

ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΡΕΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ
ΤΥΠΟΥ ΜΑΓΙΟΝΕΖΑΣ ΜΕ ΚΟΜΜΕΑ ΓΚΟΥΡΑ ΚΑΙ
ΞΑΝΘΑΝΗΣ**

ΚΑΡΑΝΑΣΤΑΣΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ
ΜΠΡΑΝΙΚΑ ΣΤΥΛΙΑΝΗ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2012

**ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΡΕΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ ΤΥΠΟΥ
ΜΑΓΙΟΝΕΖΑΣ ΜΕ ΚΟΜΜΕΑ ΓΚΟΥΑΡ ΚΑΙ ΞΑΝΘΑΝΗΣ**

ΚΑΡΑΝΑΣΤΑΣΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΜΠΡΑΝΙΚΑ ΣΤΥΛΙΑΝΗ

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

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2012

ΕΠΟΠΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΘΩΜΑΡΕΪΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΡΕΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ ΤΥΠΟΥ
ΜΑΓΙΟΝΕΖΑΣ ΜΕ ΚΟΜΜΕΑ ΓΚΟΥΑΡ ΚΑΙ ΞΑΝΘΑΝΗΣ

ΚΑΡΑΝΑΣΤΑΣΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ – ΜΠΡΑΝΙΚΑ ΣΤΥΛΙΑΝΗ

Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης,
Σχολή Τεχνολογίας Τροφίμων και Διατροφής, Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων,
Τ.Θ. 141, 57400 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Παρασκευάστηκαν δέκα δείγματα τύπου μαγιονέζας μειωμένης λιποπεριεκτικότητας, με 30% ηλιέλαιο και χωρίς την προσθήκη κρόκου αυγού, ως γαλακτωματοποιητή. Προστέθηκαν σε συνολικό ποσοστό 1% οι σταθεροποιητές κόμμι γκουάρ και ξανθάνη στις εξής μεταξύ τους σχέσεις: 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90 και 0:100.

Μετά την παρασκευή τους, τα δείγματα αποθηκεύτηκαν σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος (18-22 °C) επί 29 ημέρες. Κάθε 3-4 ημέρες πραγματοποιούνταν μετρήσεις του φαινομενικού ιξώδους με ιξωδόμετρο RVT και τη μέθοδο Mitschka, καθώς και μετρήσεις του pH και του χρώματος των δειγμάτων.

Διαπιστώθηκαν η σταθερότητα των γαλακτωμάτων, η μεγάλη ψευδοπλαστικότητα που προσδίδει η ξανθάνη στα δείγματα και η συνέργεια μεταξύ κόμμιος γκουάρ και ξανθάνης στη διαμόρφωση του ιξώδους του προϊόντος. Η συνέργεια είναι μέγιστη στη σχέση κόμμιος γκουάρ/ξανθάνης 50:50. Κατά την αποθήκευση παρατηρήθηκαν μείωση του ιξώδους, οφειλόμενη στην όξινη υδρόλυση του κόμμιος γκουάρ και μεταβολή στο pH και στο χρώμα των δειγμάτων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
2.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	4
2.1.Ρεολογικές έννοιες	4
2.1.1.Παραμόρφωση στερεών.....	5
2.1.2.Ροή ρευστών.....	6
2.2.Νευτώνεια ρευστά.....	7
2.3.Μη νευτώνεια ρευστά	7
2.4. Γαλακτώματα	9
2.4.1.Ιδιότητες των γαλακτωμάτων.....	10
2.5.Γαλακτωματοποιητές	15
2.6.Σταθεροποιητές	16
2.6.1.Κόμμι Γκουάρ (Guar gum)	17
2.6.2.Ξανθάνη	18
2.7.Μαγιονέζα.....	19
2.7.1.Αναπληρώματα μαγιονέζας.....	20
2.7.2.Μέθοδοι ρεολογικών ιδιοτήτων της μαγιονέζας.....	21
2.8.Χρωματομετρία.....	24
2.8.1.Χρωματικά μοντέλα	25
3.ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	29
4.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	30
4.1.Παρασκευή δειγμάτων μαγιονέζας	30
4.1.1.Όργανα και υλικά.....	30
4.1.2.Μέθοδος παρασκευής δειγμάτων μαγιονέζας.....	30
4.2.Ρεολογική μελέτη των δειγμάτων μαγιονέζας	31
4.2.1.Όργανα και υλικά	31
4.2.2.Μέθοδος μέτρησης.....	32
4.2.3.Μαθηματική επεξεργασία των αποτελεσμάτων.....	32
4.3.Μελέτη του pH των δειγμάτων μαγιονέζας.....	34

4.3.1.Όργανα και υλικά	34
4.3.2.Μέθοδος μέτρησης.....	34
4.4.Μελέτη της μεταβολής του χρώματος των δειγμάτων μαγιονέζας.....	34
4.4.1.Όργανα και υλικά	34
4.4.2.Μέθοδος μέτρησης.....	35
5.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	36
5.1.Ρεολογικές παράμετροι.....	36
5.1.1. Δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς (n)	36
5.1.2. Συντελεστής συνεκτικότητας (k)	37
5.1.3. Φαινομενικό ιξώδες (η_{app})	38
5.1.4. Συνέργεια σταθεροποιητών – υδρόλυση κόμμεος γκουάρ	40
5.1.5. Ψευδοπλαστικότητα	41
5.2. pH.....	43
5.3.Χρωματικές παράμετροι	44
5.3.1. Παράμετρος L^*	44
5.3.2. Παράμετρος a^*	45
5.3.3. Παράμετρος b^*	45
6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	47
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	49

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με τον Κώδικα Τροφίμων και Ποτών (2010), μαγιονέζα νοείται το προϊόν σε μορφή ομοιογενούς πολτού, που παρασκευάζεται από εδώδιμο έλαιο (τουλάχιστον 60%) με προσθήκη κρόκου αυγού, μαγειρικού αλατιού, αρτυμάτων, χυμού λεμονιού ή κιτρικού οξέος και μερικές φορές ζάχαρης και ξιδιού. Οι εμπορικές μαγιονέζες συνήθως περιέχουν 70-80% λάδι.

Επειδή όμως υπάρχει συνεχής τάση μείωσης των λιπαρών στα τρόφιμα, κυκλοφορούν στην αγορά αναπληρώματα μαγιονέζας χαμηλών λιπαρών (light και low fat mayonnaise products) στη σύνθεση των οποίων περιλαμβάνονται άμυλα παράγωγα κυτταρίνης και υποκατάστατα του λίπους, ώστε το προϊόν να έχει αποδεκτή υφή (Bakal, 1992, Pedersen, 1995). Παράλληλα, πολλοί καταναλωτές αποφεύγουν τη μαγιονέζα λόγω του κρόκου αυγού που περιέχει, για διάφορους διατροφικούς λόγους (υπερχοληστεριναιμία, φυτοφαγία, νηστεία). Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί και κατοχυρωθεί με διπλώματα ευρεσιτεχνίας αναπληρώματα μαγιονέζας χωρίς κρόκο αυγού (Kanda, 1981, Bodor, 2009).

Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια να αναπτυχθούν και να μελετηθούν γαλακτώματα τύπου μαγιονέζας αφενός με χαμηλά λιπαρά (30%) και αφετέρου χωρίς κρόκο αυγού. Αυτό γίνεται εφικτό με προσθήκη κόμμεος γκουάρ και ξανθάνης. Τα γαλακτώματα που προκύπτουν αναφέρονται στο κείμενο, χάριν συντομίας, ως μαγιονέζες.

2.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1.Ρεολογικές έννοιες

Η λέξη «ρεολογία» χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1928 από τον Bingham, ο οποίος περιέγραψε τη θεωρία του Έλληνα φιλόσοφου Ηράκλειτου (500 π.Χ.), σύμφωνα με την οποία «τα πάντα ρει», που σημαίνει ότι τα πάντα βρίσκονται σε συνεχή κίνηση (Steffe, 1996).

Ρεολογία είναι η επιστήμη της παραμόρφωσης και της ροής της ύλης. Η ροή των ρευστών αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι της, με ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τον μηχανικό, που ασχολείται με τα τρόφιμα, καθώς υπεισέρχεται στο σχεδιασμό των περισσότερων διεργασιών επεξεργασίας των τροφίμων. Επιπλέον, πολλές από τις βασικές αρχές που συνδέονται με τη ροή ρευστών μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την περιγραφή της ροής αιωρημάτων, κοκκωδών προϊόντων ή λεπτοδιαμερισμένων σκονών και της υφής "στερεών" τροφίμων. Δεν θα πρέπει να θεωρηθεί ότι οι θεωρίες που αναπτύχθηκαν για άλλα υλικά ισχύουν πλήρως για τα τρόφιμα που είναι ιδιαίτερα πολύπλοκα συστήματα. Παράμετροι όπως η επίδραση χημικών και μικροβιολογικών δράσεων, της θερμοκρασίας και της υγρασίας στις ρεολογικές ιδιότητες πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη και συχνά προκύπτει η ανάγκη προσφυγής σε εμπειρικά μεγέθη και πειραματικές μετρήσεις ειδικά αναπτυγμένες για τα συγκεκριμένα τρόφιμα.

Πέραν του σχεδιασμού του απαραίτητου εξοπλισμού η ρεολογική μελέτη των τροφίμων επιτρέπει την εκτίμηση της δομής τους, της λειτουργικότητας τους και της κατάστασης τους (π.χ. της μετουσίωσης πρωτεϊνών, ζελατινοποίησης αμύλου, σχηματισμό πήγματος κτλ). Συχνά χρησιμοποιείται για έλεγχο των πρώτων υλών ή των διεργασιών παραγωγής των προϊόντων (Steffe, 1996).

Ως μηχανικές ιδιότητες ενός υλικού ορίζονται οι ιδιότητες που αναφέρονται στη συμπεριφορά του, όταν βρίσκεται υπό την επίδραση δύναμης. Όταν κατά την παραμόρφωση ή ροή του λαμβάνεται υπόψη και ο χρόνος, τότε προσδιορίζονται οι ρεολογικές ιδιότητες του (Ραφαηλίδης, 2005). Συνεπώς, οι παράμετροι που καθορίζουν τη ρεολογική συμπεριφορά ενός υλικού είναι οι εξής:

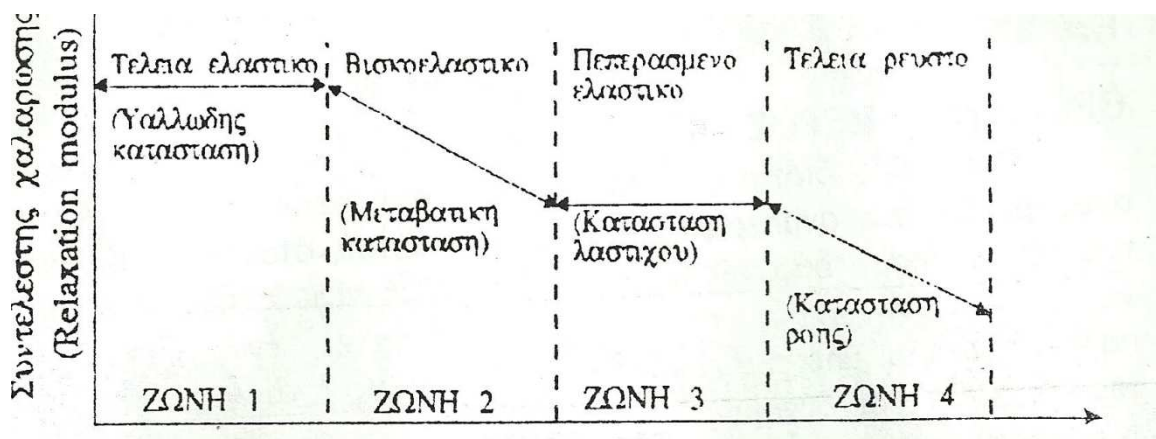
- η δύναμη που επιδρά στο υλικό,
- η παραμόρφωση που υφίσταται το υλικό
- ο χρόνος επίδρασης της δύναμης

Για τον προσδιορισμό των ρεολογικών ιδιοτήτων, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν θεμελιώδεις και εμπειρικές μέθοδοι. Η διαφορά μεταξύ των

θεμελιωδών και των εμπειρικών ρεολογικών μεθόδων είναι ότι οι θεμελιώδεις μέθοδοι ερμηνεύουν την ένταση και τη φορά της δύναμης και της παραμόρφωσης για υλικά με συγκεκριμένο σχήμα και σύνθεση, που δεν συμβαίνει με τις εμπειρικές μεθόδους. Το πλεονέκτημα των θεμελιωδών μεθόδων είναι ότι βασίζονται σε γνωστές αρχές και εξισώσεις της φυσικής. Οι εμπειρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται συχνά, όταν η σύνθεση του δείγματος ή η γεωμετρία του είναι τόσο σύνθετες, ώστε να μην μπορεί να υπολογιστεί η δύναμη ή η παραμόρφωση με τη χρήση γνωστών εξισώσεων.

2.1.1. Παραμόρφωση στερεών

Όταν κατά την εφαρμογή μίας δύναμης σ' ένα υλικό παρατηρηθεί η συμπεριφορά του σε συνάρτηση με το χρόνο, θα διαπιστωθεί ότι ανάλογα με τη δομή του το υλικό θα ανήκει σε μία από τις ακόλουθες ζώνες που παρουσιάζονται στο Σχήμα 1:



Σχήμα 1: Κατηγορίες στερεών σωμάτων (Ραφαηλίδης, 2005)

Ζώνη 1: Αντιστοιχεί στα τέλεια ελαστικά υλικά, που δεν είναι χρονοεξαρτώμενα και αναφέρονται ως στερεά Hooke.

Η κλίση της ευθείας (E) ονομάζεται μέτρο ελαστικότητας του Young και ορίζεται από το λόγο ($E = \sigma/\epsilon$), όπου σ η τάση και ϵ η παραμόρφωση.

Ελαστικό υλικό σημαίνει ότι μόλις πάψει η επίδραση της δύναμης που το παραμορφώνει, το υλικό επανέρχεται στην αρχική του μορφή.

Ζώνη 2: Αντιστοιχεί σε υλικά που ονομάζονται ιξωδοελαστικά και σημαίνει ότι εμφανίζουν τη μικτή συμπεριφορά ενός ελαστικού σώματος (στερεού) και ενός ιξώδους (υγρού) ή πλαστικού. Πλαστικό σημαίνει το υλικό που όταν υποστεί την επίδραση μιας δύναμης, μεγαλύτερης από μια καθορισμένη τιμή, το υλικό παραμορφώνεται μόνιμα, ακόμα και όταν πάψει να υφίσταται η δύναμη.

Ζώνη 3: Αντιστοιχεί στα υλικά που παρουσιάζουν μη γραμμική ελαστική συμπεριφορά, όπου η επίδραση της δύναμης προκαλεί δυσανάλογα μεγάλες παραμορφώσεις.

Ζώνη 4: Αντιπροσωπεύει την κατάσταση όπου η τάση είναι ανάλογη του ρυθμού παραμόρφωσης και χαρακτηρίζει το τέλειο ρευστό το οποίο σ' αυτή την περίπτωση ρέει συνεχώς.

Όλα τα υλικά που έχουν γραμμική αντίδραση θα συμπεριφερθούν ανάλογα με κάποια από τις ζώνες αυτές.

Για να έχει το υλικό γραμμική συμπεριφορά θα πρέπει το μέγεθος της ασκούμενης δύναμης να μην υπερβεί ορισμένα όρια, ώστε να μην καταστραφεί ανεπανόρθωτα η δομή του υλικού (Ραφαηλίδης, 2005).

2.1.2.Ροή ρευστών

Για τα περισσότερα ρευστά, η ελαστική συμπεριφορά είναι πολύ μικρή ή μπορεί να αγνοηθεί, η πιο σημαντική ρεολογική ιδιότητα 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, 2005). 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 .

όπου A η επιφάνεια στην οποία ασκείται η δύναμη. Ο λόγος u/z ονομάζεται ρυθμός διάτμησης (γ).

Το ιξώδες συσχετίζει την εφαρμοζόμενη σε ένα ρευστό διατμητική τάση με το ρυθμό διάτμησης (παραμόρφωσης) του ρευστού και η σχέση, που ισχύει μεταξύ αυτών των δύο μεγεθών καθορίζεται από πειραματικά δεδομένα. Η ρεολογική συμπεριφορά των ρευστών απεικονίζεται σε διαγράμματα της διατμητικής τάσης σε συνάρτηση με το ρυθμό διάτμησης.

2.2.Νευτώνεια ρευστά

Για την περιγραφή των ρεολογικών ιδιοτήτων των ρευστών τροφίμων βασικό ρόλο παίζει το ιξώδες τους. Το ιξώδες, ως γνωστόν, ορίζεται ως η εσωτερική τριβή ή η αντίσταση του ρευστού στη ροή. Είναι η ικανότητα του ρευστού να αντιστέκεται σε παραμορφωτικές δυνάμεις και συγκεκριμένα σε διατμητικές τάσεις.

Η διατμητική τάση ορίζεται ως ο λόγος της δύναμης προς την επιφάνεια και ο ρυθμός παραμόρφωσης καθορίζεται από την κλίση της ταχύτητας. Για τα νευτώνεια υγρά, υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ της τάσης τ και του ρυθμού παραμόρφωσης du / dy . Ο λόγος της τάσης προς το ρυθμό παραμόρφωσης είναι γνωστός ως δυναμικό ιξώδες η (Barnes, 1989):

$$\eta = \frac{\tau}{du / dy}$$

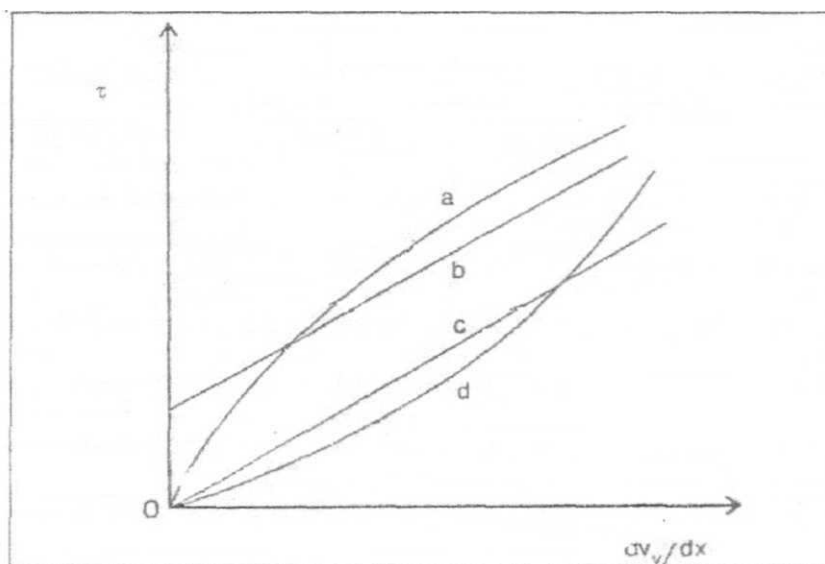
2.3.Μη νευτώνεια ρευστά

Σε ένα πολύπλοκο δομικά ρευστό, εμφανίζονται σημαντικές αλληλεπιδράσεις, οι οποίες έχουν σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση μη γραμμικής σχέσης διατμητικής τάσης και ρυθμού παραμόρφωσης. Τέτοια ρευστά ονομάζονται μη νευτώνεια. Έτσι σε διαλύματα που περιέχουν μακρομόρια, είτε διαλυμένα είτε σε κolloειδή μορφή, σε αιωρήματα, πηκτές ή γαλακτώματα μπορεί να εμφανίζονται σύνθετες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων συστατικών. Τα μη νευτώνεια ρευστά χαρακτηρίζονται από το φαινομενικό ιξώδες η_a .

Τα μη νευτώνεια ρευστά διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες: σε εκείνα των οποίων η ροή είναι χρονικά ανεξάρτητη και σε εκείνα που είναι εξαρτημένη.

- Ρευστά με ροή χρονικά ανεξάρτητη:

Οι τρεις κύριοι τύποι αυτής της κατηγορίας οι οποίοι φαίνονται στο Σχήμα 2 είναι:



Σχήμα 2: Τύποι ρεολογικής συμπεριφοράς. Γραφική παράσταση της διατρητικής τάσης ως προς το ρυθμό παραμόρφωσης ρευστών για: α) ψευδοπλαστικό, β) πλαστικό Bingham, γ) νευτώνειο και δ) διασταλτικό (Dickinson, 1982)

- Τα ψευδοπλαστικά (shear thinning): Το φαινομενικό ιξώδες τους μειώνεται όταν αυξάνει ο ρυθμός παραμόρφωσης, γίνονται δηλαδή πιο λεπτόρρευστα. Πολλά κολλοειδή συστήματα τροφίμων εμφανίζουν ψευδοπλαστικότητα η οποία οφείλεται σε ένα "σπάσιμο" της δομής κατά την εφαρμογή τάσης.
- Τα διασταλτικά (shear thickening): Εμφανίζουν την αντίθετη συμπεριφορά με τα ψευδοπλαστικά. Πρόκειται για υγρά τα οποία γίνονται πιο παχύρρευστα, όταν αυξάνεται ο ρυθμός παραμόρφωσης. Το φαινομενικό ιξώδες τους αυξάνει όσο αυξάνει ο ρυθμός παραμόρφωσης. Διασταλτικότητα είναι ένα σπάνιο φαινόμενο αλλά εμφανίζεται κυρίως σε πυκνά αιωρήματα, όπου η δομή γίνεται πιο συμπαγής κατά την εφαρμογή δύναμης, λόγω μιας αρχικής μείωσης του όγκου .
- Τα πλαστικά Bingham. Σ' αυτή την περίπτωση για να αρχίσει η παραμόρφωση πρέπει η διατρητική τάση να υπερβεί μια ελάχιστη τιμή που αναφέρεται ως τάση διαρροής. Τη ρεολογική αυτή συμπεριφορά παρουσιάζουν διάφορα συστήματα διασποράς δυο φάσεων, όπως αιωρήματα.

- Ρευστά με ροή χρονικά εξαρτημένη:

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα φαινόμενα της θιξοτροπίας και της ρεοπηξίας.

Θιξοτροπία είναι η ρεολογική ιδιότητα κατά την οποία το ιξώδες μειώνεται, δηλαδή το υλικό γίνεται λεπτόρρευστο κατά την παραμόρφωση (όπως και στα ψευδοπλαστικά ρευστά), αλλά η μείωση αυτή δεν εξαρτάται μόνο από το ρυθμό παραμόρφωσης, αλλά συγχρόνως και από τη διάρκεια παραμόρφωσης.

Στα θιξότροπα τρόφιμα 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.

Ρεοπηξία είναι το αντίθετο της θιξοτροπίας. Πρόκειται για την ρεολογική συμπεριφορά κατά την οποία το ιξώδες αυξάνει σε συνάρτηση με το ρυθμό και τη διάρκεια της παραμόρφωσης (Barnes, 1989).

2.4. Γαλακτώματα

Γαλακτώματα είναι τα μικροετερογενή συστήματα, τα οποία αποτελούνται από τουλάχιστον ένα μη αναμίξιμο υγρό διασπαρμένο σε ένα άλλο υπό μορφή σταγόνων, των οποίων οι διάμετροι είναι, συνήθως, μεταξύ 0,1 και 100μm (Παναγιώτου,1998).

Το μη αναμίξιμο υγρό μπορεί να είναι νερό, λάδι ή κάποια λιπαρή ύλη. Το ένα υγρό το οποίο είναι διεσπαρμένο υπό μορφή σταγόνων στο άλλο αναφέρεται ως διεσπαρμένη, ασυνεχής ή εσωτερική φάση. Το περιβάλλον υγρό είναι γνωστό ως διασπείρουσα, συνεχής ή εξωτερική φάση.

Τα συστήματα των γαλακτωμάτων διαχωρίζονται στις παρακάτω κύριες κατηγορίες (Lissant, 1974):

1) Αυτά που αποτελούνται από σταγονίδια λαδιού διασπαρμένα σε ένα υδατικό μέσο, και αναφέρονται ως γαλακτώματα λάδι - σε - νερό (O/W).

2) Αυτά στα οποία σταγονίδια νερού είναι διασπαρμένα σε έλαιο ή λιπαρή φάση, και χαρακτηρίζονται σαν γαλακτώματα νερού - σε - λάδι (W/O).

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να ξεχωρίσει κανείς το είδος (O/W, W/O) ενός γαλακτώματος (Παναγιώτου,1998):

Ένα γαλάκτωμα O/W αναμιγνύεται εύκολα με νερό, ενώ ένα γαλάκτωμα W/O αναμιγνύεται με λάδι.

Γενικά, ένα O/W γαλάκτωμα έχει μία κρεμώδη υφή, ενώ ένα W/O γαλάκτωμα έχει μία λιπαρή υφή.

Το γαλάκτωμα O/W χρωματίζεται εύκολα με υδατοδιαλυτές χρωστικές, ενώ ένα γαλάκτωμα W/O με λιποδιαλυτές χρωστικές.

Τα γαλακτώματα O/W έχουν, συνήθως, πολύ μεγαλύτερη αγωγιμότητα από τα γαλακτώματα W/O.

2.4.1.Ιδιότητες των γαλακτωμάτων

Οι ιδιότητες των γαλακτωμάτων που αναφέρονται παρακάτω 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).

2.4.1.1.Εμφάνιση

Η εμφάνιση ενός γαλακτώματος εξαρτάται από τα συστατικά που χρησιμοποιούνται, το χρώμα τους και τη διαφορά στο δείκτη διάθλασης, καθώς και το μέγεθος των σωματιδίων της διασπαρμένης φάσης. Όταν το μέγεθος των σωματιδίων είναι από 0,5 έως 5 μm και υπάρχει σημαντική διαφορά στο δείκτη διάθλασης τότε το γαλάκτωμα είναι αδιαφανές. Το χρώμα του προϊόντος καθορίζεται συνήθως από το χρώμα της συνεχούς φάσης. Η διαύγεια ενός γαλακτώματος επιτυγχάνεται με τη μείωση του μεγέθους των σωματιδίων κατά μερικά νανόμετρα (μικρότερα από το μήκος κύματος του ορατού φωτός) ή ρυθμίζοντας τις δύο φάσεις ώστε να έχουν μια ιδανική τιμή δείκτη διάθλασης. (Lissant, 1974).

2.4.1.2.Ικανότητα διασποράς

Η ικανότητα διασποράς ενός γαλακτώματος εξαρτάται από τον τύπο του γαλακτώματος. Αν η εξωτερική φάση είναι νερό, τότε το γαλάκτωμα μπορεί να υποστεί διασπορά και να διαλυθεί σε νερό ή υδατικούς διαλύτες. Αν η εξωτερική φάση είναι έλαιο, μπορεί να υποστεί διασπορά ή να διαλυθεί σε ελαιώδη υλικά. Η ικανότητα διασποράς χρησιμεύει στον καθορισμό του τύπου του γαλακτώματος. Ο πιο συνηθισμένος τύπος γαλακτώματος που συναντάται στα τρόφιμα είναι ο τύπος λάδι - σε - νερό (Lissant, 1974).

2.4.1.3.Ιξώδες

Το ιξώδες ενός γαλακτώματος εξαρτάται γενικά από το ιξώδες της εξωτερικής φάσης, από την αναλογία της εξωτερικής στην εσωτερική φάση και, σε μικρότερο βαθμό, από το μέγεθος των διασπαρμένων σταγονιδίων. Επίσης εξαρτάται από τον τύπο και τη συγκέντρωση του γαλακτωματοποιητή.

Το ιξώδες ενός γαλακτώματος είναι συνήθως όμοιο με αυτό της εξωτερικής φάσης, όταν η φάση αυτή αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του προϊόντος. Σε περίπτωση αύξησης της συγκέντρωσης της εσωτερικής φάσης παρατηρείται αύξηση του ιξώδους του προϊόντος. Επίσης έχουμε σημαντική αύξηση του φαινομενικού ιξώδους όταν ο όγκος της εσωτερικής φάσης είναι μεγαλύτερος από αυτόν της εξωτερικής φάσης. Το φαινόμενο αυτό προκαλείται από τη συγκέντρωση μεγάλου αριθμού σωματιδίων στο γαλάκτωμα. Θεωρητικά η εσωτερική φάση μπορεί να καταλάβει μόνο το 74% του συνολικού όγκου του γαλακτώματος αν τα σωματίδια έχουν όμοιο σφαιρικό σχήμα. Όταν η αναλογία της εσωτερικής φάσης είναι εξαιρετικά υψηλή τα σωματίδια της φάσης αυτής παραμορφώνονται, με αποτέλεσμα το μέγεθος και η φόρτιση των σωματιδίων να έχουν μεγαλύτερη επίδραση στο ιξώδες του γαλακτώματος (Lissant, 1974).

Πηκτικές ουσίες ή παράγοντες που αυξάνουν το ιξώδες προστίθενται συνήθως σε γαλακτώματα με υψηλή αναλογία εξωτερικής φάσης ώστε να αυξηθεί το φαινομενικό τους ιξώδες. Επίσης μικρή αύξηση του ιξώδους μπορεί να επιτευχθεί με τη μείωση του μεγέθους των σωματιδίων (Lissant, 1974).

2.4.1.4.Μέγεθος σωματιδίων

Σαν μέγεθος των σωματιδίων ενός γαλακτώματος ορίζεται η διάμετρος των σφαιριδίων της εσωτερικής φάσης. Αν το μέγεθος τους δεν είναι όμοιο, τότε το σύνολο των τιμών του μεγέθους χρησιμοποιείται για να δηλώσει το μέγεθος των σωματιδίων του γαλακτώματος. Τα γαλακτώματα που περιέχουν σωματίδια με μικρή διάμετρο ονομάζονται λεπτά (fine) γαλακτώματα, ενώ αυτά που περιέχουν σφαιρίδια μεγάλης διαμέτρου ονομάζονται αδρά (coarse) γαλακτώματα (Lissant, 1974).

Το μέγεθος των σωματιδίων εξαρτάται από τον τύπο και την ποσότητα του γαλακτωματοποιητή, από τις συνθήκες προετοιμασίας του γαλακτώματος και από τη σειρά με την οποία προστέθηκαν τα συστατικά. Τα περισσότερα εμπορικά διαθέσιμα γαλακτώματα έχουν μέγεθος σωματιδίων από 0,5 έως 2,5 μm και αναφέρονται ως

μακρογαλακτώματα. Όμοιο μέγεθος σωματιδίων αποτελεί ένδειξη καλής σταθερότητας (Lissant, 1974).

Οπτικά εξεταζόμενα τα γαλακτώματα εμφανίζονται, ανάλογα με το μέγεθος των διασπαρμένων σταγόνων, γαλακτώδη - λευκά - θολά (όταν οι σταγόνες είναι μεγάλες) ή κυανίζοντα - λευκά - γκρι - ημιδιαφανή (όταν οι σταγόνες είναι κολλοειδών διαστάσεων) ή διαφανή (μικρογαλακτώματα) (Παναγιώτου, 1998).

2.4.1.5.Φόρτιση σωματιδίων

Στη διεσπαρμένη φάση όλων των γαλακτωμάτων παρατηρείται φόρτιση των σωματιδίων η οποία μπορεί να προσδιοριστεί με ηλεκτροφόρηση. Η φόρτιση αυτή είναι πιθανό να προκληθεί από το διαχωρισμό του ενός από τα συστατικά (π.χ. σαπούνι), ενώ στην περίπτωση των μη ιονικών γαλακτωμάτων από τις ηλεκτρικές τριβές. Στα ιονικά συστήματα η φόρτιση είναι πολύ μεγαλύτερη από απ' ό,τι στα μη ιονικά.

Στην περίπτωση των γαλακτωμάτων με σωματίδια μικρού μεγέθους, η φόρτιση των σωματιδίων δεν έχει ιδιαίτερη επίδραση στη διατήρηση της σταθερότητας. Τέλος, στα γαλακτώματα υψηλού ιξώδους, η φόρτιση των σωματιδίων επιδρά σε μικρότερο βαθμό στη διατήρηση της σταθερότητας απ' ό,τι σε αυτά με χαμηλότερο ιξώδες (Lissant, 1974).

2.4.1.6.Αγωγιμότητα

Η αγωγιμότητα ενός γαλακτώματος εξαρτάται από την αγωγιμότητα της εξωτερικής φάσης. Σ' αυτό συνηγορεί και το γεγονός ότι ένα γαλάκτωμα λαδιού - σε - νερό είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, ενώ ένα γαλάκτωμα νερού - σε - λάδι είναι κακός αγωγός. Για το λόγο αυτό, ένα τεστ αγωγιμότητας αποτελεί ένα εξαιρετικό μέσο για τον προσδιορισμό του τύπου του γαλακτώματος (Lissant, 1974).

2.4.1.7.pH

Τα τελευταία χρόνια δόθηκε μεγαλύτερη έμφαση στη σημασία που έχει το pH για τα γαλακτώματα. Κατά την παρασκευή ενός γαλακτώματος το pH του ρυθμίζεται σε μια συγκεκριμένη τιμή, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η ρύθμιση του pH μπορεί να γίνει με τη χρήση ρυθμιστικού διαλύματος. (Lissant, 1974).

2.4.1.8. Συντήρηση - Διατήρηση

Τα γαλακτώματα μπορεί να προσβληθούν από μικροοργανισμούς κατά την προετοιμασία και τη χρήση τους. Στα προϊόντα του εμπορίου δεν παρατηρείται μεγάλη ανάπτυξη μικροοργανισμών γιατί αυτά περιέχουν βακτηριοστατικούς παράγοντες. Ωστόσο, η χρήση ενός συντηρητικού είναι απαραίτητη σε όλα τα γαλακτώματα. Ορισμένα από τα συντηρητικά που χρησιμοποιούνται στα τρόφιμα είναι σορβικό οξύ, βενζοϊκό οξύ και προπιονικός εστέρας νατρίου και ασβεστίου (Lissant, 1974).

2.4.1.9. Σταθερότητα των γαλακτωμάτων

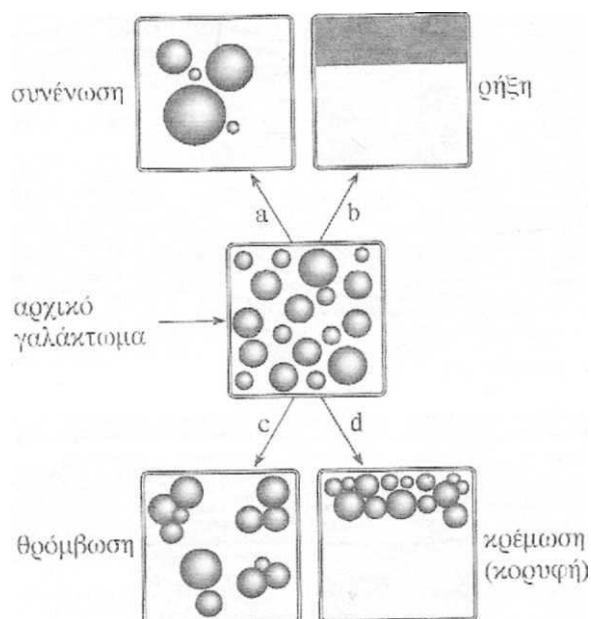
Τα γαλακτώματα είναι θερμοδυναμικά ασταθή, οπότε καταστρέφονται με αργό ρυθμό. Πριν λάβει χώρα η καταστροφή ενός γαλακτώματος συμβαίνουν διάφορες μεταβολές, γι' αυτό και είναι απαραίτητο να γίνει διάκριση μεταξύ των όρων οι οποίοι σχετίζονται με τη σταθερότητα των γαλακτωμάτων. Οι όροι αυτοί είναι: Η ρήξη (breaking), η συνένωση (coalescence), η κρέμωση (creaming) και η θρόμβωση (flocculation) του γαλακτώματος (Σχήμα 3). Αν και, συχνά οι όροι αυτοί χρησιμοποιούνται σχεδόν ισοδύναμα, εντούτοις ο καθένας τους αντιστοιχεί σε σαφώς διακριτά φαινόμενα.

Ρήξη ενός γαλακτώματος είναι ο σαφής διαχωρισμός του σε δύο ογκώδεις φάσεις (Παναγιώτου, 1998).

Συνένωση είναι η μη αντιστρεπτή διαδικασία κατά την οποία καταστρέφεται το διεπιφανειακό υμένιο του γαλακτωματοποιητή γύρω από τα σταγονίδια και αυτά ενώνονται προς μεγαλύτερα με αποτέλεσμα τον πλήρη διαχωρισμό των δύο φάσεων (Bergenstahl, 1990).

Η θρόμβωση αναφέρεται στη σύμφυση ή συγκόλληση σταγόνων, η οποία οδηγεί στο σχηματισμό ενός τρισδιάστατου συσσωματώματος. Κατά τη θρόμβωση οι αρχικές σταγόνες διατηρούν την ταυτότητα τους. Συνέπεια αυτού είναι ότι σε πολλές περιπτώσεις η θρόμβωση είναι μία αντιστρεπτή διεργασία (Sherman, 1968).

Η κρέμωση σχετίζεται με τη θρόμβωση κατά το ότι οι αρχικές σταγόνες διατηρούν την ταυτότητα τους. Η κρέμωση παρατηρείται με το χρόνο σε όλα σχεδόν τα γαλακτώματα, στα οποία υπάρχει μία διαφορά πυκνοτήτων στις δύο φάσεις. Το ιξώδες του μέσου διασποράς παίζει σημαντικό ρόλο στο ρυθμό κρέμωσης των γαλακτωμάτων. Όπως και η θρόμβωση, η κρέμωση είναι συχνά μία αντιστρεπτή διεργασία, δηλαδή, το σύστημα μπορεί να επαναγαλακτωματοποιηθεί με τη χρήση ελάχιστης ενέργειας (Παναγιώτου, 1998).



Σχήμα 3: Οι τέσσερις δρόμοι καταστροφής ενός γαλακτώματος (Παναγιώτου, 1998)

Η σταθερότητα των κολλοειδών συστημάτων περιγράφεται από την θεωρία των DLVO (Derjaguin, 1941, Verwey, 1948) ως το αποτέλεσμα συσχέτισης ελκτικών δυνάμεων van der Waals και ηλεκτροστατικών απωστικών δυνάμεων. Οι δεύτερες οφείλονται στην διπλοστοιβάδα φορτίων (διπλοστοιβάδα Helmholtz - Smolufki), η οποία αποτελείται από την φορτισμένη επιφάνεια των σταγονιδίων και τα ιόντα του γαλακτωματοποιητή που έχουν αντίθετο φορτίο και περιβάλλουν την σταγόνα (Bergenstahl, 1990). Μάλιστα το γαλακτώμα θα παραμένει σταθερό, όσο οι απωστικές δυνάμεις μεταξύ των σταγονιδίων είναι μεγαλύτερες από τις ελκτικές.

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την σταθερότητα των γαλακτωμάτων, όπως είναι (Becher, 1965): Η διεπιφανειακή τάση ανάμεσα στις δύο φάσεις, Τα χαρακτηριστικά του προσροφημένου υμενίου στην διεπιφάνεια, Η τάξη μεγέθους του ηλεκτρικού φορτίου στα σταγονίδια, Το μέγεθος και ο λόγος επιφάνειας / όγκου (ειδική επιφάνεια) των σταγονιδίων, Ο λόγος βάρους / όγκου της διεσπαρμένης και διασπείρουσας φάσης και Το ιζώδες της διασπείρουσας (εξωτερικής) φάσης

Αρχικά επικρατεί μία περίοδος ταχείας συνένωσης η οποία αποδίδεται στην μεγάλη συνολική επιφάνεια των σταγονιδίων και την ανεπαρκή προσρόφηση του γαλακτωματοποιητή για την δημιουργία ενός σταθερού υμενίου. Έπειτα ακολουθεί μία περίοδος αργής συνένωσης (Sherman, 1968).

2.5.Γαλακτωματοποιητές

Η σταθερότητα των γαλακτωμάτων μπορεί να ενισχυθεί με τη χρήση κατάλληλων προσθέτων. Τα πρόσθετα αυτά είναι γνωστά ως γαλακτωματοποιητές. Οι γαλακτωματοποιητές είναι επιφανειοδραστικά μόρια, τα οποία προσροφούνται στην διεπιφάνεια των σταγόνων κατά τη διάρκεια της ομογενοποίησης, σχηματίζοντας ένα προστατευτικό υμένιο το οποίο εμποδίζει την συνένωση των σταγόνων κατά την σύγκρουση τους. Το υμένιο αυτό λειτουργεί ως εξής (Dagleish, 1994):

1. Μειώνει τη διεπιφανειακή τάση ανάμεσα στα δύο υγρά και κατά συνέπεια τη θερμοδυναμική αστάθεια του συστήματος, που οφείλεται στην αύξηση του εμβαδού της διεπιφάνειας ανάμεσα στις δύο φάσεις.
2. Ελαττώνει την ταχύτητα συνένωσης των υγρών διασπαρμένων σταγονιδίων σχηματίζοντας διαφράγματα στερεοχημικά ή και ηλεκτρικά γύρω από αυτά

Το κύριο χαρακτηριστικό του μορίου των γαλακτωματοποιητών, στο οποίο οφείλεται και η γαλακτωματοποιητική τους ικανότητα, είναι η αμφιφιλική δομή τους. Υπάρχει δηλαδή τμήμα ή τμήματα του μορίου με υδρόφιλο χαρακτήρα και άλλο ή άλλα με λιπόφιλο. Αυτή τη συνθήκη την πληρούν και οι πρωτεΐνες, γι' αυτό μπορούν να δράσουν ως γαλακτωματοποιητές (Κυρανάς, 2000).

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των γαλακτωματοποιητών είναι η ικανότητα του μορίου τους να εμφανίζει κάποιο ισοζύγιο υδρόφιλου και λιπόφιλου χαρακτήρα. Με κανένα τρόπο δεν πρέπει η χημική συγγένεια του μορίου, για παράδειγμα προς το νερό να επικαλύπτει τη χημική συγγένεια του προς το λίπος. Έτσι, είναι δυνατή η μετανάστευση της στη διεπιφάνεια και η ταυτόχρονη σύνδεση της με τις φάσεις του νερού και του λαδιού (Κυρανάς, 2000).

Οι γαλακτωματοποιητές παρασκευάζονται είτε από βιολογικά υλικά (π.χ. γάλα, κρέας, αυγό) ή συντίθεται από λιπαρά οξέα και παράγωγα τους. Οι κυριότερες κατηγορίες γαλακτωματοποιητών είναι (Μπόσκου, 1986):

1) Φωσφολιπίδια: Πλούσια σε φωσφολιπίδια είναι η λεκιθίνη της σόγιας και ο κρόκος του αυγού. Η ακατέργαστη λεκιθίνη μπορεί να κλασματωθεί με διάφορους διαλύτες, κυρίως αλκοόλες, σε διάφορα κλάσματα με διαφορετική περιεκτικότητα σε φωσφατιδυλο-αιθυνολαμίνη, φωσφατιδυλο-χολίνη και φωσφατιδυλο-ινοσιτόλη. Τα κλάσματα αυτά έχουν διαφορετικό λόγο της % περιεκτικότητας σε υδρόφιλες και υδρόφοβες (λιπαρές) ομάδες (HLB, Hydrophilic - Lipophilic Balance) και συνεπώς διαφορετική γαλακτωματοποιητική ικανότητα. Έτσι, το διαλυτό σε αλκοόλη κλάσμα (κυρίως φωσφατιδυλο-αιθυνολαμίνη και φωσφατιδυλο-χολίνη) σταθεροποιεί κυρίως

γαλακτώματα ελαίου σε νερό, ενώ το αδιάλυτο (κυρίως φωσφατιδυλο-ινοσιτόλη) ενισχύει γαλακτώματα νερού σε λάδι.

2) Εστέρες γλυκερόλης: Χρησιμοποιούνται μόνο - και δι - εστέρες της γλυκερόλης με λιπαρά οξέα ή μονογλυκερίδια εστεροποιημένα με γαλακτικό οξύ. Τα μόνο-και διγλυκερίδια παρασκευάζονται εύκολα με μερική υδρόλυση των λιπών και ελαίων ή εστεροποίηση της γλυκερόλης με λιπαρά οξέα. Ο υδρόφιλος χαρακτήρας των μονογλυκεριδίων αυξάνεται περαιτέρω με την εισαγωγή στο μόριο υδροξυοξέων, όπως το γαλακτικό ή τρυγικό. Η παρασκευή τέτοιων μικτών εστέρων μπορεί να γίνει με απευθείας αντίδραση στους 180 °C σε αδρανή ατμόσφαιρα γλυκερόλης, λιπαρών οξέων και γαλακτικού οξέος. Στο εμπόριο πολύ γνωστός είναι ο μονοστεατικός εστέρας της γλυκερόλης (GMS).

3) Το νάτριο άλας του στεατικού εστέρα του διγαλακτικού οξέος: Είναι ένας υδρόφιλος γαλακτωματοποιητής που δημιουργεί σταθερά γαλακτώματα νερού - λαδιού.

4) Πρωτεΐνες: Η γαλακτωματοποιητική τους ικανότητα οφείλεται στη σύσταση και αλληλουχία των αμινοξέων, καθώς και στη δευτεροταγή, τριτοταγή και τεταρτοταγή δομή.

5) Εστέρες της προπυλενογλυκόλης: Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο στεατικός (PGMS).

6) Εστέρες της 1,5 ή 1,4 σορβιτάνης (ανυδρικού παραγώγου της σορβιτόλης): Παρασκευάζεται με θέρμανση σορβιτόλης και λιπαρών οξέων παρουσία καταλύτη.

2.6.Σταθεροποιητές

Ένα γαλάκτωμα μπορεί να σταθεροποιηθεί με την αύξηση του ιξώδους της συνεχούς φάσης. Τα κόμματα και οι πηκτίνες δεν είναι επιφανειοδραστικά μόρια, ωστόσο με την χρήση τους επιτυγχάνεται η σταθεροποίηση γαλακτωμάτων λαδιού σε νερό, γεγονός που οφείλεται στην επίδραση τους στο ιξώδες της υδατικής φάσης. Επιπλέον, οι σταθεροποιητές έλκουν τα μόρια του νερού μειώνοντας έτσι τη δράση τους στην υδατική φάση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της διεπιφανειακής τάσης και, κατά συνέπεια, την αύξηση της σταθερότητας του γαλακτώματος (www.agsci.ubc.ca, 2007).

Στα τρόφιμα, οι πολυσακχαρίτες (κυρίως οι ανιονικοί) περιλαμβάνουν κάποια είδη γνωστά για τις σταθεροποιητικές ικανότητες που μπορούν να συγκρατούν πλέγματα με μορφή πηκτής (ξανθάνη, καραγενάνη, αλγινικά, καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη, πηκτίνη) (Cao et al, 1990; Dickinson, 1996; Dickinson and Galazka, 1991; Samant et al., 1993). Άλλοι πολυσακχαρίτες (αραβικό κόμμι, κόμμι

γκουάρ, κόμμι χαρουπιού, κόμμι φενουγκρίκ) είναι γνωστοί για τη σταθεροποίηση γαλακτωμάτων με αλληλεπιδράσεις προσρόφησης (Benichou., 2002; Dickinson, 1991).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι σταθεροποιητές που χρησιμοποιήθηκαν στο πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας.

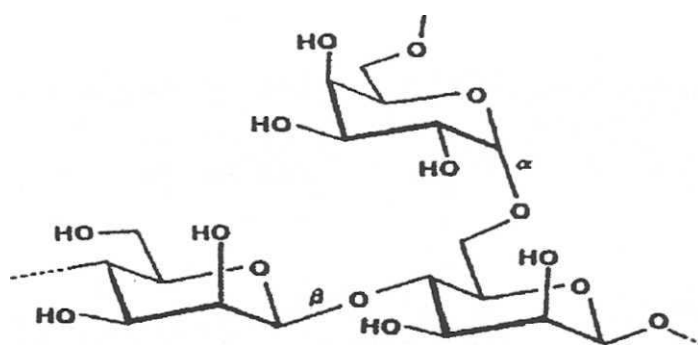
2.6.1.Κόμμι Γκουάρ (Guar gum)

2.6.1.1.Προέλευση

Το κόμμι γκουάρ (guar gum) λαμβάνεται από το ενδοσπέρμιο του οσπριοειδούς σπόρου του θάμνου *Cyamopsis tetragonolobous*. Ο θάμνος αυτός είναι ένα ετήσιο φυτό, το οποίο καλλιεργείται για χορτονομή στην Ινδία, το Πακιστάν και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Εκτός από τον πολυσακχαρίτη, το κόμμι γκουάρ περιέχει ΙΟΙ 5% υγρασία, 5-6% πρωτεΐνη, 2,5% ακατέργαστες ίνες και 0,5-0,9% τέφρα.

2.6.1.2.Δομή και ιδιότητες

Το κόμμι γκουάρ είναι μια γαλακτομαννάνη, που αποτελείται από μια αλυσίδα β-D-μαννοπυρανοζυλικών μονάδων που ενώνονται με 1—>4 δεσμούς. Κάθε δευτερο μόριο έχει μία πλευρική αλυσίδα, ένα D-γαλακτοπυρανοζυλικό μόριο που συνδέεται στην κύρια αλυσίδα με ένα (1—>6) δεσμό (Σχήμα 4).



Σχήμα 4: Δομική μονάδα κόμμιος γκουάρ (www.lsbu.ac.uk, 2007)

Το κόμμι γκουάρ ενυδατώνεται σχετικά γρήγορα σε κρύο νερό δίνοντας παχύρρευστα ψευδοπλαστικά διαλύματα, που έχουν μεγαλύτερη συνεκτικότητα από άλλα υδροκολλοειδή σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης. Σε υψηλές συγκεντρώσεις (περίπου 1%), τα διαλύματα του κόμμιος γκουάρ εκδηλώνουν θιξοτροπία. Σε

σύγκριση με το κόμμι χαρουπιού, είναι περισσότερο διαλυτό και έχει καλύτερες γαλακτωματοποιητικές ιδιότητες, επειδή περιέχει περισσότερα σημεία διακλαδώσεων γαλακτόζης από αυτό. Δεν σχηματίζει πηκτές και παρουσιάζει μεγάλη σταθερότητα στον «κύκλο» κατάψυξη-απόψυξη. Καθώς είναι μη ιονικό, δεν επηρεάζεται από την ιονική ισχύ ή το pH, αλλά αποσυντίθεται όταν θερμαίνεται σε ακραία pH. Παρουσιάζει συνεργεία ιξώδους μαζί με την ξανθάνη.

2.6.1.3.Χρήση

Το κόμμι γκουάρ χρησιμοποιείται ως πυκνωτικό μέσο και ως σταθεροποιητής στις αλοιφές σαλάτας και τα παγωτά. Εκτός από τη βιομηχανία τροφίμων, χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία χαρτιού, καλλυντικών και φαρμάκων.

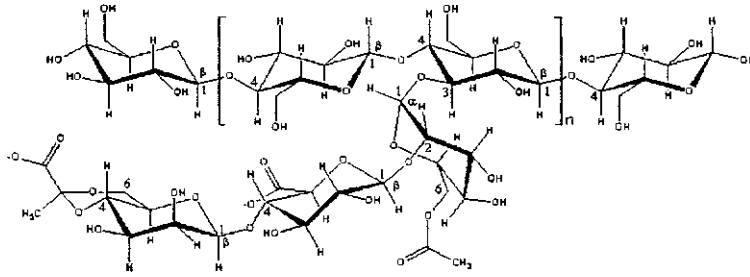
2.6.2.Ξανθάνη

2.6.2.1.Προέλευση

Η ξανθάνη είναι ένα μικροβιακό ξηρό και ανθεκτικό πολυμερές. Η εμπορική παραγωγή του πραγματοποιείται με το μικροοργανισμό *Xanthomonas campestris* σε θρεπτικό μέσο που περιέχει γλυκόζη, NH_4Cl , μίγμα αμινοξέων και ανόργανα. Ο πολυσακχαρίτης ανακτάται από το μέσο με κατακρήμνιση με ισοπροπανόλη παρουσία KCl .

2.6.2.2 .Δομή και ιδιότητες

Αποτελεί έναν ανιονικό πολυηλεκτρολύτη που μπορεί να θεωρηθεί παράγωγο της κυτταρίνης, καθώς η κύρια αλυσίδα της αποτελείται από 1,4 συνδεδεμένα μόρια β-γλυκοπυρανόζης. Κατά μέσο όρο, κάθε δεύτερο μόριο φέρει πλευρικές αλυσίδες με τη δομή 3,1-α-μαννοπυρανόζη-2,1-β-γλυκουρονικό οξύ-4,1-β-μαννοπυρανόζη. Λιγότερα από μισά (-40%) των τελικών υπολειμμάτων της μαννόζης φέρουν πυροσταφυλικές ομάδες στις 4,6 θέσεις και η εσωτερική μαννόζη είναι περισσότερο 6-ακετυλιωμένη. Μερικές πλευρικές αλυσίδες μπορεί να λείπουν (Σχήμα 5) (www.lsbu.ac.uk, 2007).



Σχήμα 5: Δομική μονάδα Ξανθάνης

Το μοριακό βάρος της Ξανθάνης είναι υψηλό (>10⁶Da) και, παρά το γεγονός αυτό, είναι αρκετά διαλυτή στο νερό. Το υψηλού ιξώδους διάλυμα που σχηματίζει παρουσιάζει ψευδοπλαστική συμπεριφορά. Το ιξώδες είναι σε μεγάλη έκταση, ανεξάρτητο από τη θερμοκρασία. Διαλύματα, γαλακτώματα και πηκτές παρουσία Ξανθάνης αποκτούν υψηλή σταθερότητα κατάψυξης/απόψυξης. Η Ξανθάνη σχηματίζει θερμοαντιστρεπτές πηκτές, όταν αναμιγνύεται με γαλακτομαννάνη, όπως το κόμμι γκουάρ. Αυτή η μείξη έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ιξώδους. Η κύρια εφαρμογή της Ξανθάνης έγκειται στο γεγονός ότι, όταν διαλυθεί σε νερό κρύο ή ζεστό, το διάλυμα που προκύπτει είναι θιξοτροπικό.

2.6.2.3.Χρήση

Η Ξανθάνη χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία τροφίμων. Η Ξανθάνη προστίθεται για να σταθεροποιήσει γαλακτώματα, αφρούς και διάφορα αιωρήματα. Η θιξοτροπία της έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη ενός αριθμού ξηρών μειγμάτων όπου μπορούν να θερμανθούν ή να αποψυχθούν χωρίς να χάσουν τη χαρακτηριστική επιθυμητή τους υφή.

Η Ξανθάνη βελτιώνει την παραγωγή και την αποθήκευση ζύμης καθώς και μειγμάτων που περιέχουν αλεύρι, γάλα και αυγό. Η Ξανθάνη μπορεί να αντικαταστήσει τη γλουτένη για την παρασκευή ψωμιού χωρίς γλουτένη. Σ' αυτή τη περίπτωση η Ξανθάνη βοηθά στη βελτίωση της ελαστικότητας καθώς και στη συγκράτηση του αέρα κατά το φούσκωμα της ζύμης (Katzbauer, 1997)

2.7.Μαγιονέζα

Με τον όρο «μαγιονέζα» εννοούμε το προϊόν με μορφή ομοιογενούς πολτού, το οποίο παρασκευάζεται από βρώσιμο λάδι, κρόκο αυγού, μαγειρικό αλάτι, καρυκεύματα, λεμόνι ή κιτρικό οξύ ενίοτε, καθώς επίσης ζάχαρη και ξύδι.

Όλες οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή της πρέπει να πληρούν τους όρους που συμπεριλαμβάνονται στον Κώδικα Τροφίμων και Ποτών. Το χρώμα της μαγιονέζας θα πρέπει να προκύπτει από τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή της και όχι από την χρήση οποιασδήποτε χρωστικής ουσίας. Τα οργανοληπτικά της χαρακτηριστικά οφείλουν να είναι άμεμπτα και χωρίς ενδείξεις χρησιμοποίησης μειονεκτικών πρώτων υλών ή ατελούς επεξεργασίας. Επιπλέον η προσθήκη γαλακτωματοποιητών - σταθεροποιητών, και πηκτικών μέσων για την παρασκευή της μαγιονέζας επιτρέπεται σε μέγιστο ποσοστό 1% επί του έτοιμου προϊόντος είτε οι ουσίες αυτές χρησιμοποιηθούν μόνες τους είτε μίγμα αυτών, ενώ η χρήση συντηρητικών και αντιοξειδωτικών ουσιών δεν θα πρέπει να ξεπερνά το ποσοστό του 1% επί του έτοιμου προϊόντος. Τέλος η περιεκτικότητα της μαγιονέζας σε λάδι είναι επιθυμητό να μην είναι μικρότερη του 60%. Το λάδι που χρησιμοποιείται για την παρασκευή της θα πρέπει να είναι αυτούσιο και το είδος του να δηλώνεται ξεκάθαρα στον καταναλωτή στην περίπτωση που δεν εμφανίζεται κάπου η προέλευση του χρησιμοποιούμενου ελαίου, θεωρείται ότι το τελευταίο είναι ελαιόλαδο (Κώδικας Τροφίμων και Ποτών, 2010).

Όσον αφορά τις φυσικοχημικές ιδιότητες, η μαγιονέζα είναι ένα γαλάκτωμα λαδιού - σε - νερό, έχοντας το λάδι ως διασπαρμένη φάση και το νερό ως συνεχή φάση. Γαλακτωματοποιητές και σταθεροποιητές που χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα στη μαγιονέζα, παίζουν σημαντικό ρόλο στη σταθεροποίηση του συστήματος.

Η μαγιονέζα είναι ένα μη-νευτώνειο, ψευδοπλαστικό ρευστό που εμφανίζει φαινόμενα θιξοτροπίας (thixotropy) και τάσης διαρροής (yield stress), παρουσιάζει επίσης ιξωδοελαστικές ιδιότητες. Η γνώση των ρεολογικών ιδιοτήτων της μαγιονέζας είναι απαραίτητη για τον έλεγχο της ποιότητας της κατά την επεξεργασία, την αποθήκευση και την μεταφορά της. Οι ιδιότητες αυτές επηρεάζουν επίσης τα οργανοληπτικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Οι ρεολογικές ιδιότητες της μαγιονέζας καθορίζονται κυρίως από την περιεκτικότητα της σε λάδι και την παρουσία σταθεροποιητών, γαλακτωματοποιητών και πηκτικών μέσων (Juszczak, 2003).

2.7.1.Αναπληρώματα μαγιονέζας

2.7.1.1.Αναπληρώματα μαγιονέζας με χαμηλά λιπαρά

Οι μαγιονέζες που κυκλοφορούν στην αγορά συνήθως περιέχουν 70-80% λάδι. Στην γενική προσπάθεια να παρασκευαστούν προϊόντα με λίγες θερμίδες

αναπτύχθηκαν νέα προϊόντα, υπό την ονομασία των αναπληρωμάτων μαγιονέζας με χαμηλά λιπαρά (light και low fat mayonnaise products). Για να επιτευχθεί η μείωση των λιπαρών και το προϊόν να παρουσιάζει παρόμοια υφή με αυτή της κανονικής μαγιονέζας προσθέτονται στη σύνθεση μακρομοριακές ενώσεις, ώστε να συγκρατήσουν το νερό. Έχει χρησιμοποιηθεί πληθώρα υδροκολλοειδών όπως πηκτίνη (Pedersen, 1995), άμυλο ρυζιού (Batal, 1992), μικροκρυσταλλική κυτταρίνη και πολυδεξτρόζη (Meiners, 1995), αλγινικά, καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη, άμυλο και τροποποιημένο άμυλο (Jonson, 1977), άμυλο πατάτας (Nahla, 2011) κ.ά.

2.7.1.2.Αναπληρώματα μαγιονέζας χωρίς κρόκο αυγού

Επειδή πολλοί καταναλωτές αποφεύγουν τη μαγιονέζα λόγω του κρόκου αυγού που περιέχει, για διάφορους διατροφικούς λόγους (υπερχοληστεριναιμία, φυτοφαγία, νηστεία), έχουν αναπτυχθεί και κατοχυρωθεί με διπλώματα ευρεσιτεχνίας αναπληρώματα μαγιονέζας χωρίς κρόκο αυγού. Για το σκοπό αυτό έχουν προστεθεί ουσίες με γαλακτωματοποιητικές ιδιότητες, όπως πρωτεΐνη σόγιας (Kanda, 1981), πρωτεΐνες σόγιας και ορού γάλακτος (Bodor, 2009), ασπράδι αυγού, γαλακτωματοποιητές και κόμμεα (Dartey, 1990) κ.ά.

2.7.2.Μέθοδοι ρεολογικών ιδιοτήτων της μαγιονέζας

Για τη μέτρηση των ρεολογικών ιδιοτήτων της μαγιονέζας, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες τεχνικές:

- Ιξωδομετρία λιπαινόμενης συμπιεστής ροής

Το δείγμα συμπιέζεται μεταξύ δύο παράλληλων πλακών ή μεταξύ μιας πλάκας και ενός αβαθούς περιέκτη, τα οποία έχουν λιπανθεί για την εξάλειψη των τριβών. Από τη μέτρηση της δύναμης προκύπτει ο συντελεστής ανάπτυξης τάσης ή εκτατό ιξώδες. Η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση της μαγιονέζας από τους Hoffner et al. (1997).

- Ρεόμετρο αναδευτήρα

Ο αναδευτήρας αποτελείται από τέσσερις ή περισσότερες λεπίδες, οι οποίες δια-σταυρώνονται στο τέλος ενός κεντρικού άξονα και μπορεί να εισέλθει στο δείγμα με ελάχιστη ανατάραξη της μικροδομής. Ο αναδευτήρας αρχικά χρησιμοποιήθηκε για

τον προσδιορισμό της τάσης διαρροής. Το ρευστό που περιβάλλει τον αναδευτήρα κινείται σαν στερεό κυλινδρικό σώμα ελαχιστοποιώντας αποτελεσματικά την ολίσθηση. Ο αναδευτήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλο άνοιγμα ανάμεσα στα άκρα των λεπίδων και το εξωτερικό τοίχωμα. Επιπλέον, μπορεί να εισέλθει απευθείας στο πραγματικό δοχείο του προϊόντος για να πραγματοποιηθούν μετρήσεις χωρίς ανατάραξη της μικροδομής του υλικού (Stokes, 2004).

Στη μέθοδο αυτή που εφαρμόστηκε για τη μέτρηση της μαγιονέζας χρησιμοποιήθηκε ρεόμετρο Paar Physica UDS 200. Η διάμετρος του αναδευτήρα είναι 12,5 mm και το ύψος 25 mm. Χρησιμοποιήθηκε σε σύνδεση με οδοντωτό κυλινδρικό δοχείο με διάμετρο 27,12mm. Ο αναδευτήρας βυθίζεται στο δείγμα έτσι ώστε η επιφάνεια του ρευστού να είναι 12,5mm πάνω από την κορυφή του αναδευτήρα και η απόσταση του κάτω μέρους του αναδευτήρα να έχει περισσότερο από 6,25 mm από το κάτω μέρος του δοχείου (Stokes, 2004).

- Ιξωδόμετρο ομοαξονικών κυλίνδρων

Το ιξωδόμετρο ομοαξονικών κυλίνδρων είναι πολύ κοινό και λειτουργεί σε μέτριους ρυθμούς διάτμησης. Οι συνθήκες λειτουργίας του είναι : ροή στρωτή και σταθερή, το υπό δοκιμή ρευστό είναι ασυμπίεστο, οι ιδιότητες δεν επηρεάζονται από την πίεση, η θερμοκρασία είναι σταθερή, δεν υπάρχει ολίσθηση στα τοιχώματα του οργάνου, η αξονική και η ακτινική ταχύτητα είναι μηδέν. Στον τύπο Searle, ο εσωτερικός κύλινδρος περιστρέφεται και το δοχείο είναι σταθερό, ενώ στον τύπο Couette, το δοχείο περιστρέφεται και ο εσωτερικός κύλινδρος είναι σταθερός (Steffe, 1996).

Για τη μέτρηση του ιξώδους της μαγιονέζας, χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα ομοαξονικών κυλίνδρων (διάμετροι κυλίνδρων: ο εσωτερικός κύλινδρος που ανεβοκατεβαίνει έχει $d = 25$ mm και το δοχείο είναι σταθερό με $d = 27,12$ mm). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκρασία $25 \pm 0,2$ °C . Η τάση διαρροής υπολογίστηκε σχεδιάζοντας μια καμπύλη παραμόρφωσης – τάσης με την τάση να αυξάνεται λογαριθμικά από 1 σε 100 Pa στην διάρκεια 10 min. Αυτή η αναλυτική μέθοδος υπολογίζει την τάση διαρροής κάνοντας μια γραμμική και μια πολυωνυμική παλινδρόμηση 3^{ου} βαθμού στις περιοχές πάνω και κάτω από την καμπύλη. Η τιμή της τάσης στο σημείο που διασταυρώνονται οι 2 καμπύλες δηλώνει την τάση διαρροής. Οι καμπύλες ροής προσδιορίστηκαν σε ελεγχόμενο ρυθμό διάτμησης σε εύρος των 5-600 s⁻¹ κατά την διάρκεια 20 min. Οι καμπύλες περιγράφηκαν από το μοντέλο Herschel – Bulkley χρησιμοποιώντας τις τιμές των τάσεων διαρροής από το διάγραμμα παραμόρφωσης – τάσης για να υπολογιστεί το ιξώδες και ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς. Οι καμπύλες δείχνουν τη σχέση ανάμεσα στο φαινομενικό

ιξώδες και το χρόνο διάτμησης που υπολογίστηκε με σταθερό ρυθμό διάτμησης 150 s^{-1} κατά την διάρκεια 0-60 min. Τα πειραματικά δεδομένα περιγράφηκαν με την εξίσωση Weltman, στην οποία οι τιμές της διατμητικής τάσης αντικαταστάθηκαν από τις τιμές του φαινομενικού ιξώδους (Juszczak , 2003):

$$\eta_{\text{app}} = A - B \ln t$$

Όπου,

- η_{app} είναι το φαινομενικό ιξώδες (Pa.s)
- t είναι ο χρόνος (s)
- A , B είναι σταθερές

▪ Ρεόμετρο κώνου και πλάκας

Χρησιμοποιώντας ρεόμετρο κώνου και πλάκας η καμπύλη της διατμητικής τάσης με το ρυθμό διάτμησης μπορεί να εξασφαλιστεί αμέσως, καθιστώντας ευκολότερους τους υπολογισμούς. Το όργανο είναι μια συσκευή με μέτριο ρυθμό διάτμησης, ο οποίος είναι ακατάλληλος για ρευστά με μεγάλα σωματίδια, επειδή η γωνία του κώνου είναι μικρή, κατά προτίμηση λιγότερο από 0,09 rad. Σε λειτουργία της συσκευής, η κορυφή του κώνου σχεδόν αγγίζει την πλάκα και το υγρό καλύπτει πλήρως το διάκενο. Ο κώνος περιστρέφεται σε γνωστή γωνιακή ταχύτητα Ω και η ροπή που προκύπτει (M) μετριέται στην ακίνητη πλάκα ή μέσω του κώνου. Μερικά ρεόμετρα σχεδιάζονται με περιστρεφόμενη πλάκα και σταθερό κώνο (Steffe, 1996).

Η ροή σε ένα τέτοιο ρεόμετρο μπορεί να είναι πολύπλοκη απαιτώντας μια επίπονη λύση των θεμελιωδών εξισώσεων κίνησης (Peressini et al. 1998). Στην μέθοδο αυτή χρησιμοποιήθηκε κώνος με διάμετρο 40mm και η γωνία του κώνου ήταν 4° μοίρες. Το μέτρο ελαστικότητας G μετρήθηκε σε συχνότητες (ω) που κυμαίνονταν ανάμεσα σε 0,1 – 10 Hz σε παραμόρφωση 1%, η οποία βρισκόταν μέσα στη γραμμική ιξωδοελαστική περιοχή. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στους $25 \pm 0,2$ °C. Μετά το γέμισμα, τα δείγματα αφέθηκαν επί 5 min για χαλάρωση και εξισορρόπηση της θερμοκρασίας (Peressini, 1998).

▪ Ιξωδόμετρο Brookfield

Το ιξωδόμετρο Brookfield στηρίζεται στην αρχή μέτρησης του ιξώδους κατά την περιστροφική κίνηση της ατράκτου μέσα στη μάζα του υπό μελέτη ρευστού. Η ατράκτος αποτελείται από κατακόρυφο άξονα που στο κάτω μέρος του είναι

στερεωμένος δίσκος και το επάνω μέρος του είναι προσαρμοσμένο στο σύστημα μέτρησης της διαμητρικής τάσης που μετριέται σε αυθαίρετες τιμές που μπορούν να αναγνωσθούν ψηφιακά. Το όργανο είναι ρυθμισμένο να περιστρέφει την άτρακτο σε διαφορετικές καθορισμένες ταχύτητες περιστροφής με την βοήθεια συστήματος γραναζιών που εκτείνονται από 0,5 μέχρι 100 rpm. Για να μπορέσει το όργανο να καλύψει μεγάλη έκταση τιμών ιξώδους ρευστών, χρησιμοποιείται σειρά ατράκτων που έχουν διαφορετικής διαμέτρου δίσκους και φέρουν αριθμούς στον άξονά τους 1 έως 7. Για κάθε άτρακτο και για κάθε τιμή rpm που χρησιμοποιείται, το ιξώδες, μπορεί να υπολογισθεί από ένα πίνακα και από τον αριθμό που εμφανίζεται στην φωτεινή οθόνη του οργάνου (Ραφαηλίδης, 2005).

Το ιξωδόμετρο Brookfield RVT είναι σχεδιασμένο για τη μέτρηση του ιξώδους νευτώνειων ρευστών (www.brookfieldengineering.com) πχ μίγματα παγωτού (Icier, 2006). Ο Mitschka (1982) επέκτεινε τη χρήση του ιξωδομέτρου αυτού και στα ψευδοπλαστικά ρευστά. Αρκετοί ερευνητές χρησιμοποίησαν τη μέθοδο του Mitschka (παράγραφος 4.2.3): για τη ρεολογική αξιολόγηση του μελιού (Haminiuk , 2009), τη ρεολογική συμπεριφορά κάποιων παραδοσιακών σουπών της Τουρκίας (Ibanoglu, 1998), τις ρεολογικές ιδιότητες σε πολτό ρεβιθιών (Swami , 2004) κ.ά.

2.8.Χρωματομετρία

Όπως έχει αναφερθεί, το χρώμα είναι μια φυσική ιδιότητα των σωμάτων, η οποία γίνεται μεν κατανοητή με απόλυτη ακρίβεια από το ανθρώπινο μάτι, πλην όμως δεν είναι δυνατό να μετρηθεί.

Η ακρίβεια μεγέθους αντίληψης της ιδιότητας αυτής εξαρτάται όχι μόνο από την ακρίβεια διέγερσης των φωτοευαίσθητων κυττάρων του παρατηρητή, αλλά και από τον τρόπο φωτισμού και τις συνθήκες παρατήρησης. Έτσι ένας παρατηρητής με σωστή και ακριβή όραση θα αντιλαμβάνεται κατά το ίδιο ποσοστό τυχόν αύξηση ή μείωση της έντασης του φωτός και για τα R (Red), G (Green) και B (Blue) πράγμα το οποίο όμως είναι σχεδόν αδύνατο.

Το αποτέλεσμα συνεπώς εντοπίζεται εκτός των άλλων και στην ικανότητα του φωτός να διεγείρει τα φωτοευαίσθητα κύτταρα, ώστε να γεννηθούν οι σωστές διεγέρσεις R, G και B.

Χρωματομετρία (colorimetry) είναι η επιστήμη που ασχολείται με τον ποσοτικό προσδιορισμό και την φυσική περιγραφή της ανθρώπινης αντίληψης του χρώματος.

Η χρωματομετρία ως επιστήμη εμφανίστηκε το 1930 από την Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού CIE (*COMMISSION INTERNATIONALE DE L' ECLAIRAGE*) με την διεξαγωγή πειραμάτων οπτικής. Τα χρωματομετρικά συστήματα της CIE είναι

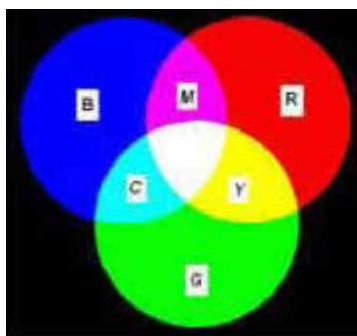
τα μόνα παγκοσμίως αποδεκτά για την μέτρηση του χρώματος με συνέπεια όλα τα διεθνή πρότυπα να είναι βασισμένα σε αυτά που ορίζονται από αυτή.

Το χρώμα εκφράζεται από την CIE με μαθηματικές τιμές οι οποίες προκύπτουν από μαθηματικές εξισώσεις. Η προσπάθεια να προσδιοριστεί επακριβώς το χρώμα ξεκίνησε στις αρχές του 19^{ου} αιώνα με την δημιουργία *χρωματικών μοντέλων*, χώρων δηλαδή που σε κάθε χρώμα αντιστοιχούν αριθμητικές συντεταγμένες. Τελικά, περίπου το 1930, η CIE εισαγάγει το χρωματικό μοντέλο RGB με βάση την αρχή των τριών διεγέρσεων του ανθρώπινου οφθαλμού στο κόκκινο (Red) στο πράσινο (Green) και στο μπλε (Blue).

2.8.1.Χρωματικά μοντέλα

2.8.1.1.Το χρωματικό μοντέλο RGB

Το χρωματικό μοντέλο RGB βασίζεται στα τρία βασικά χρώματα: Κόκκινο (R), Πράσινο (G) και Μπλε (B) και στο γεγονός πως προσθέτοντας στις κατάλληλες αναλογίες τα τρία αυτά χρώματα μπορούμε να πάρουμε οποιοδήποτε άλλο. Ειδικά συνδυάζοντάς τα ανά δύο παίρνουμε τα τρία δευτερεύοντα χρώματα, Κίτρινο (Y) (Κόκκινο και Πράσινο), Κυανό (C) (Πράσινο και Μπλε) και Ιώδες (M) (Μπλε και Κόκκινο) όπως φαίνεται και στο σχήμα 6:



Σχήμα 6: Μετατροπές των βασικών χρωμάτων κόκκινο, πράσινο και μπλε

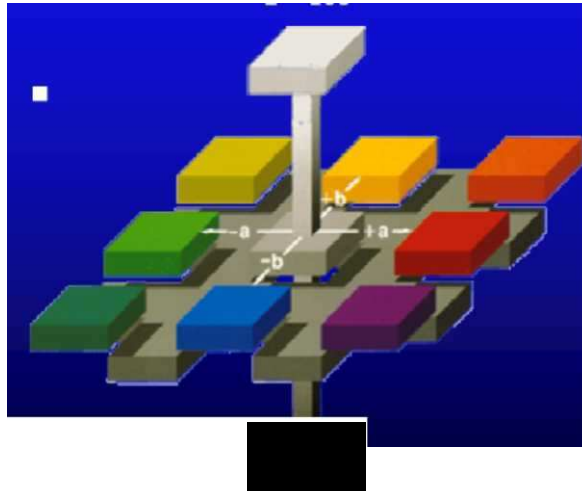
Η απόχρωση, η φωτεινότητα και ο κορεσμός ενός χρώματος στο χρωματικό μοντέλο RGB εξαρτώνται και στα τρία από τις τρεις συντεταγμένες. Αλλάζοντας οποιαδήποτε από αυτές αλλάζουν και τα τρία χαρακτηριστικά του χρώματος. Αυτό αποτελεί ένα σχετικό μειονέκτημα του μοντέλου ως προς την επεξεργασία απέναντι σε άλλα. Το RGB είναι όμως πιο κοντά από κάθε άλλο μοντέλο στο επίπεδο της φυσικής λειτουργίας των μέσων απεικόνισης όπως οι τηλεοράσεις και οι οθόνες των υπολογιστών. Ένα άλλο μειονέκτημα του μοντέλου είναι ότι είναι "device

dependent", εξαρτάται δηλαδή από τη συσκευή απεικόνισης με αποτέλεσμα ίδιες συντεταγμένες να δίνουν διαφορετικά χρώματα σε διαφορετικές συσκευές, ή με διαφορετικές ρυθμίσεις της ίδιας συσκευής.

Εκτός του RGB υπάρχουν και άλλα χρωματικά μοντέλα όπως το CIE Lab, το CMY(K), το HSB, τα οποία χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία ψηφιακής εικόνας. Από όλα αυτά τα χρωματικά μοντέλα τα οποία έχουν δημιουργηθεί θα γίνει αναλυτικότερη αναφορά μόνο στο CIE Lab, λόγω της ευρείας χρήσης του στην αντικειμενική ποιοτική αξιολόγηση του χρώματος των τροφίμων.

2.8.1.2. Το χρωματικό μοντέλο CIE Lab

Το χρωματικό μοντέλο CIE Lab ή L^* , a^* , b^* παρουσιάστηκε από την CIE το 1976. Πρόκειται για ένα ομοιόμορφο οπτικά χρωματικό χώρο (*uniform color space*) ο οποίος προσομοιάζει καλύτερα από όλα τα χρωματικά συστήματα ή μοντέλα στην ανθρώπινη αντίληψη των χρωματικών διαφορών. Το κάθε χρώμα περιγράφεται από 3 κανάλια ή συντεταγμένες ή παράγοντες όπως και στον χρωματικό χώρο RGB. Στο CIE Lab χρωματικό μοντέλο ή σύστημα οι χρωματικές συντεταγμένες ή χρωματικοί παράγοντες ονομάζονται L^* , a^* και b^* , (γι' αυτό και η ονομασία) και απεικονίζονται σε τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Ο παράγοντας L^* (Lightness) αποθηκεύει όλη την πληροφορία φωτεινότητας της εικόνας παίρνοντας τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό), ενώ οι παράγοντες a^* και b^* , την πληροφορία χρώματος χωρίς να υπάρχουν για αυτά κάποια αριθμητικά όρια. Θετικές τιμές του a^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κόκκινου (Σχ. 7). Αρνητικές τιμές του a^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του πράσινου. Θετικές τιμές του b^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κίτρινου. Αρνητικές τιμές b^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του μπλε.



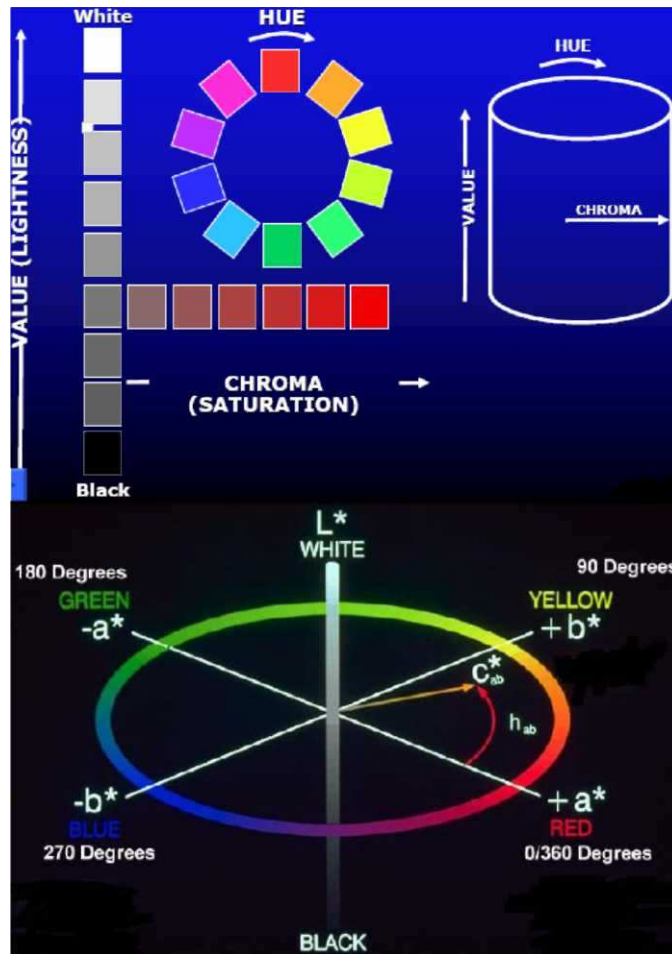
Σχήμα 7: A. $L^* = 100$ (λευκό)- $L = 0$ (μαύρο) B. a πράσινο / κόκκινο C. b^* μπλε / Κίτρινο

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό αυτού του χρωματικού μοντέλου είναι η ανεξαρτησία των πληροφοριών φωτεινότητας και χρώματος, που μας δίνει πάρα πολλές δυνατότητες. Ο παράγοντας L δηλαδή περιγράφει την άσπρη μαύρη εκδοχή του προς εξέταση αντικειμένου με διευρυμένο συνήθως φάσμα.

Το μοντέλο CIE Lab είναι ένας τεράστιος χρωματικός χώρος. Είναι υπερέσυνολο και του RGB και του CMYK καθώς και όλων των άλλων χρωματικών μοντέλων. Αν φτάσουμε στα όριά του, προκύπτουν χρώματα πρωτόγνωρα ή εξωπραγματικά, έξω από τις δυνατότητες πολλών συσκευών απεικόνισης. Τέλος πολύ σημαντικό είναι ότι το χρωματικό μοντέλο CIE Lab είναι 'device independent' ανεξάρτητο δηλαδή από ιδιότητες συσκευών καταγραφής ή απεικόνισης κάτι που δεν συμβαίνει με τα υπόλοιπα χρωματικά μοντέλα.

Το χρωματικό μοντέλο που περιγράφεται CIE Lab, μπορεί να αναπαρασταθεί και σε κυλινδρικό σύστημα πολικών συντεταγμένων με το μοντέλο CIE L , C , h (Σχ.8).

- Όπου L είναι η φωτεινότητα (*Lightness*)
- C (*Chroma*): Χρωματική πυκνότητα: Προσδιορίζει την συγκέντρωση δηλαδή την ένταση ή την καθαρότητα του χρώματος ή διαφορετικά τη σχέση μεταξύ της εντονότητας και της φωτεινότητας της μελετώμενης απόχρωσης
- Χροιά h (*hue angle*): Μετράται σε μοίρες και προσδιορίζει την απόχρωση (Σχ. 8) παίρνοντας τιμές 0° για το κόκκινο-πορφυρό, 90° για το κίτρινο, 180° για το γαλαζοπράσινο και 270° για το μπλε (Ορφανάκος, 2004).



Σχήμα 8: Απεικόνιση του χρωματικού μοντέλου CIE Lab σε κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων L^* , C^* και h

3.ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της δυνατότητας παρασκευής γαλακτωμάτων τύπου μαγιονέζας μειωμένης λιποπεριεκτικότητας, με 30% λάδι και χωρίς την προσθήκη κρόκου αυγού, καθώς και η μελέτη του φαινομενικού ιξώδους των δειγμάτων που παρασκευάστηκαν με προσθήκη μιγμάτων σταθεροποιητών (κόμμι γκουάρ, ξανθάνη). Επιπλέον, μελετήθηκε η μεταβολή της ρεολογικής συμπεριφοράς, του pH και του χρώματος των δειγμάτων κατά την αποθήκευση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

4.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1.Παρασκευή δειγμάτων μαγιονέζας

4.1.1.Όργανα και υλικά

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή δειγμάτων μαγιονέζας είναι:

- Οικιακός αναμεικτήρας (mixer)
- Ζυγός ακριβείας
- Προχοΐδες
- Ποτήρια ζέσεως

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των δειγμάτων δίνονται στον πίνακα 4.1.

<i>Υλικά</i>	<i>Περιεκτικότητα %</i>
Νερό	53,1
Ηλιέλαιο	30,0
Ξύδι	3,0
Χυμός λεμονιού	8,0
Αλάτι	1,2
Ζάχαρη	2,0
Βενζοϊκό οξύ	0,05
Σορβικό οξύ	0,05
Ασκορβικό οξύ	0,1
Μουστάρδα	1,5
Σταθεροποιητές	1,0

Πίνακας 4.1: Αναλογίες πρώτων υλών στα δείγματα μαγιονέζας

4.1.2.Μέθοδος παρασκευής δειγμάτων μαγιονέζας

Η παρασκευή δειγμάτων μαγιονέζας πραγματοποιήθηκε στον οικιακό αναμεικτήρα με την εξής διαδικασία: Αρχικά, προστίθεται η ποσότητα των σταθεροποιητών, αναμιγνύεται με την ποσότητα του ηλιέλαιου και ομογενοποιούνται για 2 λεπτά. Η πάστα των υλικών που παραλήφθηκε, αναμείχθηκε με το 20% της ποσότητας του νερού, το αλάτι, τη ζάχαρη, το βενζοϊκό, το σορβικό και το ασκορβικό οξύ για 2 λεπτά. Έπειτα, προστίθεται το υπόλοιπο νερό μαζί με το ξύδι, το λεμόνι και τη μουστάρδα και αναμιγνύεται για 2 λεπτά.

Παρασκευάστηκαν συνολικά 10 δείγματα μαγιονέζας στα οποία οι πρώτες ύλες βρίσκονται σε σταθερή αναλογία (Πίνακας 4.1), εξαιρουμένης της περιεκτικότητας του σταθεροποιητή σε ξανθάνη και κόμμι γκουάρ (Πίνακας 4.2)

<i>Δείγμα</i>	<i>Περιεκτικότητα δείγματος σε Ξανθάνη (%)</i>	<i>Περιεκτικότητα δείγματος σε Κόμμι Γκουάρ (%)</i>
1	0.1	0.9
2	0.2	0.8
3	0.3	0.7
4	0.4	0.6
5	0.5	0.5
6	0.6	0.4
7	0.7	0.3
8	0.8	0.2
9	0.9	0.1
10	1.0	0.0

Πίνακας 4.2: Αναλογίες σταθεροποιητών στα δείγματα μαγιονέζας

Δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για το δείγμα μαγιονέζας με περιεκτικότητα σε κόμμι γκουάρ 1%, καθώς ποσότητα ελαίου διαχωρίστηκε από το μίγμα, λόγω ρήξης του γαλακτώματος.

4.2.Ρεολογική μελέτη των δειγμάτων μαγιονέζας

4.2.1.Όργανα και υλικά

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την ρεολογική μελέτη των δειγμάτων της μαγιονέζας είναι τα εξής:

- Εργαστηριακό ιξωδόμετρο Brookfield RVTD
- Άτρακτος Brookfield No 6
- Ποτήρι ζέσεως (500ml)

4.2.2.Μέθοδος μέτρησης

Τα δείγματα της μαγιονέζας που παρασκευάστηκαν τοποθετήθηκαν σε κατάλληλους πλαστικούς περιέκτες στο ψυγείο σε θερμοκρασία περίπου 4°C για 24 ώρες πριν την πρώτη μέτρηση. Στην ίδια θερμοκρασία συντηρήθηκαν τα δείγματα στο ψυγείο καθ' όλη την διάρκεια της μεθόδου. Στη συνέχεια, καθώς δεν είναι δυνατή η διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της δοκιμής, τα δείγματα παρέμεναν εκτός ψυγείου για μία ώρα πριν τη δοκιμή, ώστε να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Τα δείγματα κατά την έξοδό τους από το ψυγείο και κατά τη διάρκεια της μίας ώρας τοποθετούνταν από τους πλαστικούς περιέκτες σε ποτήρια ζέσεως των 500 ml, ώστε να είναι σε κατάσταση ηρεμίας κατά τη δοκιμή.

Με το πέρας της μίας ώρας το κάθε δείγμα τοποθετήθηκε στο ιξωδόμετρο και μετρήθηκε διαδοχικά σε όλες τις επιλογές στροφών ανά λεπτό που διαθέτει το ιξωδόμετρο. Οι επιλογές αυτές είναι 0.5, 1, 2.5, 5, 10, 20, 50, 100 rpm.

Στο ιξωδόμετρο Brookfield οι μετρήσεις έγιναν με την άτρακτο 6 και σε κάθε μέτρηση παίρναμε την τιμή του ιξώδους. Η κάθε μέτρηση επαναλήφθηκε τρεις φορές για επαλήθευση, ενώ ανάμεσα στις μετρήσεις σε κάθε διαφορετική ρύθμιση στροφών ανά λεπτό το κάθε δείγμα θετόταν σε ηρεμία για την αποφυγή θιξοτροπικών φαινομένων.

Η μελέτη διήρκησε 29 ημέρες και καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης η μέθοδος αυτή επαναλήφθηκε 8 φορές, δηλαδή πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ανά 3 – 4 ημέρες, για να παρατηρηθεί η μεταβολή του ιξώδους κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.

4.2.3.Μαθηματική επεξεργασία των αποτελεσμάτων

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Mitschka για τη μελέτη του φαινομενικού ιξώδους των δειγμάτων.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή ισχύουν οι σχέσεις:

$$\tau = k_{M\tau} M \quad \text{και} \quad \gamma = k_{N\gamma}(n) N$$

όπου:

τ = διατμητική τάση (Pa)

M = ποσοστό της μέγιστης ροπής του οργάνου (0-100)

$k_{M\tau}$ = συντελεστής μετατροπής της ένδειξης του οργάνου (ποσοστό ροπής) σε διατμητική τάση. Για την άτρακτο No 6, $k_{M\tau} = 2,35$ Pa.

γ = ταχύτητα ή ρυθμός διάτμησης (s^{-1})

N = ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου (rpm ή min^{-1})

$k_{N\gamma}(n)$ = συντελεστής μετατροπής της ταχύτητας περιστροφής σε ταχύτητα διάτμησης (min s^{-1}). Για την άτρακτο Νο 6, ο $k_{N\gamma}(n)$ είναι συνάρτηση του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς n (Πίνακας 4.3).

Για τον υπολογισμό του $k_{N\gamma}(n)$ σε τιμές του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς ενδιάμεσες αυτών του Πίνακα, στην παρούσα πτυχιακή εργασία, πραγματοποιήθηκε παλινδρόμηση με τις τιμές του Πίνακα και προέκυψε η παρακάτω ευθεία:

$$\log k_{N\gamma}(n) = -0,6132 - 0,766 \log n \quad (R^2 = 0,9984)$$

n	$k_{N\gamma}(n)$
0,1	1,366
0,2	0,851
0,3	0,629
0,4	0,503
0,5	0,421
0,6	0,363
0,7	0,320
0,8	0,286
0,9	0,260
1,0	0,238

Πίνακας 4.3. Ο συντελεστής μετατροπής $k_{N\gamma}(n)$ σε συνάρτηση με το δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς n (Mitschka, 1982)

Άρα το φαινομενικό ιξώδες η_{app} προκύπτει από τη σχέση:

$$\eta_{app} = \tau/\dot{\gamma} = k_{M\tau} M / [k_{N\gamma}(n) N]$$

Επίσης, αφού $\tau = k \dot{\gamma}^n$, όπου k = συντελεστής συνεκτικότητας, προκύπτει:

$$k_{M\tau} M = k [k_{N\gamma}(n) N]^n = k [(k_{N\gamma}(n))]^n N^n$$

$$M = (k / k_{M\tau}) [(k_{N\gamma}(n))]^n N^n$$

$$\text{Και αν } K = (k / k_{M\tau}) [(k_{N\gamma}(n))]^n, \text{ τότε}$$

$$M = K N^n \text{ και}$$

$$\log M = \log K + n \log N$$

Οπότε με παλινδρόμηση μεταξύ των πειραματικών τιμών Μ και Ν υπολογίζονται ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς n και ο συντελεστής συνεκτικότητας k .

4.3.Μελέτη του pH των δειγμάτων μαγιονέζας

4.3.1.Όργανα και υλικά

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη του pH των δειγμάτων της μαγιονέζας είναι τα εξής:

- Πεχάμετρο, μοντέλο HI 8424NEW
- Ρυθμιστικά διαλύματα pH 7 και pH 4

4.3.2.Μέθοδος μέτρησης

Η μέτρηση του pH των δειγμάτων έγινε με τη βοήθεια πεχαμέτρου, μοντέλο HI 8424NEW (Hannah 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 την εμφάνιση σε οποιοδήποτε διάλυμα, γίνεται έκπλυση του ηλεκτροδίου με απεσταγμένο νερό και καθαρισμός του με μαλακό χαρτί.

Η μελέτη διήρκησε 29 ημέρες και καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης η μέθοδος αυτή επαναλήφθηκε 8 φορές, δηλαδή πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ανά 3 – 4 ημέρες, για να παρατηρηθεί η μεταβολή του pH κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.

4.4.Μελέτη της μεταβολής του χρώματος των δειγμάτων μαγιονέζας

4.4.1.Όργανα και υλικά

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της μεταβολής του χρώματος των δειγμάτων της μαγιονέζας είναι τα εξής:

- Χρωματόμετρο Micro Color

- Βαθμονόμηση οργάνου: ένα λευκό κεραμικό και μαύρο πλαστικό πλακίδιο

4.4.2. Μέθοδος μέτρησης

Κατά τη διάρκεια του πειράματος μελετήθηκε κι η μεταβολή του χρώματος των δειγμάτων. Η μέτρηση του χρώματος πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια χρωματόμετρου Micro Color (Dr. Lange, Germany), το οποίο είναι τύπου Hunter. Η βαθμονόμηση του οργάνου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση δύο προτύπων, ενός λευκού κεραμικού και ενός μαύρου πλαστικού πλακιδίου.

Οι συντεταγμένες που δίνει το όργανο συμβολίζονται με τα γράμματα L^* , a^* και b^* και συσχετίζονται με τις συντεταγμένες του Διεθνούς Συστήματος C.I.E.

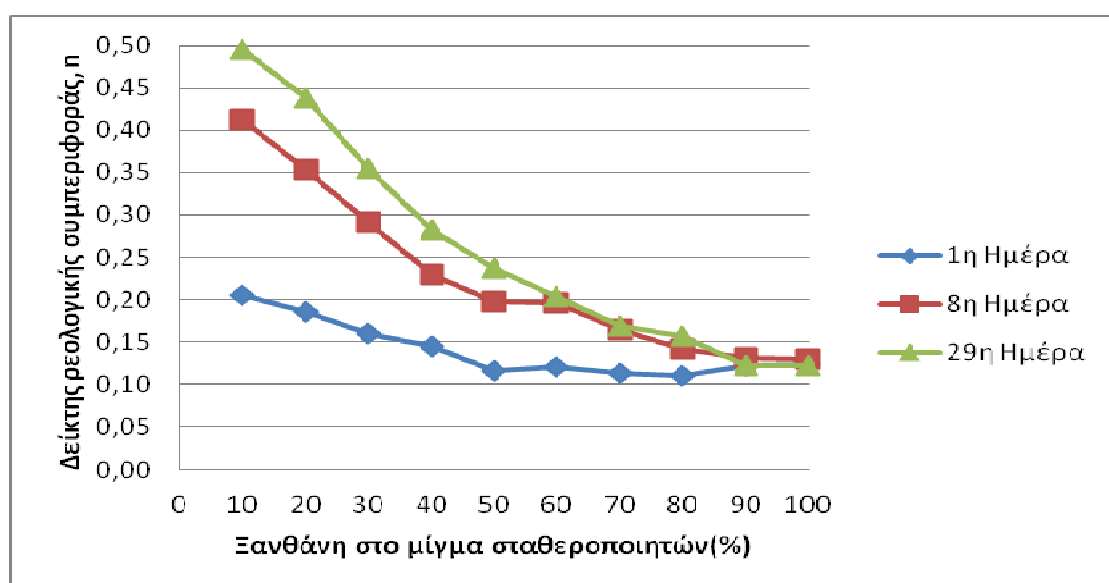
Η συντεταγμένη L^* δείχνει τη λαμπρότητα ή φωτεινότητα, η συντεταγμένη a^* τη διαβάθμιση του χρώματος από πράσινο ($-a^*$) ως ερυθρό ($+a^*$) και η συντεταγμένη b^* τη διαβάθμιση από κυανό ($-b^*$) σε κίτρινο ($+b^*$) (Αρβανιτογιάννης, 2008). Η μελέτη διήρκεσε 29 ημέρες και καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης η μέθοδος αυτή επαναλήφθηκε 8 φορές, δηλαδή πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ανά 3 – 4 ημέρες, για να παρατηρηθεί η μεταβολή του χρώματος κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.

5.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1.Ρεολογικές παράμετροι

5.1.1. Δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς (n)

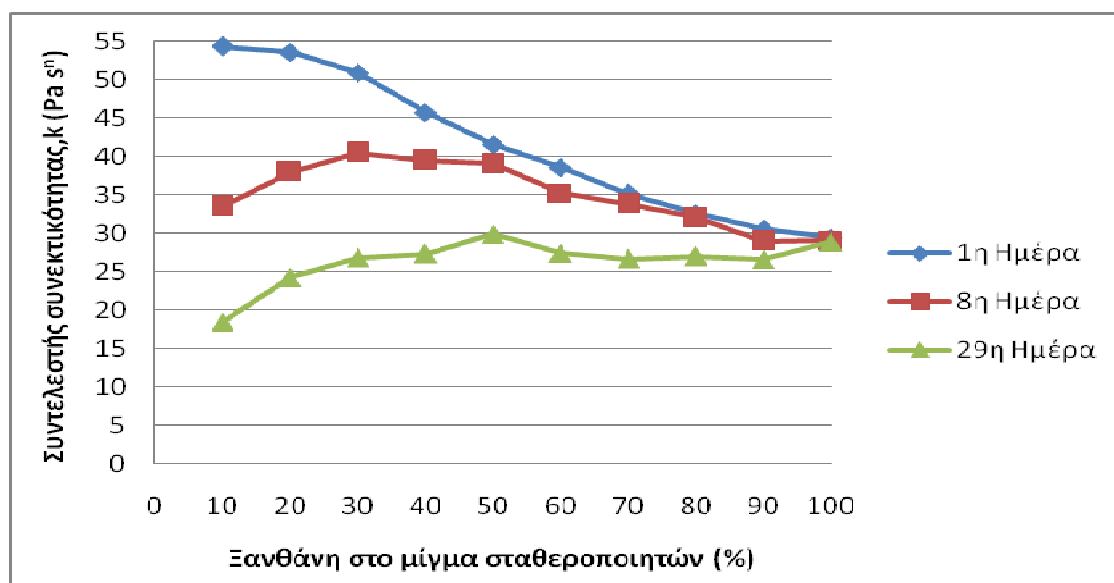
Οι τιμές του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς n, που προέκυψαν με τη βοήθεια της μεθόδου του Mitschka δίνονται για τα δείγματα μαγιονέζας την 1^η, 8^η και 29^η ημέρα αποθήκευσης (Σχήμα 9) Το δείγμα που περιέχει σαν σταθεροποιητή μόνο ξανθάνη παρουσιάζει τη μικρότερη τιμή, δηλαδή είναι το πιο ψευδοπλαστικό. Αντίθετα, όσο μειώνεται η συμμετοχή της ξανθάνης τόσο η τιμή του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς αυξάνεται και τα δείγματα εμφανίζονται ολοένα και λιγότερο ψευδοπλαστικά. Την τελευταία ημέρα αποθήκευσης, οι τιμές του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς είναι υψηλότερες από αυτές της πρώτης ημέρας, εκτός από το δείγμα που περιέχει μόνο ξανθάνη. Αυτό αποτελεί ένδειξη ότι το κόμμι γκουάρ υφίσταται υδρόλυση και τα δείγματα αυτά γίνονται λιγότερο ψευδοπλαστικά.



Σχήμα 9 : Δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς των δειγμάτων μαγιονέζας σε συνάρτηση με το ποσοστό ξανθάνης στο μίγμα σταθεροποιητών, κατά την 1^η, την 8^η και την 29^η ημέρα αποθήκευσης.

5.1.2. Συντελεστής συνεκτικότητας (k)

Οι τιμές του συντελεστή συνεκτικότητας k , που προέκυψαν με τη βοήθεια της μεθόδου του Mitschka για τα δείγματα μαγιονέζας την 1^η, 8^η και την 29^η ημέρα αποθήκευσης απεικονίζονται στο σχήμα 10. Ο συντελεστής συνεκτικότητας ισούται αριθμητικά με το φαινομενικό ιξώδες όταν η ταχύτητα διάτμησης ισούται με τη μονάδα ($\gamma=1s^{-1}$). Κατά την 1^η ημέρα αποθήκευσης, τα δείγματα που περιέχουν μίγματα των δυο σταθεροποιητών εμφανίζουν υψηλότερο συντελεστή συνεκτικότητας, δηλαδή είναι πιο ιξώδη από αυτά που παρασκευάστηκαν μόνο με ξανθάνη. Ειδικότερα τα δείγματα με αναλογία ξανθάνης – κόμμεος γκουαρ 10:90, 20:80 και 30:70 παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές. Αυτό αποτελεί ένδειξη ότι οι δύο σταθεροποιητές παρουσιάζουν μεταξύ τους συνέργεια ως προς τη δημιουργία ιξώδους. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρείται μετατόπιση της υψηλότερης τιμής του συντελεστή συνεκτικότητας, όπου την 29^η ημέρα το μέγιστο αυτό παρατηρείται στην αναλογία ξανθάνης – κόμμεος γκουαρ 50:50. Τέλος όσο αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης παρατηρείται μείωση του συντελεστή συνεκτικότητας, δηλαδή όλα τα δείγματα γίνονται πιο λεπτόρρευστα, εκτός από το δείγμα με ξανθάνη μόνο. Αυτό είναι ακόμη μια ένδειξη ότι το κόμμι γκουάρ υφίσταται υδρόλυση.



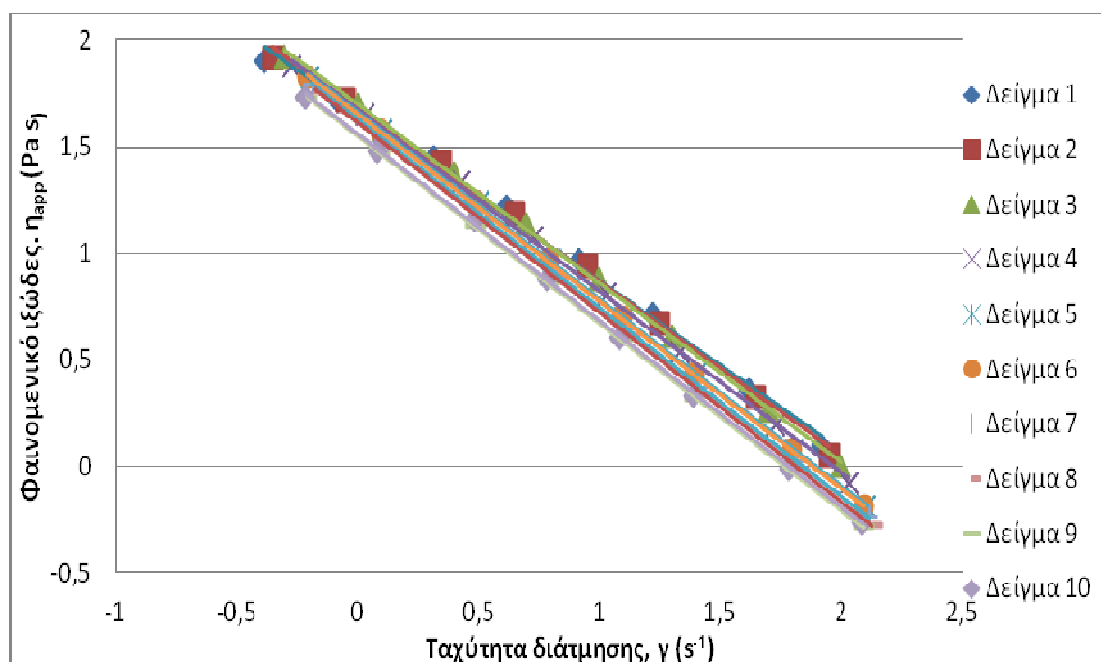
Σχήμα 10 : Συντελεστής συνεκτικότητας σε συνάρτηση με το ποσοστό ξανθάνης στο μίγμα σταθεροποιητών, κατά την 1^η, την 8^η και την 29^η ημέρα αποθήκευσης των δειγμάτων.

5.1.3. Φαινομενικό ιξώδες (η_{app})

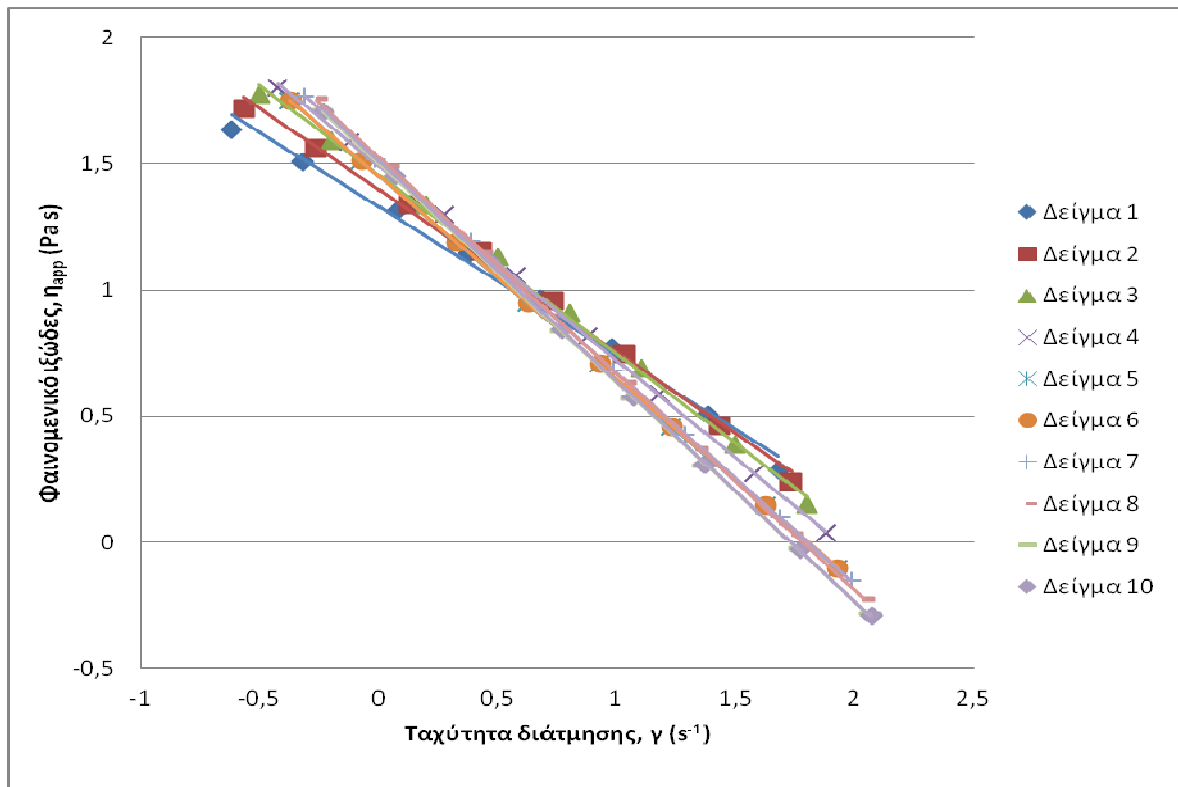
Στα σχήματα 11, 12 και 13 απεικονίζεται το φαινομενικό ιξώδες των δειγμάτων μαγιονέζας σε συνάρτηση με την ταχύτητα διάτμησης την 1^η, 8^η και 29^η ημέρα αντίστοιχα. Την πρώτη ημέρα (Σχήμα 11) όλα τα δείγματα παρουσιάζουν φαινομενικά ιξώδη της ίδιας τάξης μεγέθους, σε όλο το εύρος ταχυτήτων διάτμησης που μελετήθηκε.

Την όγδοη ημέρα (Σχήμα 12) αρχίζει να διαφαίνεται μια διαφοροποίηση στις τιμές με τα δείγματα με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε κόμμι γκουάρ να παρουσιάζουν μικρότερη κλίση, που σημαίνει μείωση της ψευδοπλαστικότητας.

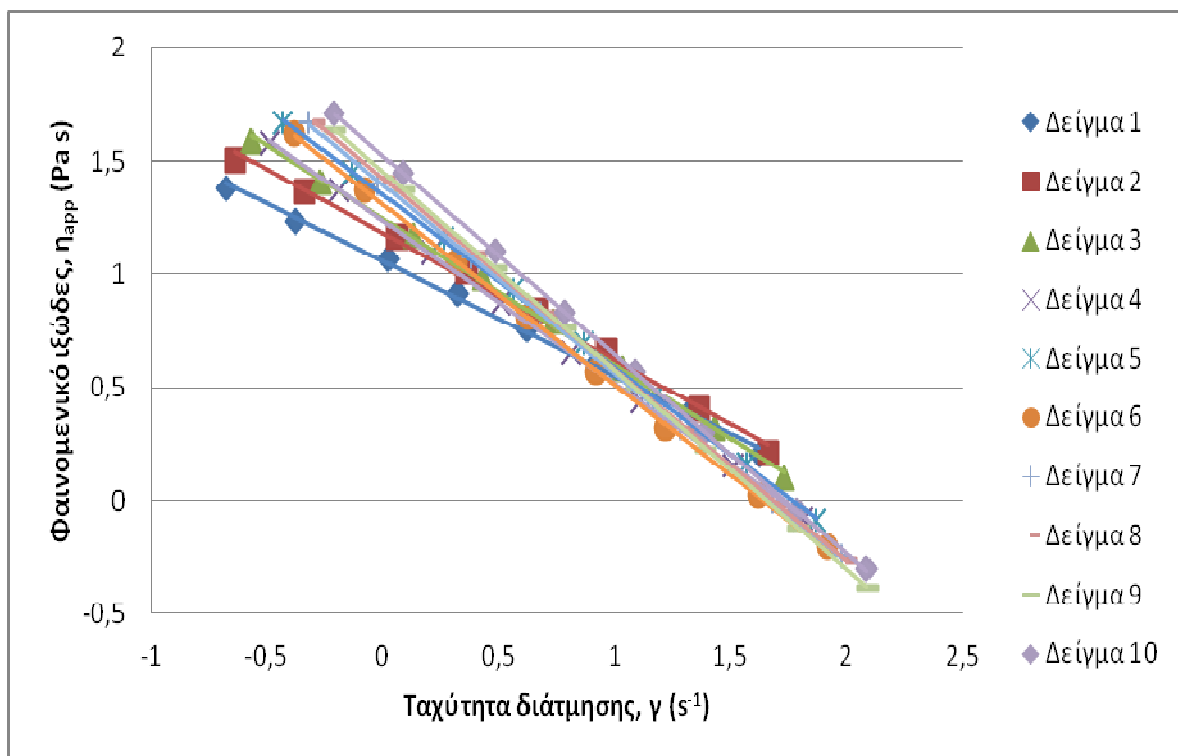
Τέλος την εικοστή ένατη ημέρα αποθήκευσης (Σχήμα 13) τα φαινομενικά ιξώδη των δειγμάτων διαφοροποιούνται ακόμη περισσότερο με τις χαμηλότερες τιμές να σημειώνονται από τα δείγματα με υψηλή συμμετοχή του κόμμιος γκουάρ, στις χαμηλές ταχύτητες διάτμησης, και το αντίθετο να συμβαίνει στις υψηλές ταχύτητες διάτμησης, λόγω της ψευδοπλαστικότητας του κόμμιος γκουάρ, η οποία αυξάνεται συνεχώς λόγω της υδρόλυσής του.



Σχήμα 11 : Φαινομενικό ιξώδες των δειγμάτων μαγιονέζας σε συνάρτηση με την ταχύτητα διάτμησης, κατά την 1^η ημέρα αποθήκευσης.



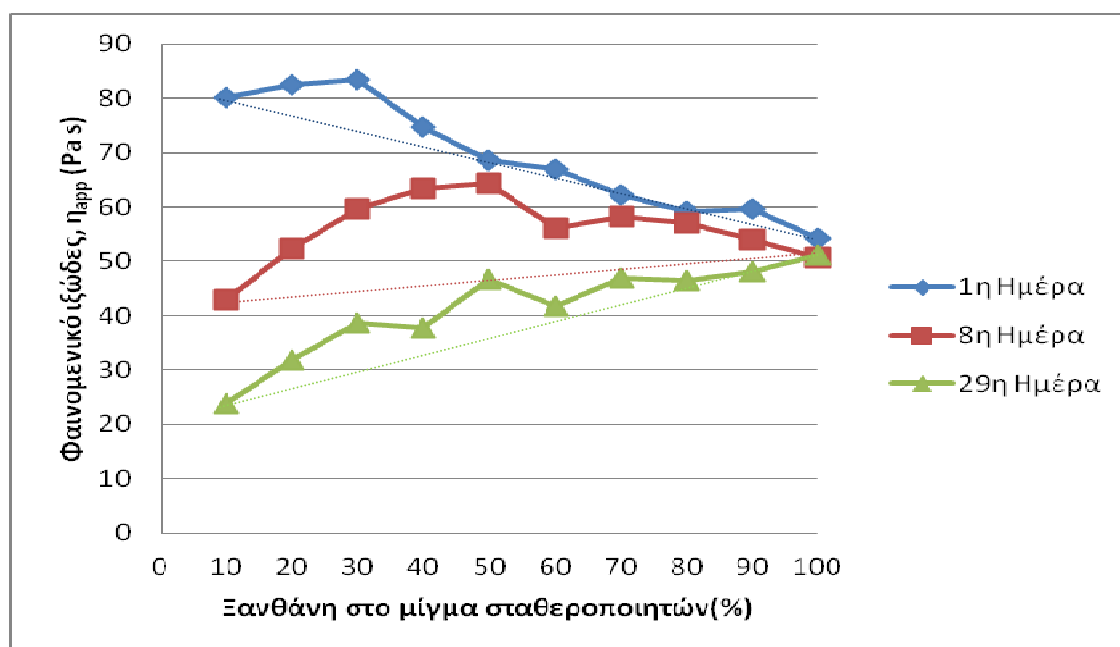
Σχήμα 12 : Φαινομενικό ιξώδες των δειγμάτων μαγιονέζας σε συνάρτηση με την ταχύτητα διάτμησης, κατά την 8^η ημέρα αποθήκευσης.



Σχήμα 13 : Φαινομενικό ιξώδες των δειγμάτων μαγιονέζας σε συνάρτηση με την ταχύτητα διάτμησης, κατά την 29^η ημέρα αποθήκευσης.

5.1.4. Συνέργεια σταθεροποιητών – υδρόλυση κόμμεος γκουάρ

Μελετώντας το φαινομενικό ιξώδες των δειγμάτων στη μικρότερη ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου (0,5 rpm) την πρώτη, την όγδοη και την εικοστή ένατη ημέρα (σχήμα 14) φαίνεται ότι τα δείγματα που παρασκευάστηκαν με μίγματα σταθεροποιητών εμφανίζουν τιμές ιξώδους υψηλότερες από τις αναμενόμενες. Συγκεκριμένα, την πρώτη ημέρα η συνέργεια παρατηρείται στα δείγματα με ξανθάνη/κόμμι γκουάρ 20:80, 30:70 και 40:60. Την όγδοη ημέρα, παρατηρείται μείωση των τιμών του φαινομενικού ιξώδους, που οφείλεται στην όξινη υδρόλυση του κόμμεος γκουάρ, λόγω του χαμηλού pH (2,8-3,4) του προϊόντος και μέγιστη συνέργεια στα δείγματα με ξανθάνη/κόμμι γκουάρ 40:60 και 50:50. Την εικοστή ένατη ημέρα αποθήκευσης παρατηρείται περαιτέρω μείωση του φαινομενικού ιξώδους και μέγιστη συνέργεια στο δείγμα με ξανθάνη/κόμμι γκουάρ 50:50. Το φαινομενικό ιξώδες του δείγματος που περιέχει μόνο ξανθάνη δεν μεταβάλλεται κατά την αποθήκευση που σημαίνει, ότι το δείγμα αυτό είναι το μοναδικό που δεν υφίσταται υδρόλυση. Σύμφωνα με τους Sharma et al. (2006) η ξανθάνη είναι σταθερή σε τιμές pH 1 έως 13. Ως προς τη συνέργεια, τα αποτελέσματα συμφωνούν με αυτά των Bortnowska & Makiewicz (2006) που διαπίστωσαν αλληλεπίδραση μεταξύ ξανθάνης και κόμμεος γκουάρ σε αναλογία 33:67, και του Zalewski (1997) σε αναλογία 20:80.

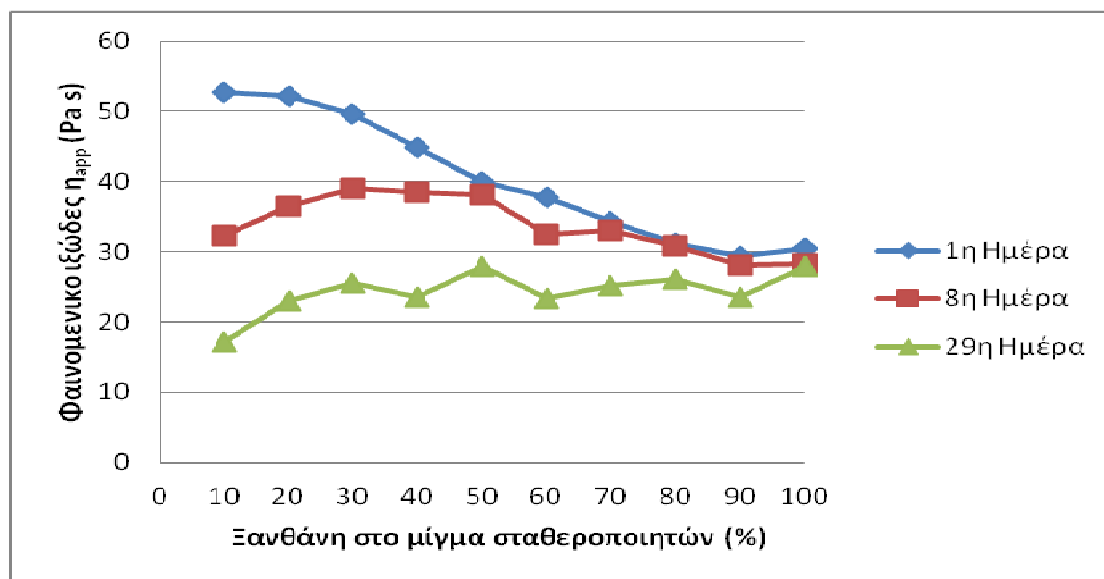


Σχήμα 14 : Φαινομενικό ιξώδες των δειγμάτων μαγιονέζας στη μικρότερη ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου (0,5 rpm) σε συνάρτηση με το ποσοστό ξανθάνης στο μίγμα σταθεροποιητών, κατά την 1^η, 8^η και 29^η ημέρα αποθήκευσης

5.1.5. Ψευδοπλαστικότητα

Στα σχήματα 15, 16 και 17 δίνεται το φαινομενικό ιξώδες των δειγμάτων κατά την πρώτη, όγδοη και εικοστή ένατη ημέρα στις ταχύτητες περιστροφής της ατράκτου 1, 10 και 100 rpm αντίστοιχα. Παρατηρώντας και τα τρία σχήματα και συγκρίνοντας τα με το σχήμα 14 συμπεραίνεται ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής, τόσο μειώνεται το φαινομενικό ιξώδες. Η μείωση αυτή είναι χαρακτηριστικό της ψευδοπλαστικότητας των δειγμάτων.

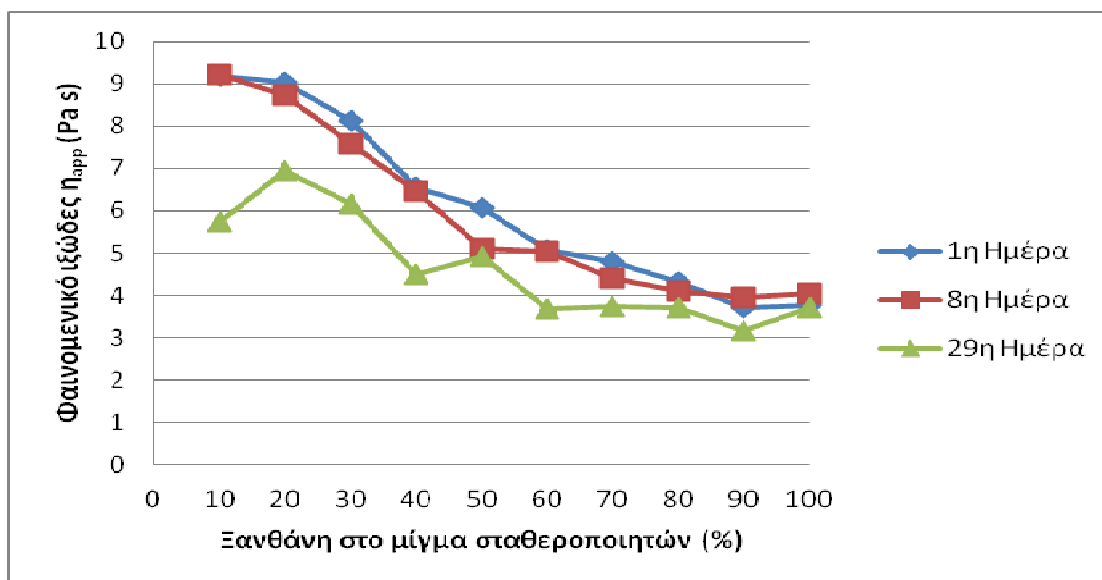
Εξετάζοντας, σε όλα τα σχήματα, το φαινομενικό ιξώδες σε όλες τις ημέρες αποθήκευσης (1^η, 8^η και 29^η) παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής, τόσο μετατοπίζεται και η μέγιστη τιμή προς τα δείγματα με υψηλότερη συγκέντρωση κόμματος γκουάρ. Η μετατόπιση αυτή οφείλεται στην υψηλότερη ψευδοπλαστικότητα της ξανθάνης έναντι του κόμματος γκουάρ. Άρα, η συνέργεια είναι πιο εμφανής στη χαμηλότερη ταχύτητα (0,5 rpm), αφού η αύξηση των στροφών, εκτός από την ανάδειξη της ψευδοπλαστικότητας της ξανθάνης, πιθανόν καταστρέφει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ξανθάνης και κόμματος γκουάρ.



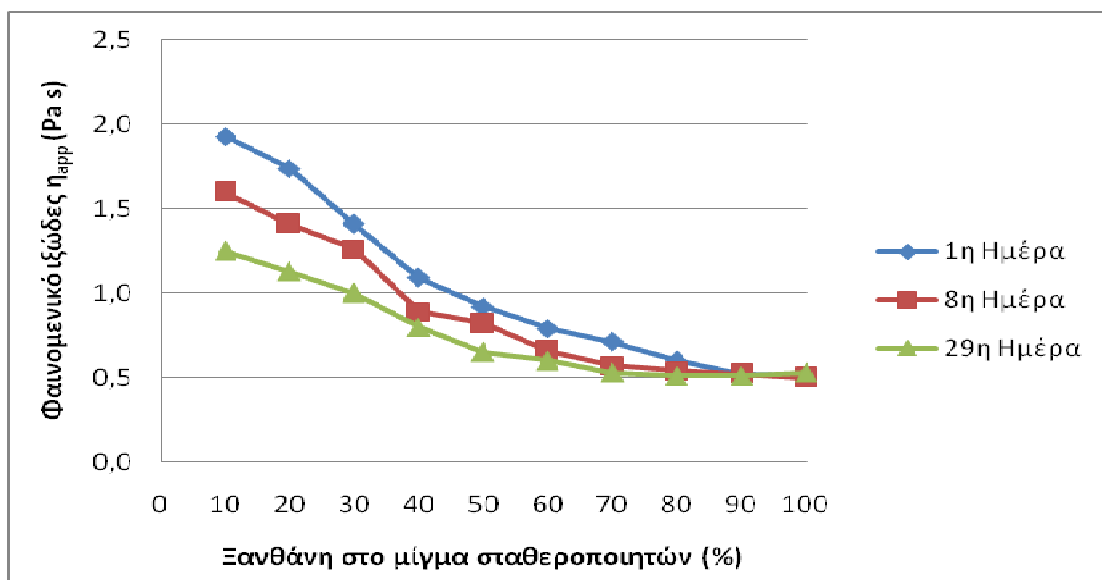
Σχήμα 15 : Φαινομενικό ιξώδες των δειγμάτων μαγιονέζας στην ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου 1 rpm, σε συνάρτηση με το ποσοστό ξανθάνης στο μίγμα σταθεροποιητών, κατά την 1η, 8η και 29η ημέρα αποθήκευσης

Συγκρίνοντας τις τέσσερις καμπύλες της 29^{ης} ημέρας αποθήκευσης (σχήματα 14-17), παρατηρείται ότι με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής, τα δείγματα που είναι πλούσια σε ξανθάνη παρουσιάζουν μεγαλύτερη μείωση του ιξώδους από αυτά που είναι πλούσια σε κόμμι γκουάρ. Αυτό σημαίνει ότι η υψηλή ψευδοπλαστικότητα

της ξανθάνης, επικαλύπτει τη μείωση του ιξώδους που οφείλεται στην υδρόλυση του κόμματος γκουάρ.



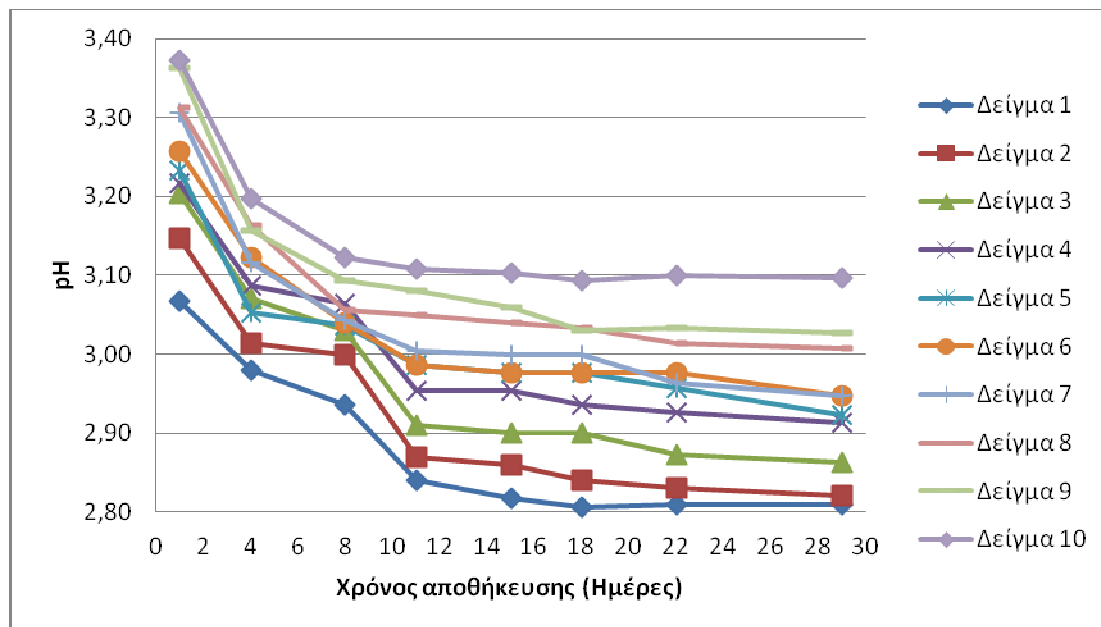
Σχήμα 16 : Φαινομενικό ιξώδες των δειγμάτων μαγιονέζας στην ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου 10 rpm, σε συνάρτηση με το ποσοστό ξανθάνης στο μίγμα σταθεροποιητών, κατά την 1η ,8η και 29η ημέρα αποθήκευσης



Σχήμα 17 : Φαινομενικό ιξώδες των δειγμάτων μαγιονέζας στην ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου 100 rpm, σε συνάρτηση με το ποσοστό ξανθάνης στο μίγμα σταθεροποιητών, κατά την 1η ,8η και 29η ημέρα αποθήκευσης

5.2. pH

Στο σχήμα 18 παρουσιάζεται η μεταβολή του pH των δειγμάτων μαγιονέζας, σε σχέση με το χρόνο αποθήκευσης.



Σχήμα 18 : pH των δειγμάτων μαγιονέζας σε συνάρτηση με το χρόνο αποθήκευσης

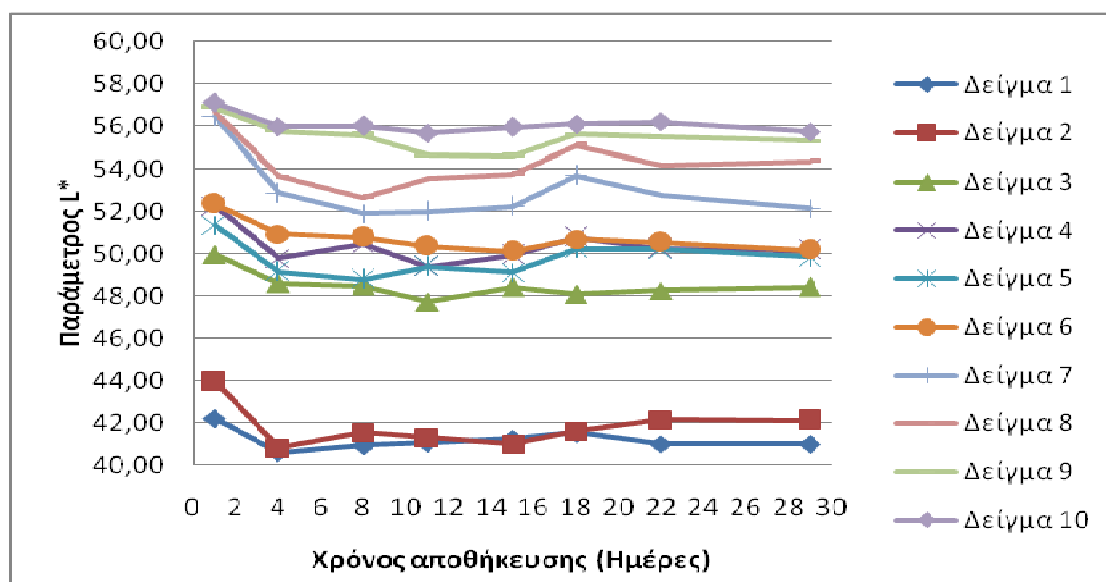
Παρατηρείται ότι οι τιμές του pH μειώνονται κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε όλα τα δείγματα.. Παρατηρείται ειδικότερα, μια μεγάλη πτώση έως την 8^η-10^η ημέρα που πιθανόν να οφείλεται σε ωσμωτικά φαινόμενα και στη συνέχεια η καμπύλη έχει σταθερή πορεία. Πρέπει να επισημανθεί ότι η πτώση του pH σε όλα τα δείγματα από την 1^η έως την 29^η ημέρα είναι σχεδόν ανάλογη και υπολογίζεται στο 0,20 - 0,30.

Επίσης παρατηρείται ότι το pH σε κάθε δείγμα διαφέρει, και είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερο ποσοστό ξανθάνης έχει το δείγμα, τόσο υψηλότερο είναι και το pH του.

5.3.Χρωματικές παράμετροι

5.3.1. Παράμετρος L*

Στο σχήμα 19 παρουσιάζεται η μεταβολή της παραμέτρου L* (Φωτεινότητα) σε σχέση με το χρόνο αποθήκευσης.



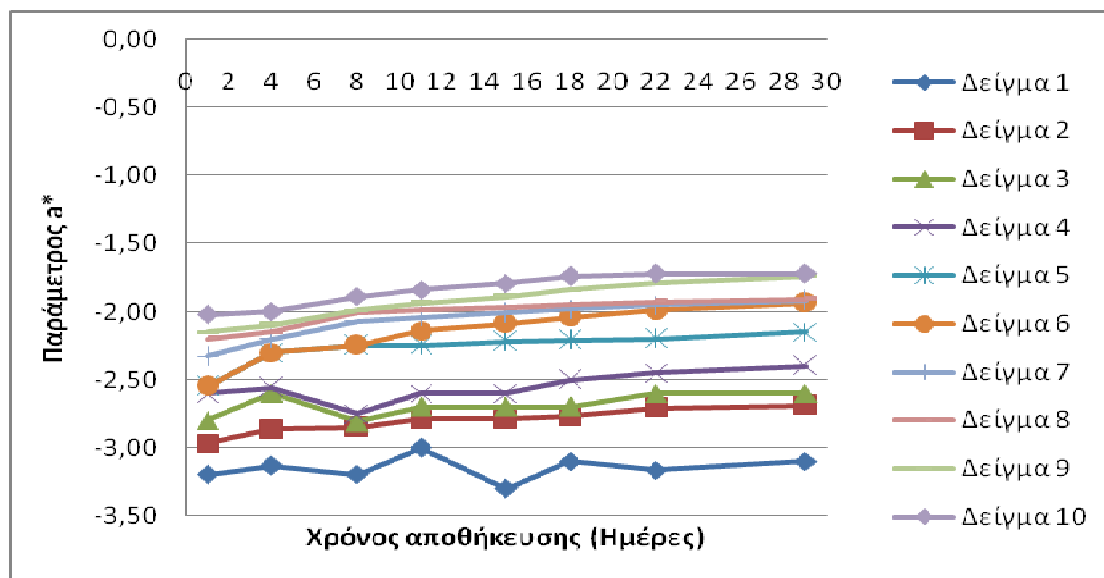
Σχήμα 19: Φωτεινότητα (L*) των δειγμάτων μαγιονέζας σε συνάρτηση με το χρόνο αποθήκευσης

Παρατηρείται ότι η φωτεινότητα (L*) δεν μεταβάλλεται ιδιαίτερα σε όλα τα δείγματα και η καμπύλη έχει μια σταθερή πορεία. Παρατηρείται, επίσης, ότι τα δείγματα είναι μέσης φωτεινότητας, αφού οι τιμές κυμαίνονται από 40,0 – 58,0 στην κλίμακα της παραμέτρου L* που κυμαίνεται από το 0 – 100.

Ακόμα, φαίνεται ότι όσο υψηλότερη περιεκτικότητα σε κόμμι γκουάρ έχει το δείγμα τόσο μικρότερη είναι η φωτεινότητά του, δηλαδή, γίνεται πιο σκούρο. Μάλιστα το 1^ο και 2^ο δείγμα που περιέχουν αναλογία ξανθάνη/κόμμι γκουάρ 10:90 και 20:80, διαφέρουν σημαντικά ως προς τη φωτεινότητα από τα υπόλοιπα δείγματα.

5.3.2. Παράμετρος a*

Στο σχήμα 20 παρουσιάζεται η μεταβολή της παραμέτρου a* σε σχέση με το χρόνο αποθήκευσης.

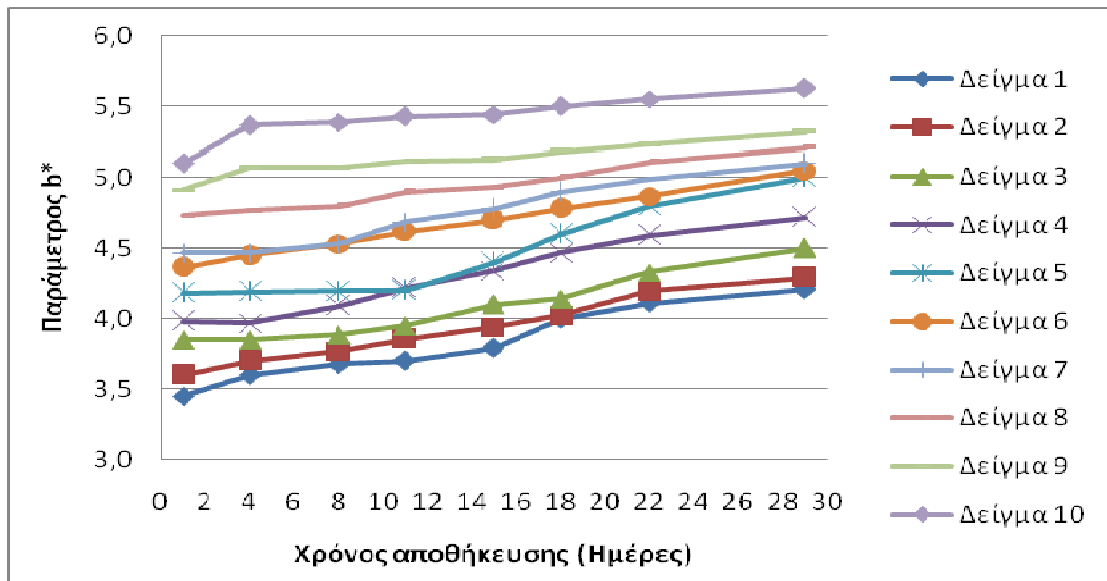


Σχήμα 20: Χρωματική παράμετρος a* των δειγμάτων μαγιονέζας κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης

Παρατηρείται ότι τα δείγματα έχουν αρνητικές τιμές στην παράμετρο a*, που σημαίνει ότι τα δείγματα χρωματικά παρουσιάζουν αποχρώσεις του πράσινου, οι οποίες παραμένουν σταθερές με το χρόνο, ενώ τα δείγματα εμφανίζουν πολύ μικρές διαφορές μεταξύ τους.

5.3.3. Παράμετρος b*

Στο σχήμα 21 απεικονίζεται η μεταβολή της παραμέτρου b* σε σχέση με το χρόνο αποθήκευσης.



Σχήμα 21: Χρωματική παράμετρος b^* των δειγμάτων μαγιονέζας κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης

Εφόσον οι τιμές της παραμέτρου b^* είναι θετικές συμπεραίνεται ότι τα δείγματα έχουν κίτρινη απόχρωση. Πιο κίτρινο είναι το δείγμα με ξανθάνη, ενώ όσο αυξάνεται η συμμετοχή του κόμμεος γκουάρ, τα δείγματα είναι ολοένα και λιγότερο κίτρινα.

Κατά τη διάρκεια αποθήκευσης, σε όλα τα δείγματα παρατηρείται συνεχής αύξηση της παραμέτρου b^* , που οφείλεται στην οξείδωση των κίτρινων χρωστικών της μαγιονέζας.

Παρόμοια συμπεράσματα για την παράμετρο b^* κατέγραψαν οι Bortnowska & Makiewicz (2006) σε δείγματα μαγιονέζας χαμηλής λιποπεριεκτικότητας με ξανθάνη και κόμμι γκουάρ.

6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία είναι τα εξής:

- Τα γαλακτώματα έχουν ικανοποιητική υφή και παραμένουν σταθερά επί 29 ημέρες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, εκτός από τα δείγματα με συμμετοχή ξανθάνης μικρότερης του 20% στο μίγμα των σταθεροποιητών.
- Η συμμετοχή της ξανθάνης αυξάνει την ψευδοπλαστικότητα των δειγμάτων μαγιονέζας.
- Υπάρχει συνέργεια μεταξύ ξανθάνης και κόμμεος γκουάρ στη διαμόρφωση του ιξώδους με μέγιστη τιμή στη μεταξύ τους σχέση 50:50.
- Η συνέργεια είναι πιο σαφής στις χαμηλές ταχύτητες περιστροφής. Στις υψηλότερες ταχύτητες το φαινόμενο καλύπτεται από την ψευδοπλαστικότητα της ξανθάνης.
- Η μείωση του ιξώδους κατά την αποθήκευση εξηγείται από την όξινη υδρόλυση του κόμμεος γκουάρ. Το δείγμα με ξανθάνη αποκλειστικά διατηρεί το ιξώδες του.
- Η συμμετοχή της ξανθάνης δίνει πιο ανοιχτόχρωμα, πιο κίτρινα και λιγότερο όξινα δείγματα.
- Κατά την αποθήκευση το χρώμα των δειγμάτων κιτρινίζει περαιτέρω εξαιτίας της οξειδωσης των χρωστικών τους.

7.ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

- Οργανοληπτική αξιολόγηση των δειγμάτων και σύγκριση με προϊόντα της αγοράς
- Μέτρηση του ιξώδους των δειγμάτων μαγιονέζας και με άλλου τύπου ιξωδόμετρο (π.χ. κώνου – πλάκας) για σύγκριση των πειραματικών τιμών.
- Αποθήκευση των δειγμάτων μαγιονέζας σε θερμοκρασίες ψυγείου και μελέτη των μεταβολών των ιδιοτήτων τους με το χρόνο.
- Παρασκευή δειγμάτων μαγιονέζας με τη χρήση άλλων σταθεροποιητών (κόμμι χαρουπιού, καραγενάνη κλπ) αυτούσιων ή σε συνδυασμούς.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Barnes H.A., Hutton J.F. and Walters K. (1989). An introduction to rheology, Elsevier, Amsterdam, Holland.
- Batal A.I., Galbreath T. and Cash P.A.(1992). Fat-free and low fat mayonnaise- like dressings. US Patent 5137742.
- Benichou, A., Aserin, A., & Garti, N. (2002). Protein–polysaccharide interactions for stabilization of food emulsions. *J. Dispers. Sci. Technol.*, 23, p. 93–123.
- Bodor J and Petten A.M. (2009). Mayonnaise product and a process for preparing it. US Patent 20090258133.
- Bortnowska, G. and Makiewicz A., (2006). Technological utility of guar gum and xanthan for the production of low fat inulin-enriched mayonnaise. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 5(2), 135-146
- Branen A.L., Davidson P.M. and Salminen S. (1990). Food additives. 347-363, Dekker, M., Inc., New York.
- Bresolin, T. M. B., Milas, M., Rinaudo, M. and Ganter, J. L. M. S. (1998). Xanthan – Galactomannan interactions as related to xanthan conformations. *International Journal of Biological Macromolecules*, 23, p. 263 – 275.
- Briggs, J. and Steffe, J. (1997). *Using Brookfield data and Mitschka method to evaluate power law foods*. Research note. Department of agricultural science. Michigan State University, East Lansing, MI 48824-1323
- Cao, Y., Dickinson, E., & Wedlock, D. J. (1990). Creaming and flocculation in emulsions containing polysaccharide. *Food Hydrocolloids*, 4, p. 185–195.
- Chaisawang, M. and Suphantharika, M. (2006). Effects of guar gum and xanthan gum additions on physical and rheological properties of cationic tapioca starch. *Carbohydrate Polymers*, 61, p. 288–295.
- Cheetham, N.W.H. and Mashimba, E.N.M., 1988. Conformational aspects of xanthan–galactomannan gelation. *Carbohydrate Polymers*, 9, p. 195–212.
- Dea, I. C. M. A., McKinnon, A. and Rees, D. A. (1972). Tertiary and quaternary structure in aqueous polysaccharide systems which model cell wall cohesion: Reversible in conformation and association of agarose, carrageenan and galactomannans. *J. Mol. Biol.*, 68, p. 153-172.
- Dea, I. C. M., Morris, Edwin R., Rees, David A. and Welsh, E. Jane. (1977). Associations of like and unlike polysaccharides: Mechanism and specificity in galactomannans, interacting bacterial polysaccharides and related systems. *Carbohydrate Research*, 57, p. 249-272.

- Dickinson, E. and Stainsby, G. (1982). *Colloids in foods*. Applied Science Publishers London, Elsevier Science.
- Dickinson, E. (1996). Biopolymer interactions in emulsion system: influences on creaming, flocculation, and rheology. In: *Macromolecular Interactions in Food Technology*, (Ed. Parris, N.), ch.16, p. 197–207 ACS Symposium Series, Washington DC.
- Dickinson, E., & Galazka, V. B. (1991). Emulsion stabilization by ionic and covalent complexes of β -lactoglobulin with polysaccharides. *Food Hydrocolloids*, 5, p. 281–296.
- Goshawk, J.A. and Binding, D.M. (1998). *Rheological phenomena occurring during the shearing flow of mayonnaise*. The society of Rheology, Inc
- Haminiuk C.W.I., Maciely G.M., Vicente Plata-Oviedo M.S., Quenehenn A. and Scheer P.A. (2009). Study of the Rheological Parameters of Honey Using the Mitschka Method. *International Journal of Food Engineering*, 5 (13).
- Hoffner B., Gerhards C. and Peleg M. (1997). Imperfect lubricated squeezing flow viscometry for foods. *Department of Food Science*, 36,686-693.
- Hou-Pin Su, Chuang-Ping Lien, Tan-Ang Lee and Ruo-Syuan Ho, 2009. Development of low-fat mayonnaise containing polysaccharide gums as functional ingredients. *Society of chemical Industry*.
- Ibanoglu, S. and Ibanoglu E. (1998). Rheological characterization of some traditional Turkish soups. *Journal of Food Engineering*. 35, p. 251-256.
- Jonson N.B. (1977). Low calorie products of the mayonnaise and dressings type and a method of producing. US Patent 4140808.
- Juszczak, L., Fortuna, T. and Kosla, A. (2003). Sensory and rheological properties of polish commercial mayonnaise. *Nahrung / Food*, 47, 232.
- Katzbauer, B. (1997). Properties and applications of guar gum. *Polymer degradation and stability*. 59, p.81-84
- Lissant, K. J. (1974). Food emulsions. In: *Emulsions and emulsion technology*, Part 1, (Ed. Schick, J. M. and Fowkes, F. M.), Ch. 5, p. 253 – 258, Dekker, M., Inc., New York.
- Liu H; Xu XM and Guo SD, Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *LWT Food Sci Technol* 40:946–954 (2007)
- Ma, L. and Barbosa-Cánovas, G. V. (1995). Rheological characterization of mayonnaise. Part II: Flow and viscoelastic properties at different oil and xanthan gum concentrations. *Journal of Food Engineering*, 25, p. 409-425.
- Mitschka, P. (1982) Simple conversion of Brookfield R.V.T. readings into viscosity functions. *Rheological Acta* 12, 207-209

- Papadakis, E.S. and Yam, L.K. (2000). A versatile inexpensive technique for measuring color of foods, *Food Technology*, Vol.54, No 12
- Pedersen H.C.A. (1995). No and low fat mayonnaise compositions. US Patent 5641533.
- Peressini D., Sensidoni A. and de Cindio B. (1998). Rheological characterization of traditional and light mayonnaises. *Journal of Food Engineering*, **35**, 409-417.
- Phillips, G.O., Williams, P.A. and Wedlock, D.J. (1998). *Gums and stabilizers for the food industry* 7. p. 280-289. IRL Press, Oxford University
- Rao M.A. and Steffe J.F. (1992). Viscoelastic properties of foods. *Elsevier Applied Science*, 355 – 370, New York.
- Samant, S. K., Singhal, R. S., Kulkarni, P. R., & Rege, D. V. (1993). Protein–polysaccharide interactions: a new approach in food formulations. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 28, p. 547–562.
- Scborsch, C., Gamier, C. and Doublier, J. L. (1997). Viscoelastic properties of xanthan/galactomannan mixtures: comparison of guar gum with locust bean gum. *Carbohydrate Polymers*. 34, p. 165-175
- Sharma B.R., Naresh L., Dhuldhoya N.C., Merchant S.U. and Merchant U.C. (2006). Xanthan Gum - A Boon to Food Industry. *Food Promotion Chronicle*, 1(5), 27-30.
- Singh, A. Ye, H. (2006). Heat stability of oil-in-water emulsions formed with intact or hydrolysed whey proteins: influence of polysaccharides. *Food Hydrocolloids*. 20, p. 269–276.
- Steffe, J.F. (1996). *Rheological methods in food process engineering*. Second edition. Freeman Press, 2807 Still Valley Dr. East Lansing, USA
- Tanjore, D. (2005). *A New application for Brookfield viscometers: Viscoelastic Property Determination*. Department of Biological and Agricultural Engineering, Raleigh North Carolina
- Vandita, B. P. and Khan, S. A. (2002). Gelation and rheology of xanthan/enzyme – modified guar blends. *Carbohydrate Polymers*. 49, p. 207–216.
- Williams R.W. (1979). *Determination of viscometric data from the Brookfield R.V.T. viscometer*. *Rheologica Acta*, Vol.18, No 3. Department of Applied Mathematics, University college of Wales, Penglais Aberystwyth SY23 3BZ, U.K.
- Zalewski S., (1997). *Rudiments of the gastronomic technology*. WNT, Warsaw, Poland

- Αρβανιτογιάννης Ι.Σ., Βαρζάκης Θ.Χ, Τζίφα Κ.Ν. (2008). Έλεγχος Ποιότητας Τροφίμων, Κεφ. 7,187-188. Εκδόσεις Σταμούλης Α.Ε., Αθήνα.
- Βαλσάμη, Α., και Φόλλας, Δ. (2008). *Μελέτη των ιξωδοελαστικών ιδιοτήτων διαφόρων τύπων μαγιονέζας με τη δοκιμή χαλάρωσης*. Πτυχιακή εργασία ΣΤΕΤΡΟΔ, ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης
- Γούτα Α., και Δήμου Θ. (2007). *Εφαρμογή της ιξωδομετρίας λιπαινόμενης συμπιεστής ροής σε διάφορους τύπους μαγιονέζας*. Πτυχιακή εργασία ΣΤΕΤΡΟΔ, ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης
- Δήμα, Γ., και Σιαμπάνη, Ε. (2005). *Μελέτη των ρεολογικών ιδιοτήτων μαγιονέζας με τη χρήση της ιξωδομετρίας λιπαινόμενης συμπιεστής ροής*. Πτυχιακή εργασία ΣΤΕΤΡΟΔ, ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης
- ΚΤΠ (2010). *Κώδικας τροφίμων και ποτών*. Εκδότης Αλυσανδράτος Γ.Σ., Αθήνα
- Ορφανάκος, Κ. Β. (2004). *Χρωματομετρία*. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα
- Παναγιώτου, Κ. (1998). *Διεπιφανειακά φαινόμενα και κολλοειδή συστήματα*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
- Ραφαηλίδης, Σ. (2005). *Σημειώσεις εργαστηρίου επεξεργασίας τροφίμων II*. ΣΤΕΤΡΟΔ, ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

- www.agsi.ubc.ac
- www.lsbu.ac.uk/water/hycmc.html
- www.lsbu.ac.uk/water/hyal.g.html
- www.lsbu.ac.uk/water/guar_gum.html
- www.brookfieldengineering.com