429	0,438	0,406	0,421
S2 (mm)	-0,420	-0,441	0,517	-0,636
	0,153	0,132	0,071	0,020
G (N)	0,070	0,040	0,193	0,104
	0,820	0,897	0,529	0,734
$\sigma_{\text{app@2mm}}$ (Pa)	-0,311	-0,353	0,649	0,059
	0,301	0,237	0,016	0,848
$\sigma_{\text{app@3min}}$ (Pa)	-0,246	-0,311	0,564	0,053
	0,417	0,300	0,045	0,864
	a*	b*	B (N)	H1 (N)
b*	0,656			
	0,015			
B (N)	0,463	0,316		

	0,111	0,294		
H1 (N)	0,409	0,145	0,928	
	0,166	0,635	0,000	
H2 (N)	0,402	0,147	0,951	0,983
	0,173	0,632	0,000	0,000
A1 (J)	0,476	0,246	0,973	0,980
	0,100	0,418	0,000	0,000
A2 (J)	0,400	0,138	0,954	0,987
	0,175	0,654	0,000	0,000
A3 (J)	0,158	-0,044	0,595	0,784
	0,605	0,887	0,032	0,002
C (A2/A1)	-0,509	-0,545	-0,050	-0,043
	0,076	0,054	0,871	0,889
S1 (mm)	0,106	0,129	0,530	0,692
	0,729	0,674	0,062	0,009
S2 (mm)	0,489	0,640	0,122	-0,005
	0,090	0,018	0,691	0,987
G (N)	0,332	0,043	0,893	0,981
	0,268	0,890	0,000	0,000
$\sigma_{app@2mm}$ (Pa)	0,204	-0,046	0,618	0,594
	0,504	0,882	0,024	0,032
$\sigma_{app@3min}$ (Pa)	0,281	-0,007	0,731	0,733
	0,353	0,982	0,005	0,004
	H2 (N)	A1 (J)	A2 (J)	A3 (J)
A1 (J)	0,981			
	0,000			
A2 (J)	0,985	0,985		
	0,000	0,000		
A3 (J)	0,715	0,694	0,737	
	0,006	0,009	0,004	
C (A2/A1)	-0,020	-0,070	0,038	-0,208
	0,950	0,820	0,902	0,495
S1 (mm)	0,588	0,629	0,636	0,784
	0,034	0,021	0,020	0,002
S2 (mm)	-0,032	0,097	0,044	0,068
	0,918	0,753	0,887	0,824
G (N)	0,966	0,941	0,981	0,798
	0,000	0,000	0,000	0,001
$\sigma_{app@2mm}$ (Pa)	0,617	0,634	0,658	0,606
	0,025	0,020	0,014	0,028

$\sigma_{app@3min}$ (Pa)	0,757	0,763	0,780	0,704	
	0,003	0,002	0,002	0,007	
	C (A2/A1, mJ)	S1 (mm)	S2 (mm)	G (N)	
S1 (mm)	-0,058				
	0,851				
S2 (mm)	-0,336	0,109			
	0,262	0,722			
G (N)	0,075	0,656	-0,047		
	0,807	0,015	0,879		
$\sigma_{app@2mm}$ (Pa)	0,009	0,361	0,300	0,607	
	0,977	0,226	0,319	0,028	
$\sigma_{app@3min}$ (Pa)	-0,030	0,444	0,269	0,736	
	0,923	0,128	0,374	0,004	
	$\sigma_{app@2mm}$ (Pa)				
$\sigma_{app@3min}$ (Pa)	0,972				
	0,000				

Cell Contents
Pearson correlation
P-Value