



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΑΣ ΕΛΙΑΣ ΚΑΙ
ΕΛΑΙΟΛΑΔΟΥ

**«ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ
ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΕΛΑΙΩΝ»**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Της

Ευαγγελίας – Δικαιοσύνης Αρβανίτη

Που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για τη μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης Διπλώματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην «Τεχνολογία και Ποιότητα Επιτραπέζιας Ελιάς και Ελαιολάδου» του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου

Καλαμάτα,
Ιούνιος 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΑΣ ΕΛΙΑΣ ΚΑΙ
ΕΛΑΙΟΛΑΔΟΥ

**«ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ
ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΕΛΑΙΩΝ»**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Της

Ευαγγελίας – Δικαιοσύνης Αρβανίτη

Που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για τη μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης Διπλώματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην «Τεχνολογία και Ποιότητα Επιτραπέζιας Ελιάς και Ελαιολάδου» του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου

Επιβλέπων: Λάμπρος Β. Φαρμάκης, Επίκουρος Καθηγητής

Καλαμάτα
Ιούνιος 2023



UNIVERSITY OF THE PELOPONNESE
SCHOOL OF AGRICULTURE AND FOOD
DEPARTMENT OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY

MASTER OF SCIENCE (M.Sc.) IN
TECHNOLOGY AND QUALITY OF TABLE OLIVES AND OLIVE OIL

**"STABILITY STUDY OF EMULSIONS FROM DIFFERENT
TYPES OF OILS."**

Master Thesis

By

Evangelia – Dikaiosyni Arvaniti

Submitted to the faculty for the partial fulfillment of the obligations to obtain a
Postgraduate Diploma in "Technology and Quality of Table Olives and Olive Oil" of the
Department of Food Science and Technology of the University of the Peloponnese

Supervisor: Lampros Farmakis, Assistant Professor

Kalamata
June 2023

Οι υπογράφωντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία (master thesis) με τίτλο «**ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΕΛΑΙΩΝ**» που παρουσιάστηκε από την **ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ-ΔΙΚΑΙΟΣΥΝΗ ΑΡΒΑΝΙΤΗ** και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

The signatories declare that we have examined the postgraduate diploma thesis titled “**STABILITY STUDY OF EMULSIONS FROM DIFFERENT TYPES OF OILS**” presented by **EVANGELIA-DIKAISYNI ARVANITI** and we affirm that it is accepted.

Όνοματεπώνυμο & Υπογραφή 1^{ου} Μέλους Επιτροπής
(Name and Signature of 1st Commission Member):
ΛΑΜΠΡΟΣ ΦΑΡΜΑΚΗΣ-LAMPROS FARMAKIS

Όνοματεπώνυμο & Υπογραφή 2^{ου} Μέλους Επιτροπής
(Name and Signature of 2nd Commission Member):
ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΠΟΛΟΣ-ΙΟΑΝΝΙΣ ΚΑΡΟΛΟΣ

Όνοματεπώνυμο & Υπογραφή 3^{ου} Μέλους Επιτροπής
(Name and Signature of 3rd Commission Member):
ΙΩΑΚΕΙΜ ΣΠΗΛΙΟΠΟΥΛΟΣ-ΙΟΑΚΙΜ ΣΠΙΛΙΟΠΟΥΛΟΣ

Με την υποβολή αυτής της διατριβής, δηλώνω ότι το σύνολο των εργασιών που περιέχονται σε αυτή είναι το δικό μου, πρωτότυπο έργο, ότι εγώ είμαι ο μοναδικός δημιουργός τους (εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά), ότι η αναπαραγωγή και η δημοσίευσή της από το Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου δεν θα παραβιάζει οποιαδήποτε δικαιώματα τρίτων και ότι δεν έχω υποβάλει στο παρελθόν το σύνολο ή μέρος αυτής για την απόκτηση οποιουδήποτε τίτλου.

By submitting this thesis, I declare that the entirety of the work contained therein is my own, original work, that I am the sole author thereof (save to the extent explicitly otherwise stated), that reproduction and publication thereof by the University of the Peloponnese will not infringe any third party rights and that I have not previously in its entirety or in part submitted it for obtaining any qualification.

Όνοματεπώνυμο & Υπογραφή Υποψηφίου
(Surname and first name of the candidate):
ΑΡΒΑΝΙΤΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ-ΔΙΚΑΙΟΣΥΝΗ
ΑΡΒΑΝΙΤΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ-ΔΙΚΑΙΟΣΥΝΗ

Πνευματική ιδιοκτησία © 2023 Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου
Όλα τα δικαιώματα διατηρούνται

Copyright © 2023 University of the Peloponnese
All rights reserved

Copyright © Αρβανίτη Ευαγγελία-Δικαιοσύνη, 2023
Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τη συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τη συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Γεωπονίας και Τροφίμων του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου.

ΑΦΙΕΡΩΣΕΙΣ

ΣΤΗ ΓΙΑΓΙΑ ΜΟΥ, ΤΗ ΜΕΜΗ.....

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, κύριο ΛΑΜΠΡΟ ΦΑΡΜΑΚΗ, για την πολύτιμη βοήθεια, καθοδήγηση και υπομονή καθ' όλη την διάρκεια της συγγραφής της διπλωματικής εργασίας αλλά και του μεταπτυχιακού προγράμματος εν γένει..

Ευχαριστώ επίσης τα μέλη της επιτροπής ΙΩΑΚΗΜ ΣΠΗΛΙΟΠΟΥΛΟ και ΙΩΑΝΝΗ ΚΑΠΟΛΟ για την ανατροφοδότησή και τα εμπειριστατωμένα σχόλια τους.

Επιπρόσθετα για την πολύτιμη βοήθεια τους ευχαριστώ το εργοστάσιο παραγωγής ελαιολάδου «KANAKIS FAMILY / EXTRA VIRGIN OLIVE OIL» για την παραχώρηση δειγμάτων ελαιολάδων για το πειραματικό κομμάτι της διπλωματικής εργασίας.

Δίπλα μου με συμβουλές και αφοσίωση ήσουν εσύ, και σε ευχαριστώ για όλες τις φορές που ήσουν εκεί δίνοντας την πολύτιμη βοήθεια σου, επιλύοντας ερωτήματα και αναπτερώνοντας μου το ηθικό όταν εγώ έπεφτα. Θανάση Κανάκη μου σε ευχαριστώ για όλα....

Μαργαριτάρι μου, σε ευχαριστώ για την βοήθεια σε όλα τα στάδια από την ψυχολογική υποστήριξη μέχρι και την συνεχή παρουσία σου εκεί.

Επίσης, ο κύριος Γιώργος Κατσιγιάννης έπαιξε σημαντικό ρόλο για αυτό το ξεκίνημα αφού χωρίς αυτόν δεν θα είχε ξεκινήσει τίποτα.. Σας ευχαριστώ..

Τέλος καθοριστικό ρόλο σε αυτό το ταξίδι έπαιξε η οικογένεια μου, ο μπαμπάς μου, η μαμά μου και ο αδερφός μου για την υπομονή που έδειξαν από την αρχή έως το τέλος.. Στάθηκαν δίπλα μου ως αρωγοί στην επίτευξη του στόχου μου παρόλες τις δυσκολίες που υπήρχαν σε αυτόν τον κύκλο της ζωής μου..

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα γαλάκτωμα αποτελείται από δύο φάσεις, μία ελαιώδη και μία υδατική, όπου η μία διασπείρεται μέσα στην άλλη με τη μορφή μικρών σταγονιδίων. Υπάρχουν γαλακτώματα που χρησιμοποιούνται στον τομέα των τροφίμων, τα οποία αποτελούνται από μία πληθώρα σταγονιδίων διαφορετικού μεγέθους. Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες γαλακτωμάτων ανάλογα με τη θέση του ελαίου και του νερού μέσα στο σύστημα: τα γαλακτώματα «έλαιο – σε – νερό» (oil – in – water, O/W) και τα γαλακτώματα «νερό – σε – έλαιο» (water – in – oil, W/O). Στα γαλακτώματα O/W τα σταγονίδια ελαίου είναι διεσπαρμένα σε νερό (π.χ. γάλα ή μαγιονέζα), ενώ στα γαλακτώματα W/O τα σταγονίδια νερού διασπείρονται μέσα σε έλαιο (π.χ. μαργαρίνη ή βούτυρο). Τα γαλακτώματα λόγω της διαφορετικής πυκνότητας των δύο φάσεων έχουν την τάση να διαχωρίζονται με ένα τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η επιφάνεια επαφής νερού και ελαίου. Προκειμένου να μπορέσουν τα γαλακτώματα να διατηρηθούν σταθερά για μεγάλα χρονικά διαστήματα, πριν το στάδιο της ομογενοποίησης προστίθενται χημικά συστατικά, γνωστά ως γαλακτωματοποιητές. Πρόκειται για επιφανειοδραστικές ουσίες που προσροφώνται στην επιφάνεια των σταγονιδίων και συμβάλλουν στην αποφυγή της συσσωμάτωσής τους. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά διαλύματα ελαίου σε νερό (αραβοσιτέλαιο, ελαιόλαδο οξύτητας 0,35 και ελαιόλαδο οξύτητας 0,55) παρουσία της επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80 σε τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις (1%, 1,5% και 2%). Σκοπός του πειράματος ήταν να μελετηθεί ο ρόλος της παρουσίας του Tween-80 στη σταθερότητα των συστημάτων με το πέρας του χρόνου.

Λέξεις κλειδιά: γαλάκτωμα, γαλακτωματοποιητής, επιφανειοδραστική ουσία, έλαιο, σταθερότητα γαλακτώματος

ABSTRACT

Emulsions consist of two phases, one oily and one aqueous, where one is dispersed within the other in the form of small droplets. Emulsions that are used in the food industry consist of a variety of droplets of different sizes. There are two main categories of emulsions depending on the position of the oil and water within the system: "oil-in-water" (O/W) and "water-in-oil" (W/O) emulsions. In O/W emulsions, oil droplets are dispersed in water (e.g. milk or mayonnaise), while in W/O emulsions, water droplets are dispersed in oil (e.g. margarine or butter). Dairy products tend to separate due to the different densities of the two phases, in order to minimize the contact area between water and oil. To ensure that dairy products remain stable for long periods of time, chemical ingredients called emulsifiers are added before the homogenization stage. These are surface-active substances that absorb onto the surface of droplets and help prevent their coalescence. In this study, three different oil-in-water emulsions were prepared (corn oil, extra-virgin olive oil with an acidity of 0.35, and extra-virgin olive oil with an acidity of 0.55), in the presence of the surfactant Tween-80 at three different concentrations (1%, 1.5%, and 2%). The purpose of the experiment was to study the role of Tween-80 in the stability of the systems over time.

Key words: emulsion, emulsifier, surfactant, oil, emulsions stability

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΑΦΙΕΡΩΣΕΙΣ	0
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ii
ABSTRACT	iii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	xi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ	3
1.1 Ιδιότητες γαλακτωμάτων	3
1.1.1. Κλάσμα όγκου διεσπαρμένης φάσης	3
1.1.2. Μέγεθος σωματιδίων	4
1.1.3. Ιδιότητες διεπιφάνειας σταγονιδίων	4
1.1.4. Φορτίο σταγονιδίων	5
1.1.5. Αντιδράσεις των σταγονιδίων	5
1.1.6. Ιξώδες	6
1.2. Συστατικά νανογαλακτωμάτων	6
1.3. Μηχανισμοί αποσταθεροποίησης γαλακτωμάτων	7
1.4. Μηχανισμοί σταθεροποίησης γαλακτωμάτων	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΟΠΟΙΗΤΕΣ	9
2.1. Ουσίες που χρησιμοποιούνται ως γαλακτωματοποιητές	9
2.2 Λειτουργίες των γαλακτωματοποιητών	11
2.3 Κριτήρια επιλογής κατάλληλου γαλακτωματοποιητή	12
2.3.1 Η κρίσιμη παράμετρος συσκευασίας (Critical Packing Parameter-CPP)	12
2.3.2 Hydrophilic-Lipophilic Balance (HLB)	13
2.3.3 Hydrophilic-Lipophilic Difference (HLD)	13
2.3.4 Critical Micelle Concentration (CMC)	14
2.3.5 Θερμοκρασία Krafft	15
2.3.6 Σημείο νέφωσης (Cloud point)	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΝΑΝΟΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ	16

3.1. Μέθοδοι υψηλής ενέργειας	16
3.2 Μέθοδοι χαμηλής ενέργειας.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ.....	18
4.1 Οπτική μικροσκοπία	18
4.2 Σκέδαση Φωτός.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΈΛΑΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ	19
5.1 Ελαιόλαδο.....	19
5.2 Αραβοσιτέλαιο.....	19
5.3 Σησαμέλαιο.....	20
5.4 Ηλιέλαιο.....	20
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	21
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΟΔΡΑΣΤΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ ΣΤΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ.....	27
6.1 Αραβοσιτέλαιο.....	27
6.2 Ελαιόλαδο οξύτητας 0,35	33
6.3 Ελαιόλαδο οξύτητας 0,55	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΟΔΡΑΣΤΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ ΣΤΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΛΑΙΩΝ.....	43
7.1 Σύγκριση της σταθερότητας γαλακτωμάτων διαφόρων ελαίων παρουσία 1% Tween-80.....	43
7.2 Σύγκριση της σταθερότητας γαλακτωμάτων διαφόρων ελαίων παρουσία 1,5% Tween-80.....	47
7.3 Σύγκριση της σταθερότητας γαλακτωμάτων διαφόρων ελαίων παρουσία 2% Tween-80.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΜΕΓΑΛΟ ΧΡΟΝΟ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ ΤΟΥΣ.....	55
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	61

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Σύσταση των διαφορετικών γαλακτωμάτων για όλους τους τύπους ελαίου και τις διαφορετικές συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας.....	23
Πίνακας 2: Τιμές μέσης τιμής διαμέτρου σταγονιδίων ελαίου (αραβοσιτέλαιο) ανά διάφορα χρονικά διαστήματα στις διαφορετικές συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80.....	27
Πίνακας 3: Τιμές αγωγιμότητας αραβοσιτέλαιου με την προσθήκη διαφορετικών συγκεντρώσεων επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80.....	28
Πίνακας 4: Περιλαμβάνει τις τιμές της παραμέτρου <i>PDI</i> σε συνάρτηση με το χρόνο για τα γαλακτώματα αραβοσιτέλαιου σε διάφορες συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας tween-80.....	31
Πίνακας 5: Τιμές μεγέθους σταγονιδίων ελαίου (ελαιόλαδο οξύτητας 0,35) ανά διάφορα χρονικά διαστήματα στις διαφορετικές συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80.....	33
Πίνακας 6: Τιμές αγωγιμότητας ελαιόλαδου οξύτητας 0,35 με την προσθήκη διαφορετικών συγκεντρώσεων επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80.....	34
Πίνακας 7: Περιλαμβάνει τις τιμές της παραμέτρου <i>PDI</i> σε συνάρτηση με το χρόνο για τα γαλακτώματα ελαιολάδου (0,35 οξύτητας) σε διάφορες συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας tween-80.	36
Πίνακας 8: Τιμές μεγέθους σταγονιδίων ελαίου (ελαιόλαδο οξύτητας 0,55) ανά διάφορα χρονικά διαστήματα στις διαφορετικές συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80.....	38
Πίνακας 9: Περιλαμβάνει τις τιμές της παραμέτρου <i>PDI</i> σε συνάρτηση με το χρόνο για τα γαλακτώματα ελαιολάδου οξύτητας 0,55% σε διάφορες συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας tween-80.....	39
Πίνακας 10: Τιμές αγωγιμότητας ελαιόλαδου οξύτητας 0,55 με την προσθήκη διαφορετικών συγκεντρώσεων επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80.....	41
Πίνακας 11: Πίνακας τιμών για διάφορα έλαια σε 1% Tween-80.....	43
Πίνακας 12: Διαφορετικά έλαια με Tween-80 1% χρόνος συναρτήσε <i>PDI</i>	46

Πίνακας 13: Πίνακας τιμών για διάφορα έλαια σε 1,5% Tween-80.....	47
Πίνακας 14: Πίνακας τιμών για διάφορα έλαια σε 1,5% Tween-80.....	49
Πίνακας 15: Πίνακας τιμών για διάφορα έλαια σε 2% Tween-80.....	51
Πίνακας 16: Πίνακας τιμών για διάφορα έλαια σε 2% Tween-80.....	53
Πίνακας 17: Τιμές για τη μέση τιμή της διαμέτρου των σωματιδίων ελαίου των παραχθέντων γαλακτωμάτων σε χρόνο παραμονής 4 μηνών από την παρασκευή τους και σε διάφορες συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας tween-80.....	55
Πίνακας 18: Περιλαμβάνει τις τιμές του επιφανειακού δυναμικού ζ για τα διάφορα γαλακτώματα ελαίων σε χρόνο παραμονής 4 μήνες και σε διάφορες συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας tween-80.....	56
Πίνακας 19: Περιλαμβάνει τις τιμές της παραμέτρου <i>PDI</i> για τα διάφορα γαλακτώματα ελαίων σε χρόνο παραμονής 4 μήνες και σε διάφορες συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας tween-80.....	57

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- Σχήμα 1: Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής της διαμέτρου των σωματιδίων της ελαιώδους φάσης (αραβοσιτέλαιο) σε συνάρτηση με τον χρόνο (ώρες) για τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80 (1%, 1,5% και 2%). Για την μέτρηση του μεγέθους χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή που δίνει το intensity.....28
- Σχήμα 2: Διάγραμμα απεικόνισης του μεγέθους των σωματιδίων της ελαιώδους φάσης (ελαιόλαδο οξύτητας 0,35) σε συνάρτηση με τον χρόνο (ώρες) για τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80 (1%, 1,5% και 2%). Για την μέτρηση του μεγέθους χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή που δίνει το intensity.....34
- Σχήμα 3: Διάγραμμα απεικόνισης του μεγέθους των σωματιδίων της ελαιώδους φάσης (ελαιόλαδο οξύτητας 0,55) σε συνάρτηση με τον χρόνο (ώρες) για τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80 (1%, 1,5% και 2%). Για την μέτρηση του μεγέθους χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή που δίνει το intensity.....39
- Σχήμα 4: Διάγραμμα απεικόνισης του μεγέθους των σωματιδίων της ελαιώδους φάσης διάφορων φυτικών ελαίων σε συνάρτηση με τον χρόνο (ώρες) για 1% επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80. Για την μέτρηση του μεγέθους χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή που δίνει το intensity.....44
- Σχήμα 5: Διάγραμμα απεικόνισης του μεγέθους των σωματιδίων της ελαιώδους φάσης διάφορων φυτικών ελαίων σε συνάρτηση με τον χρόνο (ώρες) για 1,5% επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80. Για την μέτρηση του μεγέθους χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή που δίνει το intensity.....48
- Σχήμα 6: Διάγραμμα απεικόνισης του μεγέθους των σωματιδίων της ελαιώδους φάσης διάφορων φυτικών ελαίων σε συνάρτηση με τον χρόνο (ώρες) για 2% επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80. Για την μέτρηση του μεγέθους χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή που δίνει το intensity.....52

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 1:** Ανάλογα με τη σχετική κατανομή των διεσπαρμένων και συνεχών φάσεων, τα γαλακτώματα είναι είτε διφασικά (Α και Β) είτε πολυφασικά (C και D).....2
- Εικόνα 2:** Αραβικό κόμμι. Προσαρμογή εικόνας <https://ti-einai.gr/araviko-kommi/.10.....??.11>
- Εικόνα 3:** Όργανο Zetasizer Nano-ZS. (εικόνα από Google).....24
- Εικόνα 4:** Αποτέλεσμα Ανάλυσης φορτίου από το όργανο Zetasizer Nano-ZS.....25
- Εικόνα 5:** Αποτέλεσμα Ανάλυσης μεγέθους από το όργανο Zetasizer Nano-ZS.....26

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

CPP: Critical Packing Parameter

CMC: Critical Micelle Concentration

DLS: Dynamic Light Scattering

HLB: Hydrophilic-Lipophilic Balance

HLD: Hydrophilic-Lipophilic Difference

O/W: Oil in Water

W/O: Water in Oil

W/O/W: Water in Oil in Water

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

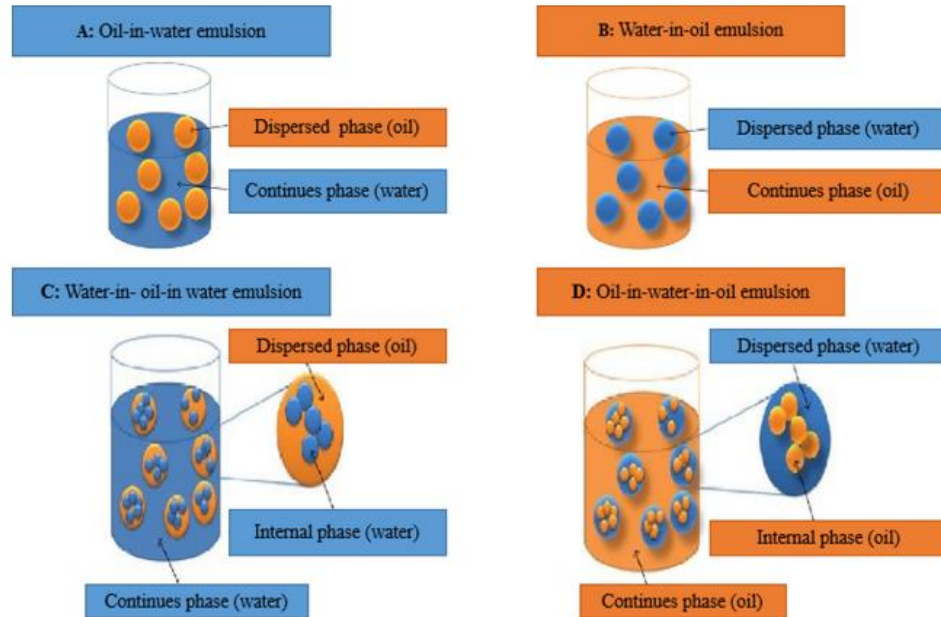
Τα γαλακτώματα είναι συνήθως διασπορές δύο μη αναμιξιμων υγρών. Όταν η εξωτερική φάση είναι νερό και η εσωτερική φάση είναι λάδι, αναφέρεται ως γαλάκτωμα "έλαιο σε νερό". Σε ένα γαλάκτωμα νερό σε λάδι, το νερό διασπείρεται στο λάδι. Αυτό είναι το αντίθετο από ένα γαλάκτωμα λάδι σε νερό. Παραδείγματα γαλακτωμάτων νερό σε λάδι περιλαμβάνουν την πραλίνα, το γάλα, το βούτυρο και τη μαγιονέζα. Κάθε γαλακτωματοποιητής έχει μια συγκεκριμένη ικανότητα διασποράς μιας εσωτερικής φάσης. Όταν επέλθει κορεσμός και το γαλάκτωμα φτάσει στο μέγιστο της δυναμικότητας του τότε αν προστεθεί επιπρόσθετη ποσότητα γαλακτωματοποιητή, το γαλάκτωμα θα καταστραφεί, ενώ η τιμή αυτή είναι διαφορετική για κάθε γαλάκτωμα. Αναφορικά με τη σταθεροποίηση των γαλακτωμάτων γίνεται με τη χρήση ειδικού τασενεργού παράγοντα που ορίζεται ως γαλακτωματοποιητής (Belitz H. D., 2015).

Τα σημαντικά γαλακτώματα τροφίμων περιλαμβάνουν O/W (λάδι σε νερό), W/O (νερό σε λάδι) και W/O/W (νερό σε λάδι σε νερό), μερικά εκ των οποίων βρίσκονται σε μαγιονέζα, σε λικέρ, σε κρέμες, στη σαντιγί και σε μείγματα παγωτού. Τα γαλακτώματα O/W χωρίζονται σε τρεις ομάδες:

- Η πρώτη ομάδα πρέπει να είναι σταθερή έναντι της δημιουργίας κρέμας και σύζευξης.
- Η δεύτερη ομάδα, αποτελεί ενώσεις όπως, οι πρωτεΐνες και οι πολυσακχαρίτες όπου συμμετέχουν στη δομή πιο περίπλοκων προϊόντων, όπως και αποτελούν τα παγιδευμένα σφαιρίδια λίπους στο γιαούρτι και το επεξεργασμένο τυρί.
- Η τρίτη ομάδα αποτελείται από τα σταγονίδια που συμμετέχουν στην ανάπτυξη
- της δομής του προϊόντος κατά την επεξεργασία (π.χ. παγωτό, προϊόν σαντιγί) (Piorkowski D. and McClements D.J., 2014; Kale S. & Deore S., 2017).

Επιπλέον, γαλακτώματα W/O βρίσκονται στο βούτυρο, σε διάφορους τύπους μαργαρινών και σε επάλειψη με βάση το λίπος καθώς τα W/O γαλακτώματα μπορούν να διασπαρούν σε άλλες υδατικές φάσεις (διπλά γαλακτώματα). Το τελευταίο χρησιμοποιείται συνήθως στην παρασκευή προϊόντων χαμηλών θερμίδων με βάση νανο (π.χ. σάλτσες και

σάλτσες) και ενθυλάκωση προβιοτικών, ωμέγα-3 λιπαρών οξέων και αντιοξειδωτικά (Piorkowski D. and McClements D.J., 2014; Kale S. & Deore S., 2017).



Εικόνα 3: Ανάλογα με τη σχετική κατανομή των διεσπαρμένων και συνεχών φάσεων, τα γαλακτώματα είναι είτε διφασικά (A και B) είτε πολυφασικά (C και D).

Μία κατηγοριοποίηση των γαλακτωμάτων γίνεται βάσει του μεγέθους των σωματιδίων της ασυνεχούς φάσης με το διαχωρισμό τους να γίνεται σε μακρογαλακτώματα, μικρογαλακτώματα και νανογαλακτώματα. Τα νανογαλακτώματα είναι συμβατικά γαλακτώματα που αποτελούνται από πολύ μικρά σωματίδια, διαμέτρου 10nm-100nm, το οποίο τους προσδίδει μεγαλύτερη σταθερότητα. Ωστόσο, λόγω θερμοδυναμικής αστάθειας τα γαλακτώματα αυτά έχουν την τάση να διαχωρίζονται με το πέρασ του χρόνου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ

1.1 Ιδιότητες γαλακτωμάτων

1.1.1. Κλάσμα όγκου διεσπαρμένης φάσης

Η συγκέντρωση των σταγονιδίων σε ένα γαλακτώμα παίζει σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό του κόστους, της υφής του, της γεύσης, της σταθερότητας και των θρεπτικών ιδιοτήτων του. Επομένως, είναι πολύ σημαντικό να μπορούμε να προσδιορίζουμε με σαφήνεια και να αναφέρουμε αξιόπιστα τη συγκέντρωση σταγονιδίων στα γαλακτώματα. Οι περισσότερες ιδιότητες των γαλακτωμάτων προκύπτουν από το μέγεθος και τον τρόπο με τον οποίο θα κατανεμηθούν τα σταγονίδια, καθώς αποτελούν ζωτική σημασία για την διάρκεια ζωής, την εμφάνιση, την υφή και το άρωμα των γαλακτωματοποιητών. Το μέγεθος των σταγονιδίων ενός γαλακτώματος μπορεί να αποδοθεί από την διάμετρο ή την ακτίνα του σωματιδίου (McClements D.J., 2005).

Ως συγκέντρωση σταγονιδίων αναφέρεται το κλάσμα όγκου διασπαρμένης φάσης (ϕ), το οποίο είναι ίσο με τον όγκο σταγονιδίων γαλακτώματος (VD) προς τον συνολικό όγκο του γαλακτώματος (VE): $\phi = VD / VE$. Η συγκέντρωση των σταγονιδίων συμβολίζεται επίσης και ως (ϕ_m), το οποίο ισούται με τη μάζα των σταγονιδίων του γαλακτώματος (mD) προς τη συνολική μάζα του γαλακτώματος (mE): $\phi_m = mD / mE$ (McClements D.J., 2016):

$$\phi_m = \frac{\phi \rho_2}{\rho_2 \phi + (1 - \phi) \rho_1}$$

$$\phi = \frac{\phi_m \rho_1}{\rho_1 \phi_m + (1 - \phi_m) \rho_2}$$

όπου, ρ_1 και ρ_2 είναι οι πυκνότητες της συνεχούς και διεσπαρμένης φάσης αντιστοίχως. Όταν οι πυκνότητες των δύο φάσεων είναι ίσες, τότε το κλάσμα μάζας είναι ισοδύναμο με το κλάσμα όγκου. Επί της ουσίας τα σταγονίδια ενός γαλακτώματος αποτελούνται από έναν πυρήνα διεσπαρμένης φάσης, ο οποίος εξωτερικά περιβάλλεται από ένα κέλυφος μορίων γαλακτωματοποιητή. Εάν το πάχος του διεπιφανειακού στρώματος (δ) είναι μεγαλύτερο σε σχέση με την ακτίνα των σταγονιδίων (r), τότε το κλάσμα όγκου των επικαλυμμένων σταγονιδίων θα είναι μεγαλύτερο από αυτό του κλάσματος όγκου της διεσπαρμένης φάσης: $f_{eff} = \phi(1 + \delta/r)^3$. Η αύξηση αυτή έχει σημαντικές συνέπειες για τη σταθερότητα και των γαλακτωμάτων (McClements D.J., 2005).

1.1.2. Μέγεθος σωματιδίων

Πολλές από τις σημαντικότερες ιδιότητες των προϊόντων διατροφής με βάση το γαλάκτωμα καθορίζονται από το μέγεθος των σταγονιδίων που περιέχουν, για παράδειγμα, διάρκεια διατήρησης, εμφάνιση, υφή, χαρακτηριστικά απελευθέρωσης, προφίλ γεύσης και βιολογική εξέλιξη. Κατά συνέπεια, είναι σημαντικό οι επιστήμονες τροφίμων να είναι σε θέση να ελέγχουν, να προβλέπουν, να μετρούν και να αναφέρουν το μέγεθος των σταγονιδίων των γαλακτωμάτων. Εάν όλα τα σταγονίδια μέσα σε ένα γαλάκτωμα έχουν ακριβώς τις ίδιες διαστάσεις, ορίζεται ως μονοδιασκορπισμένο γαλάκτωμα, αντιθέτως, εάν υπάρχει μια σειρά διαφόρων μεγεθών των σταγονιδίων ορίζεται ως πολυδιασκορπισμένο γαλάκτωμα (McClements D.J., 2016).

1.1.3. Ιδιότητες διεπιφάνειας σταγονιδίων

Η διεπιφάνεια των σταγονιδίων αποτελείται από μία πολύ μικρή περιοχή (πάχους μερικών νανόμετρων), η οποία περιβάλλει κάθε ένα σταγονίδιο γαλακτώματος, και περιέχει ένα μίγμα ελαίου, νερού και ενεργής επιφάνειας μορίων (McClements D.J. and Decker E. 2000). Η διεπιφάνεια αποτελεί σημαντικό ρόλο στον καθορισμό πολλών φυσικοχημικών ιδιοτήτων των γαλακτωμάτων. Το πάχος και η ρεολογία της διεπιφανειακής περιοχής μπορούν να επηρεάσουν τη σταθερότητα των γαλακτωμάτων κατά το βαρυτικό διαχωρισμό,

τη συσσωμάτωση και τη συνένωση. Επίσης επηρεάζουν τη ρεολογία των γαλακτωμάτων και την ταχύτητα μεταφοράς μάζας εντός ή εκτός των σταγονιδίων (McClements D.J. and Decker E. 2000).

1.1.4. Φορτίο σταγονιδίων

Οι φυσικοχημικές και οργανοληπτικές ιδιότητες των γαλακτωμάτων σε πολλά τρόφιμα οφείλονται στο μέγεθος και στο είδος του ηλεκτρικού φορτίου των σταγονιδίων. Η προέλευση του φορτίου οφείλεται στην προσρόφηση των μορίων ιοντικού γαλακτωματοποιητή που ιονίζεται. Οι επιφανειοδραστικές ουσίες αποτελούνται από υδρόφιλες ομάδες επικεφαλής οι οποίες μπορεί να είναι ουδέτερες, θετικά φορτισμένες, ή αρνητικά φορτισμένες. Επομένως, τα σταγονίδια του γαλακτώματος λαμβάνουν την τιμή του ηλεκτρικού φορτίου που εξαρτάται από τον τύπο των επιφανειακών δραστικών μορίων διαταράσσοντας σημαντικά τις φυσικοχημικές και οργανοληπτικές ιδιότητες αυτών (των γαλακτωμάτων), συμπεριλαμβανομένων της εμφάνισης, της ρεολογίας, της γεύσης και της σταθερότητας. Για παράδειγμα, η παραγωγή μαργαρίνης ή βουτύρου ή σαντιγής και παγωτού εξαρτάται από την ελεγχόμενη αποσταθεροποίηση ενός γαλακτώματος (o/w) που περιέχει εν μέρει κρυσταλλικά σταγονίδια (Walstra P., 1987).

1.1.5. Αντιδράσεις των σταγονιδίων

Οι φυσικοχημικές και αισθητικές ιδιότητες των γαλακτωμάτων τείνουν να επηρεάζονται έντονα από τις ελκυστικές και απωθητικές αλληλεπιδράσεις που δρουν μεταξύ των σταγονιδίων. Υπάρχουν διάφορες αντιδράσεις που μπορούν να συμβούν, όπως των Van der Waals, ηλεκτροστατικών, στερεοχημικών και υδροφοβικών αλληλεπιδράσεων. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις μεταβάλλονται ανάλογα με το φορτίο τους (αρνητικό ή θετικό), το μέγεθος (ισχυρό έως αδύναμο) και το εύρος (μακρύ έως βραχύ). Όταν επικρατούν ελκυστικές δυνάμεις, τα σταγονίδια τείνουν να συνδέονται μεταξύ τους, ενώ όταν επικρατούν απωθητικές δυνάμεις, τα σταγονίδια τείνουν να παραμένουν ως μεμονωμένες οντότητες. Αυτές οι αντιδράσεις έχουν ως αποτέλεσμα να προκαλέσουν μεγάλες αλλαγές στα

σταγονίδια των γαλακτωμάτων διαταράσσοντας τη σταθερότητα, τη ρεολογία, την εμφάνιση και τη γεύση (McClements D.J., 2016).

1.1.6. Ιξώδες

Το ιξώδες ενός γαλακτώματος είναι ανάλογο του ιξώδους της συνεχούς φάσης, επομένως θα αυξάνεται καθώς αυξάνει η αποτελεσματική συγκέντρωση των σταγονιδίων (ϕ). Όταν το γαλάκτωμα υποβληθεί σε αναστροφή φάσης, δημιουργείται αλλαγή στη φύση της συνεχούς φάσης (από νερό σε λάδι ή αντίστροφα), καθώς και στην συγκέντρωση των σταγονιδίων. Επομένως αλλάζει και το ιξώδες του γαλακτώματος. Το υγρό που έχει τη χαμηλότερη τιμή ιξώδους απεικονίζει τη συνεχή φάση. Ο μηχανισμός αναστροφής φάσης βασίζεται στην πολλαπλή συνένωση σταγόνων σε γαλάκτωμα με υψηλή συγκέντρωση σταγόνων και δημιουργία πεδίων συνεχούς φάσης. Όσο μεγαλύτερα είναι τα ιξώδη των δύο υγρών τόσο πιο αργά προχωρεί η αναστροφή φάσης (Allouche J. et al., 2004; Tyrode et al., 2005).

1.2. Συστατικά νανογαλακτωμάτων

Τα νανογαλακτώματα τροφίμων αποτελούνται από δύο φάσεις: την ελαιώδη και την υδατική και από έναν γαλακτωματοποιητή. Η φάση του ελαίου παρασκευάζεται από μη πολικά συστατικά, όπως πχ λιπαρά οξέα, αιθέρια έλαια, γλυκερόλες, καροτενοειδή κλπ. Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά αυτής της φάσης είναι που καθορίζουν τις ιδιότητες και την σταθερότητα των γαλακτωμάτων (Tadros et al., 2004; McClements, 2005). Στη βιομηχανία τροφίμων, τα νανογαλακτώματα συνήθως παρασκευάζονται χρησιμοποιώντας έλαια τριακυλογλυκερόλης για λόγους που αφορούν τα χαρακτηριστικά τους, τη διαθεσιμότητά τους και το μικρό κόστος.

Η υδατική φάση ενός νανογαλακτώματος μπορεί να αποτελείται είτε από νερό, είτε από άλλα πολικά συστατικά όπως οι αλκοόλες, οξέα, βάσεις κλπ. Ο τύπος και η συγκέντρωση των συστατικών αυτών διαδραματίζουν τον κύριο ρόλο στην πολικότητα, τη διεπιφανειακή

τάση, τον δείκτη διάθλασης, τη ρεολογία, την πυκνότητα, τη συμπεριφορά φάσης, το pH και την ιοντική ισχύ της υδατικής φάσης. Όλα αυτά τα παραπάνω καθορίζουν τελικά τον σχηματισμό, τη σταθερότητα, και τις φυσικοχημικές ιδιότητες του νανογαλακτώματος. Τέλος, ένα γαλάκτωμα προκειμένου να σταθεροποιηθεί ύστερα από την ανάμιξη της ελαιώδους με την υδατική φάση και να μην υποστεί γρήγορη διάσπαση, θα πρέπει να προστεθεί ένας γαλακτωματοποιητής, δηλαδή ένα ενεργό επιφανειακό μόριο με ικανότητα προσρόφησης στην επιφάνεια των σταγονιδίων, προστατεύοντάς τα από τη συσσωμάτωση (McClements, 2005).

1.3. Μηχανισμοί αποσταθεροποίησης γαλακτωμάτων

Οι κυριότεροι μηχανισμοί αποσταθεροποίησης των γαλακτωμάτων είναι η κρεμοποίηση, η καθίζηση, η κροκίδωση και η συσσωμάτωση. Κατά την κρεμοποίηση υπάρχει διαφορά στις πυκνότητες των δύο φάσεων και τα σταγονίδια της ελαιώδους φάσης ανέρχονται στην επιφάνεια λόγω μικρότερης πυκνότητας. Παρόμοια διαδικασία ακολουθείται και κατά τον μηχανισμό καθίζησης, ο οποίος παρατηρείται κυρίως σε γαλακτώματα νερού σε λάδι, όπου τα σταγονίδια της υδατικής φάσης καθιζάνουν λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας. Η κροκίδωση και η συσσωμάτωση είναι αποτέλεσμα της κινητικότητας των μικκυλίων και της επακόλουθης σύγκρουσης των σταγονιδίων. Στην περίπτωση της κροκίδωσης τα σταγονίδια συγκεντρώνονται δημιουργώντας μεγάλες μάζες, οι οποίες όμως δεν οδηγούν σε κατάρρευση της μεμβράνης της διεπιφάνειας. Επιπλέον, κατά τη συσσωμάτωση υπάρχει επαφή των σταγονιδίων και επακόλουθη ρήξη της μεμβράνης διεπιφάνειας. Για την τελική συσσωμάτωση έχει προηγηθεί η φάση της κρεμοποίησης και της κροκίδωσης και με το πέρας του χρόνου οι φάσεις διαφοροποιούνται. Τέλος, ένας επιπλέον μηχανισμός αποσταθεροποίησης είναι η ωρίμανση Ostwald (Ostwald ripening), η οποία είναι μία διεργασία όπου τα μικρά σωματίδια διαλύονται αυξάνοντας έτσι τη συγκέντρωση του διαλύματος, και τα μεγάλα διευρύνονται σε μέγεθος (Piorkowski D., McClements D.J., 2014; Capek, 2019).

1.4. Μηχανισμοί σταθεροποίησης γαλακτωμάτων

Οι επιφανειοδραστικές ουσίες είναι ουσίες που διαθέτουν υδρόφοβα και υδρόφιλα τμήματα και χάρη σε αυτή τους την ιδιότητα ελαττώνουν τη διεπιφανειακή τάση ανάμεσα στις δύο φάσεις ενός γαλακτώματος. Οι γαλακτωματοποιητές είναι επιφανειοδραστικές ουσίες και ο ρόλος τους είναι η δημιουργία ενός προστατευτικού στρώματος που εφάπτεται στην επιφάνεια των σταγονιδίων και παρεμποδίζει τη διαδικασία της συσσωμάτωσης. Αντίθετα, οι σταθεροποιητές (stabilizers) αυξάνουν το ιξώδες της συνεχούς φάσης και έτσι ελαττώνουν την ταχύτητα σύγκρουσης των σταγονιδίων και της επερχόμενης καθίζησης (McClements & Rao, 2011).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΟΠΟΙΗΤΕΣ

2.1. Ουσίες που χρησιμοποιούνται ως γαλακτωματοποιητές

Ως γαλακτωματοποιητές ορίζονται οι αμφίφιλες (διαθέτουν ένα υδρόφοβο και ένα υδρόφιλο τμήμα) επιφανειοδραστικές ουσίες που παράγονται ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία ζωικών ή φυτικών ελαίων και λιπών και χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα στη βιομηχανία τροφίμων (Hasenhuettl GL and Hartel RW, 2019). Πρόκειται για επιφανειακά ενεργά μόρια που προσροφώνται στις επιφάνειες των σταγονιδίων, προστατεύοντάς τα από συσσώρευση (McClements D.J. 2005; Kralova et al., 2009). Η χρήση τους στην παρασκευή τροφίμων αυξάνεται σταδιακά με αποτέλεσμα την ευρεία κατανάλωσή τους παγκοσμίως. Τα πολλαπλά τους χαρακτηριστικά, τους προσδίδουν ποικιλομορφία και πολυπλοκότητα και τα καθιστούν κατάλληλα για χρήση σε διάφορα διατροφικά προϊόντα (Hasenhuettl GL and Hartel RW, 2019).

Προκειμένου να σχηματιστεί ένα γαλάκτωμα θα πρέπει η ενέργεια που προσφέρεται στο σύστημα να ξεπερνά την αντίσταση που προκύπτει από τη διεπιφανειακή τάση των συστατικών. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω βίαιης ανατάραξης των φάσεων ελαίου και νερού και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται απαιτούν είτε υψηλά είτε χαμηλά επίπεδα ενέργειας. Στην πρώτη περίπτωση η εφαρμογή υψηλής μηχανικής ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα την ανάμιξη των δύο φάσεων και το σχηματισμό μικροσκοπικών σταγονιδίων ελαίου. Στη δεύτερη περίπτωση, οι μέθοδοι χαμηλής ενέργειας βασίζονται στον αυθόρμητο σχηματισμό του μικρού μεγέθους των σταγονιδίων από αλλαγές στο περιβάλλον ή στις συνθήκες του διαλύματος (McClements D.J., 2016).

Στη βιομηχανία τροφίμων υπάρχουν τρεις κατηγορίες επιφανειοδραστικών μορίων: ιονικά, μη ιονικά, και διπολικά, ανάλογα με τα ηλεκτρικά τους χαρακτηριστικά (McClements D.J., 2005). Οι ιοντικές επιφανειοδραστικές ουσίες είναι συνήθως αρνητικά φορτισμένες, παρολαυτά υπάρχουν και θετικά φορτισμένες (π.χ. λαυρικό οξύ). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σχηματισμό γαλακτωμάτων με μεθόδους είτε χαμηλής, είτε υψηλής ενέργειας με τη χρήση των τελευταίων να είναι περιορισμένη, εξαιτίας του ερεθιστικού τους αποτελέσματος (McClements and Rao, 2011). Τα μη ιονικά επιφανειοδραστικά μόρια σχηματίζουν εύκολα γαλακτώματα με μεθόδους υψηλής αλλά και χαμηλής ενέργειας και για

το αυτό λόγο είναι ευρέως χρησιμοποιούμενα, καθώς δεν είναι τοξικά, ούτε ερεθιστικά για το δέρμα (McClements and Rao, 2011). Ένα παράδειγμα μη ιονικού επιφανειοδραστικού μορίου είναι το Tween 80, το οποίο είναι άοσμο και άγευστο και χρησιμοποιείται ως γαλακτωματοποιητής σε τρόφιμα και σε καλλυντικά. Σχηματίζεται από πολυαιθοξυλιωμένη σορβιτάλη και ελαϊκό οξύ, το οποίο είναι βασικό συστατικό του ελαιόλαδου. Τέλος, οι διπολικές επιφανειοδραστικές ουσίες μπορεί να φέρουν δύο ή περισσότερες αντίθετα φορτισμένες ομάδες στο ίδιο μόριο, κάτι που σημαίνει ότι μπορεί να έχουν αρνητικό, θετικό ή ουδέτερο φορτίο, ανάλογα με το pH του διαλύματος. Ένα παράδειγμα τέτοιων διπολικών μορίων είναι τα φωσφολιπίδια, γεγονός που επιτρέπει τη χρήση τους στα τρόφιμα (McClements and Rao, 2011).

Στη βιομηχανία τροφίμων, οι σημαντικότεροι τύποι φυσικών γαλακτωματοποιητών είναι τα φωσφολιπίδια, οι πρωτεΐνες και οι πολυσακχαρίτες. Τα φωσφολιπίδια είναι αμφίφιλα μόρια που βρίσκονται σε όλους τους ζωντανούς οργανισμούς ως βασικά συστατικά των κυτταρικών μεμβρανών (Ozturk B. and McClements D.J., 2016). Πρόκειται για επιφανειακά ενεργά μόρια, τα οποία αποτελούνται από ένα υδρόφοβο τμήμα λιπαρού οξέος και ένα υδρόφιλο τμήμα που περιέχει φωσφορικό οξύ εστεροποιημένο με γλυκερόλη (Dammak I. and Sobral P.J.A., 2018). Επιπλέον, οι πρωτεΐνες έχουν την ικανότητα προσρόφησης στην επιφάνεια των σταγονιδίων ελαίου και προσφέρουν προστασία από τη συσσώρευση (McClements D.J., 2015). Στην πρωτοταγή της δομή η πρωτεΐνη αποτελείται από μία αλυσίδα με περιοχές υδρόφιλων αλλά και υδρόφοβων πεπτιδίων. Ανάλογα με τον αριθμό των υδρόφοβων περιοχών που περιέχονται σε μία πρωτεΐνη, αυτές παίρνουν και διαφορετικές διαμορφώσεις, επομένως έχουν και διαφορετικές διεπιφανειακές ιδιότητες (Ozturk B. and McClements D.J., 2016).

Γενικά, οι πολυσακχαρίτες χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενός συνεχούς δικτύου στην υδατική φάση του διαλύματος, το οποίο παρέχει σταθεροποίηση των γαλακτωμάτων (McClements D.J., 2015). Ορισμένοι πολυσακχαρίτες χαρακτηρίζονται ως επιφανειοδραστικά μόρια λόγω της παρουσίας υδρόφοβων ομάδων που συνδέονται στην υδρόφιλη ραχοκοκαλιά τους (Wang B. et al., 2018). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα πολυσακχαρίτη που χρησιμοποιείται ως γαλακτωματοποιητής είναι το αραβικό κόμμι, το οποίο προέρχεται από το είδος ακακίας *Acacia senegal*, που ευδοκιμεί στην Αφρική. Παρόλα αυτά, το βασικό μειονέκτημα στη χρήση του είναι ότι χρειάζεται να παρέχεται σε υψηλή

συγκέντρωση (>5% w/w) προκειμένου να επιτευχθεί η σταθεροποίηση ενός γαλακτώματος. Υπάρχουν κάποιες περιπτώσεις πολυσακχαριτών οι οποίοι γίνονται επιφανειακά ενεργοί με την προσθήκη υδρόφοβων ομάδων στον σκελετό τους με χημική ή ενζυματική διεργασία, όμως αυτοί οι γαλακτωματοποιητές δεν θεωρούνται φυσικοί. Τέτοια παραδείγματα γαλακτωματοποιητών είναι το τροποποιημένο άμυλο και τα σύμπλοκα υδατανθράκων με πρωτεΐνες (Abbas S. et al., 2014; Yang et al., 2015).



Εικόνα 4: Αραβικό κόμμι. Προσαρμογή εικόνας από <https://ti-einai.gr/araviko-kommi/>.

2.2 Λειτουργίες των γαλακτωματοποιητών

Οι γαλακτωματοποιητές έχουν την ιδιότητα να φέρουν τόσο μια υδρόφιλη πολική κεφαλή όσο και μια υδρόφοβη μη πολική ουρά, γεγονός που τους καθιστά ικανούς να έλκονται από πολικές αλλά και μη πολικές ενώσεις. Στα γαλακτώματα, οι γαλακτωματοποιητές περικλείουν την σταγόνα ελαίου γεγονός που οφείλεται στην έκταση των μη πολικών ουρών τους μέσα στο έλαιο, το οποίο βρίσκεται στην εξωτερική φάση, και την στροφή των πολικών κεφαλών τους προς το νερό. Ο προσανατολισμός αυτός οδηγεί σε μείωση της επιφανειακής τάσης μεταξύ των δύο φάσεων ελαίου και νερού και στην επακόλουθη σταθεροποίησή τους μέσω της αποτροπής συσσωμάτωσής τους.

Οι γαλακτωματοποιητές χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες βάσει του φορτίου που φέρει η κεφαλή τους: κατιονικοί με θετικό φορτίο στην πολική κεφαλή, ανιονικοί με αρνητικό φορτίο στην πολική κεφαλή και μη ιονικοί χωρίς κανένα φορτίο. Εάν οι γαλακτωματοποιητές

είναι φορτισμένοι θετικά ή αρνητικά με το φορτίο αυτό να εκτείνεται στην εξωτερική επιφάνεια του σταγονιδίου ελαίου, τότε τα σταγονίδια απωθούνται και με τον τρόπο αυτό δεν συσσωματώνονται αλλά διαχωρίζονται. Οι κατιονικοί γαλακτωματοποιητές βρίσκουν εφαρμογή σε διαλύματα χαμηλού (όξινα διαλύματα) ή ουδέτερου pH, ενώ οι ανιονικοί χρησιμοποιούνται σε διαλύματα με pH άνω του 7 (αλκαλικά). Στην περίπτωση των μη ιονικών γαλακτωματοποιητών υπάρχουν ογκώδεις ομάδες στην κεφαλή τους, γεγονός που παρεμποδίζει τη συνένωσή τους (Barfod N.M. and Spars F.V., 2007).

2.3 Κριτήρια επιλογής κατάλληλου γαλακτωματοποιητή

Η επιστημονική κοινότητα έχει θεσπίσει ορισμένα κριτήρια προκειμένου να μπορέσει να επιλεγεί ο κατάλληλος γαλακτωματοποιητής, τα οποία περιλαμβάνουν τα εξής μεγέθη:

2.3.1 Η κρίσιμη παράμετρος συσκευασίας (Critical Packing Parameter-CPP)

Η παράμετρος αυτή χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά το 1983 από τους Tanford, Israelachvili, Mitchell and Ninham και ακολουθεί τον τύπο $P = V/A \cdot I$, όπου με V συμβολίζεται ο όγκος της υδρόφοβης αλυσίδας, με I το μήκος της και με A η ελάχιστη επιφάνεια του υδρόφοβου πυρήνα. Συγκεκριμένα, προκειμένου να γίνει κατανοητός ο τύπος, αναφέρουμε ότι τα μόρια του γαλακτωματοποιητή καταλαμβάνουν κωνικό σχήμα με την τοποθέτηση των βάσεων τους προς την εξωτερική επιφάνεια του μικκυλίου που προκύπτει, με την κορυφή να πραγματοποιεί στροφή προς τα μέσα. Ως ελάχιστη επιφάνεια του υδρόφοβου πυρήνα ορίζεται η επιφάνεια του μικκυλίου που καταλαμβάνεται από το μόριο της ουσίας (Sheng, 2011). Η συμμετρία και το σχήμα του γαλακτωματοποιητή εξαρτάται από τις τιμές του παράγοντα P , με τιμές $CPP \sim 1$ να ορίζουν κυλινδρικό σχήμα. Σε περίπτωση που $CPP < 1/3$ τότε σημαίνει ότι υπάρχει μία πολύ μεγάλη κεφαλή με αρκετά μικρό όγκο. Αν όμως $1/3 < CPP < 1/2$ τότε το σχήμα που δημιουργείται είναι εξάγωνο. Τέλος, στην περίπτωση της παρουσίας μίας ογκώδους ουράς και μίας μικρής κεφαλής στο μόριο, τότε η τιμή $CPP > 1$ και το σύστημα οδηγείται στο σχηματισμό μικκυλίων.

2.3.2 Hydrophilic-Lipophilic Balance (HLB)

Το σύστημα HLB υπάρχει από το 1954 και αναφέρεται κυρίως σε μη ιονικούς γαλακτωματοποιητές. Δεν λαμβάνοντα υπόψη οι συνθήκες του συστήματος, ενώ η τιμή του εξαρτάται μόνο από την επιφανειοδραστική ουσία. Σε ένα ιδανικό γαλάκτωμα ο γαλακτωματοποιητής εδράζεται ανάμεσα στις δύο φάσεις του ελαίου και του νερού. Σε περίπτωση που αυτή η ισορροπία διαταραχθεί, ο γαλακτωματοποιητής μπορεί τελικά να έλκεται λιγότερο από τη μία από τις δύο φάσεις (έλαιο ή νερό) και τότε το γαλάκτωμα θα καταρρεύσει και ο γαλακτωματοποιητής θα διαλυθεί στην αντίθετη φάση. Η τιμή HLB είναι ενδεικτική της έλξης του γαλακτωματοποιητή από την κάθε φάση και λαμβάνει τιμές από το 0 έως το 20 με το 10 να χαρακτηρίζει έναν γαλακτωματοποιητή που έλκεται εξίσου και από τις δύο φάσεις του γαλακτώματος. Υπάρχουν δύο τύποι γαλακτωμάτων: 1) τα o/w τα οποία είναι τύπου λάδι σε νερό, με τα αόρατα σταγονίδια του ελαίου να διασκορπίζονται μέσα στο νερό και 2) τα w/o τα οποία είναι τύπου νερό σε λάδι, όπου τα αόρατα σταγονίδια του νερού διασκορπίζονται ομοιόμορφα μέσα σε έλαιο. Γαλακτωματοποιητές με τιμές $HLB > 10$ σταθεροποιούν καλύτερα τα γαλακτώματα o/w, καθώς είναι υδρόφιλα, ενώ αντίθετα, στα γαλακτώματα w/o προστίθενται υδρόφοβοι γαλακτωματοποιητές με τιμές $HLB < 10$. Αξίζει να σημειωθεί ότι η επιλογή του γαλακτωματοποιητή με την κατάλληλη τιμή HLB εξαρτάται από το έλαιο και η σταθερότητα του γαλακτώματος αυξάνεται όταν υπάρχει αντιστοιχία στις τιμές HLB του γαλακτωματοποιητή και του ελαίου.

2.3.3 Hydrophilic-Lipophilic Difference (HLD)

Δύο δεκαετίες αργότερα, το 1970, ο Salager εισήγαγε ένα νέο σύστημα υδρόφιλης-λιπόφιλης διαφοράς (Hydrophilic-Lipophilic Difference - HLD), το οποίο εφαρμόζεται σε ιοντικούς αλλά και σε μη ιονικούς γαλακτωματοποιητές, σύμφωνα με τα διάφορα χαρακτηριστικά των γαλακτωμάτων, όπως είναι η αλατότητα, ο τύπος του ελαίου, η συγκέντρωση και η θερμοκρασία. Η εξίσωση που ακολουθείται είναι η:

$$HLD = f(S) - k(EACN) - f(A) + \sigma - aT (\Delta T), \text{ όπου:}$$

S = η αλατότητα σε % w/w υδατικού διαλύματος NaCl. Γενικά, όσο αυξάνεται η αλατότητα, αυξάνεται και το HLD.

k = μια σταθερά που εξαρτάται από τον τύπο της ομάδα κεφαλής της επιφανειοδραστικής ουσίας, λαμβάνοντας τιμές από 0,15 έως 0,17.

EACN = Πρόκειται για τον ισοδύναμο αριθμό ανθράκων αλκανίου (Equivalent Alkane Carbon Number). Στην πραγματικότητα πρόκειται για τον αριθμό των ατόμων άνθρακα ενός αλκανίου το οποίο έχει παρόμοια συμπεριφορά με το έλαιο που χρησιμοποιείται στο γαλάκτωμα. Αποτελεί δείκτη του μεγέθους του υδρόφοβου τμήματος της επιφανειοδραστικής ουσίας. Όσο το EACN αυξάνεται, τόσο το HLD μειώνεται.

$f(A)$ = Είναι μία εμπειρική τιμή που προσδιορίζεται από το είδος και τη συγκέντρωση της αλκοόλης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως «συν-επιφανειοδραστική» ουσία

σ ή Cc-Characteristic Curvature = Πρόκειται για μια χαρακτηριστική παράμετρο επιφανειοδραστικής ουσίας, η οποία αποκαλύπτει την τάση ενός γαλακτωματοποιητή να συγκεντρώνεται γύρω από μία σταγόνα ελαίου σε γαλακτώματα o/w (λαμβάνοντας αρνητικές τιμές) ή γύρω από μία σταγόνα νερού σε γαλακτώματα w/o (λαμβάνοντας θετικές τιμές) (Acosta E.J. et al., 2008)

aT = Είναι μία εμπειρική σταθερά θερμοκρασίας, η οποία εξαρτάται από το γαλάκτωμα το σύστημα του γαλακτώματος.

T = Ορίζεται η διαφορά της θερμοκρασίας του συστήματος, από τη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$).

Ένας ιδανικός γαλακτωματοποιητής έχει τιμή HLD ίση με 0, μία τιμή που μπορεί να προσεγγιστεί μέσω τροποποίησης κάποιας/ων από τις παραμέτρους της εξίσωσης (πχ αλατότητα, θερμοκρασία κλπ) (Witthayapanyanon et al., 2008).

2.3.4 Critical Micelle Concentration (CMC)

Ο σχηματισμός των μικκυλίων εξαρτάται από την ισορροπία μεταξύ των μονομερών μορίων του γαλακτωματοποιητή (εμφανίζονται κυρίως σε πολύ αραιά διαλύματα) και των παραγόμενων μικκυλιακών σχηματισμών. Η αύξηση της συγκέντρωσής τους πάνω από ένα όριο που ονομάζεται κρίσιμη συγκέντρωση μικκυλίων (CMC), έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση των γαλακτωματοποιητών και το σχηματισμό μικκυλίων. Ο σχηματισμός

σφαιρικών μικκυλίων σε ιοντικούς γαλακτωματοποιητές συνοδεύεται από τιμή CMC έως το 10.

2.3.5 Θερμοκρασία Krafft

Πρόκειται για την ελάχιστη θερμοκρασία στην οποία δημιουργούνται μικκύλια από τις επιφανειοδραστικές ουσίες, η οποία καλείται και κρίσιμη θερμοκρασία μικκυλίων. Υπάρχει συσχέτιση της θερμοκρασίας Krafft με το CMC, καθώς κάτω από αυτή τη θερμοκρασία γίνεται διαχωρισμός της συνεχούς φάσης λόγω μείωσης της διαλυτότητας της επιφανειοδραστικής ουσίας και έτσι δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί ο σχηματισμός μικκυλίων (Sheng et al., 2011)

2.3.6 Σημείο νέφωσης (Cloud point)

Γίνεται αναφορά στη θερμοκρασία στην οποία εμφανίζεται διαχωρισμός των φάσεων, επομένως το σύστημα θολώνει. Η διαλυτότητα των αλυσίδων πολυοξαιθυλενίου που περιέχονται στις μη ιοντικές επιφανειοδραστικές ουσίες μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας δημιουργώντας έτσι μία «θολή» υφής. Η άνοδος της θερμοκρασίας προκαλεί διάσπαση των δεσμών υδρογόνου λόγω της υδρόφιλης ομάδας του επιφανειοδραστικού παράγοντα, επομένως γίνεται διαχωρισμός των μορίων του και το διάλυμα θολώνει (Carek I., 2019).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΝΑΝΟΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ

Οι κύριες μέθοδοι παρασκευής νανογαλακτωμάτων περιλαμβάνουν τις προσεγγίσεις υψηλής ενέργειας (high energy approaches) και τις προσεγγίσεις χαμηλής ενέργειας (low energy approaches). Στην πρώτη περίπτωση, η οποία είναι και η πιο διαδεδομένη τη βιομηχανία τροφίμων, χρησιμοποιούνται ομογενοποιητές προκειμένου να αναταράξουν την ελαιώδη και την υδατική φάση δημιουργώντας μικροσκοπικά σταγονίδια ελαίου, προκειμένου να αναμιχθούν οι δύο φάσεις. Αντίθετα, στην περίπτωση μεθόδων χαμηλής ενέργειας λαμβάνει χώρα ο αυθόρμητος σχηματισμός μικροσκοπικών σταγονιδίων όταν οι περιβαλλοντικές συνθήκες ή οι συνθήκες στο διάλυμα μεταβάλλονται (McClements & Rao, 2011).

3.1. Μέθοδοι υψηλής ενέργειας

Στην περίπτωση εφαρμογής μεθόδων υψηλής ενέργειας το μέγεθος των σωματιδίων που προκύπτει εξαρτάται από την διαταραχή και τη συνένωση των σταγονιδίων. Προκειμένου να σχηματιστούν τα νανογαλακτώματα είναι απαραίτητος ο σχηματισμός μικροσκοπικών σταγονιδίων με τη χρήση μόνο ομογενοποιητών που έχουν την ικανότητα να εφαρμόσουν τις κατάλληλες δυνάμεις για την διάσπαση των σταγονιδίων, οι οποίες και θα πρέπει να είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις συγκράτησης των σταγονιδίων που καθορίζονται από την πίεση Laplace: $\Delta P = \gamma / 2r$ (όπου γ η διεπιφανειακή τάση και r η ακτίνα της σταγόνας).

Το μέγεθος σταγονιδίων που μπορεί να προκύψει από μια συσκευή υψηλής ενέργειας εξαρτάται από μία σειρά παραγόντων μεταξύ των οποίων ο σχεδιασμός του ομογενοποιητή και οι συνθήκες στις οποίες λειτουργεί, οι συνθήκες του περιβάλλοντος, τα συστατικά του δείγματος, και οι φυσικοχημικές ιδιότητες που έχουν τα συστατικά της ελαιώδους και της υδατικής φάσης. Συγκεκριμένα, φαίνεται πως το μέγεθος των σωματιδίων μειώνεται σε περιπτώσεις όπου εφαρμόζεται ενέργεια μεγάλης έντασης και διάρκειας ή όταν ο ρυθμός κατά τον οποίο προσροφάται ο γαλακτωματοποιητής αυξάνεται. Επίσης, το χαμηλό ιξώδες και η μικρή διεπιφανειακή τάση της ελαιώδους φάσης οδηγούν στην παραγωγή πολύ μικρών σταγονιδίων. Οι μέθοδοι υψηλής ενέργειας χρησιμοποιούνται για πολλά διαφορετικά έλαια

και γαλακτωματοποιητές, επομένως χρησιμεύουν ιδιαιτέρως στην παραγωγή νανογαλακτωμάτων στον τομέα των τροφίμων (McClements & Rao, 2011).

3.2 Μέθοδοι χαμηλής ενέργειας

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, ο σχηματισμός γαλακτωμάτων με μεθόδους χαμηλής ενέργειας προκύπτει από τον αυθόρμητο σχηματισμό σταγονιδίων ελαίου κατά τη μεταβολή είτε της σύνθεσης των μιγμάτων είτε των περιβαλλοντικών συνθηκών. Με αυτές τις μεθόδους μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία μικρότερη ποικιλία τύπων ελαίων και γαλακτωματοποιητών, αλλά η παραγωγή μικρών σταγονιδίων είναι πιο αποτελεσματική σε σχέση με τις μεθόδους υψηλής ενέργειας, περιορίζοντας έτσι τη χρήση τους στον τομέα των τροφίμων (McClements & Rao, 2011).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ

4.1 Οπτική μικροσκοπία

Τα οπτικά μικροσκόπια είναι τα μικροσκόπια που χρησιμοποιούν το ορατό φως και ένα σύστημα φακών για την παρατήρηση των επιθυμητών δειγμάτων μέσω μεγέθυνσής τους. Αυτά ταξινομούνται σε μικροσκόπια φωτεινού πεδίου, σκοτεινού πεδίου και αντίθεσης φάσεως. Το οπτικό σύστημα του μικροσκοπίου αποτελείται από δύο συγκλίνοντα ομοαξονικά συστήματα φακών, τον προσοφθάλμιο και τον αντικειμενικό. Η πρώτη μεγέθυνση του δείγματος οφείλεται στον αντικειμενικό φακό και η δεύτερη μεγέθυνση γίνεται από τον προσοφθάλμιο.

4.2 Σκέδαση Φωτός

Όταν μία δέσμη φωτός προσπίπτει σε ένα διάλυμα, ένα μέρος της ακτινοβολίας διέρχεται μέσα από αυτό, ενώ το υπόλοιπο σκεδάζεται προς πάσα κατεύθυνση. Τα ηλεκτρόνια του δείγματος αλληλοεπιδρούν με τα σωματίδια της προσπίπτουσας δέσμης φωτός, αυτά διεγείρονται και εκπέμπουν δευτερογενώς ακτινοβολία προς όλες τις κατευθύνσεις (σκέδαση). Οι τεχνικές σκέδασης φωτός διακρίνονται σε στατική σκέδαση φωτός, δυναμική σκέδαση φωτός και ηλεκτροφορητική σκέδαση φωτός.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΈΛΑΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ

5.1 Ελαιόλαδο

Ως ελαιόλαδο ορίζεται το έλαιο που προκύπτει από τους καρπούς της ελιάς (*Olea europaea* L.), αλλά όχι κάθε άλλο έλαιο που προκύπτει ύστερα από χρήση διαλυτών ή μεθόδων επανεστεροποίησης ή οποιοδήποτε μίγμα με έλαια άλλων ειδών (Codex Alimentarius, 2013). Το ελαιόλαδο αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της μεσογειακής διατροφής, τόσο λόγω της ευχάριστης γεύσης του, όσο και λόγω των ωφέλιμων χαρακτηριστικών του τα οποία προκύπτουν από τη χημική του σύνθεση (Gunstone F.D. and Harwood J.L., 2007). Η κατάταξη του ελαιόλαδου ως ανώτερο από άλλα φυτικά έλαια οφείλεται στα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά, καθώς και το γεγονός ότι μπορεί να καταναλωθεί ανεπεξέργαστο (Boskou D., 1996). Διακρίνονται τρεις κύριες κατηγορίες ελαιολάδου: α) Το εξαιρετικό παρθένο ελαιόλαδο, με βαθμό οξύτητας, εκφρασμένος σε ελαϊκό οξύ που δεν υπερβαίνει το 0,8% (0,8 g/100 g), β) Το παρθένο ελαιόλαδο, το οποίο παράγεται αποκλειστικά σε συνθήκες που δεν προκαλούν καμία αλλοίωση, με μηχανικά ή άλλα φυσικά μέσα, με βαθμό οξύτητας, εκφρασμένη σε ελαϊκό οξύ έως 2% (2,0 g/100 g) και γ) Το εξευγενισμένο πυρηνέλαιο, το οποίο προκύπτει από ακατέργαστο πυρηνέλαιο με εκχύλιση των ελαιοπυρήνων και καθίσταται βρώσιμο με μεθόδους εξευγενισμού. Ο επιτρεπόμενος βαθμός οξύτητας, εκφρασμένος σε ελαϊκό οξύ, δεν μπορεί να ξεπερνά το 0,3% (0,3 g/100 g) (Codex Alimentarius 2013).

5.2 Αραβοσιτέλαιο

Το αραβοσιτέλαιο, το οποίο αλλιώς είναι γνωστό και ως καλαμποκέλαιο, είναι ένα φυτικό έλαιο που προέρχεται από σύνθλιψη των κόκκων του καλαμποκιού. Είναι οικονομικότερο από το ελαιόλαδο και τα υπόλοιπα φυτικά έλαια και βρίσκει εφαρμογές κυρίως στη μαγειρική και στις μαργαρίνες. Άλλες χρήσεις του είναι για την παραγωγή ελαιοχρωμάτων, υφασμάτων, εντομοκτόνων, αλοιφών για το δέρμα, ως φορέας μορίων σε φαρμακευτικά σκευάσματα κλπ. Το καλαμποκέλαιο περιέχει τόσο κορεσμένα (παλμιτικό οξύ,

στεαρικό οξύ και αραχιδικό οξύ), μονοακόρεστα (ολεικό οξύ) όσο και πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (λινολεϊκό οξύ) (Beadle J.B. et al., 1965), βιταμίνη Ε, με αντιφλεγμονώδεις και αντιοξειδωτικές ιδιότητες, και φυτοστερόλες, γνωστές για τις ωφέλιμες ιδιότητές τους στην καρδιακή λειτουργία.

5.3 Σησαμέλαιο

Το σησαμέλαιο είναι ένα φυτικό έλαιο που εξάγεται από τους καρπούς του σουσαμιού, *Sesamum orientale*. Σε κάποιες χώρες χρησιμοποιείται ως μαγειρικό λάδι, ενώ σε άλλες κουζίνες ως ενισχυτικό γεύσης. Επιπλέον, στην Ινδία θεωρείται πως έχει θεραπευτικές δράσεις και έτσι χρησιμοποιείται ως φάρμακο. Είναι ένα από τα αρχαιότερα φυτικά έλαια, όμως σήμερα η παραγωγή του είναι περιορισμένη, καθώς οι διαδικασίες καλλιέργειας και παραγωγής έχουν αρκετές δυσκολίες. Περιέχει 15% κορεσμένα λιπαρά και ίσες ποσότητες μονοακόρεστων και πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (Kheirati R.S. et al., 2021).

5.4 Ηλιέλαιο

Το φυτικό αυτό έλαιο προέρχεται από τους σπόρους του φυτού Ηλιάνθος (*Helianthus annuus*), το οποίο υφίσταται κατάλληλη επεξεργασία προκειμένου να μπορέσει να καταναλωθεί από τον άνθρωπο. Το τελικό προϊόν που προκύπτει είναι διαυγές, με ανοιχτό κίτρινο χρώμα και ελαφρά γεύση, ενώ ταυτόχρονα είναι πλούσιο σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα. Παράγεται παγκοσμίως με τους μεγαλύτερους παραγωγούς να είναι η Ουκρανία, η Ρωσία και η Αργεντινή. Βρίσκει χρήσεις στη μαγειρική με την κατανάλωσή του στις σαλάτες σε ωμή μορφή, ενώ χρησιμοποιείται και για την παραγωγή μαγιονέζας και μαργαρίνης. Άλλες εφαρμογές του περιλαμβάνουν την παραγωγή χρωμάτων, πλαστικών, σαπουνιών, αλλά χρησιμοποιείται και ως καύσιμο βιοντίζελ. Περιέχει παλμιτικό οξύ, στεαρικό οξύ, ολεϊκό οξύ, λινολεϊκό οξύ, λεκιθίνη, βιταμίνη Ε και καροτενοειδή (Rabail R. et al., 2021).

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η σταθερότητα γαλακτωμάτων με την πάροδο του χρόνου. Τα γαλακτώματα που μελετήθηκαν παρήχθησαν με τη χρήση τριών διαφορετικών φυτικών ελαίων (ελαιόλαδο οξύτητας 0,35, ελαιόλαδο οξύτητας 0,55 και αραβοσιτέλαιο). Για τα γαλακτώματα μετρήθηκε το δυναμικό ζ το οποίο είναι ένα υδροδυναμικό μέγεθος ανάλογο της έντασης της συλλογής/συσσωμάτωσης σωματιδίων που μετράται με τη μέθοδο της δυναμικής σκέδασης φωτός (Dynamic Light Scattering-DLS). Στην ουσία δηλαδή είναι ένα μέγεθος που προσδιορίζει το σχηματισμό συσσωματωμάτων/μικκυλίων σε ένα γαλάκτωμα.

Επίσης, προσδιορίστηκε η μέση διάμετρος d , η οποία είναι η μέση τιμή της διαμέτρου των σωματιδίων του ελαίου σε κάθε γαλάκτωμα. Η τιμή της διαμέτρου μετρήθηκε επίσης με την τεχνική DLS. Για την παρασκευή των γαλακτωμάτων με τα διάφορα έλαια χρησιμοποιήθηκε ο γαλακτωματοποιητής Tween-80 σε διάφορες συγκεντρώσεις (1%, 1,5% και 2%). Τέλος, προσδιορίστηκαν και οι αγωγιμότητες των διαφορετικών γαλακτωμάτων, καθώς ο σχηματισμός συσσωματωμάτων/μικκυλίων επηρεάζει την αγωγιμότητα.

ΥΛΙΚΑ:

ΕΛΑΙΩΔΗΣ ΦΑΣΗ:

1. Ελαιόλαδο οξύτητας 0,35
2. Ελαιόλαδο οξύτητας 0,55
3. Αραβοσιτέλαιο

ΕΠΙΦΑΝΕΙΟΔΡΑΣΤΙΚΗ ΟΥΣΙΑ:

1. Πολυσορβικό 80 (polysorbate 80)

ΥΔΑΤΙΚΗ ΦΑΣΗ:

1. Υπερκάθαρο νερό

ΣΚΕΥΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ:

1. Ποτήρι ζέσεως 50mL και 500mL
2. Ογκομετρικός κύλινδρος 50mL

3. Ογκομετρική φιάλη με πώμα 200mL
4. Κωνική φιάλη των 200 mL
5. Ηλεκτρονική πιπέτα 1,5mL
6. Ηλεκτρονική πιπέτα 1.5mL
7. Κυψελίδες
8. Ταινία Parafilm
9. Γυάλινη πιπέτα Paster
10. Γάντια latex

ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ:

1. Απλό θερμόμετρο
2. Ομογενοποιητής APV 1000
3. Μετρητής μεγέθους σταγονιδίων (nm) και ζ-δυναμικού (zetasizer nano) της Malvern.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικοί τύποι ελαίων: ελαιόλαδο οξύτητας 0,35, ελαιόλαδο οξύτητας 0,55 και αραβοσιτέλαιο. Ως επιφανειοδραστική ουσία χρησιμοποιήθηκε το Tween 80 (πολυσορβικό 80), το οποίο προστέθηκε σε τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις (1%, 1,5% και 2%).

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

- Σε ογκομετρικό κύλινδρο τοποθετούνταν 20mL ελαίου. (BHMA 1)
- Το έλαιο ποσότητας 20mL μεταφέρονταν σε ογκομετρική φιάλη συνολικής χωρητικότητας 200mL. (BHMA 2)
- Με ηλεκτρονική πιπέτα μεταφέρονται 2mL επιφανειοδραστικής ουσίας Tween 80 στην ογκομετρική φιάλη από το BHMA 2.
- Στο διάλυμα αυτό που έχει δημιουργηθεί προστίθενται περίπου 20-30mL υπερκάθαρο νερό ώστε να γίνει διαλυτοποίηση του Tween 80.
- Το μίγμα αναδέυεται με σχετικά γρήγορο ρυθμό ώστε να γίνει ένα χρυσοπράσινο χρώμα και στη συνέχεια προστίθεται απιονισμένο νερό μέχρι την χαραγή.

- Λόγω του Tween 80 δημιουργήθηκε ένα στρώμα αφρού. Για τον λόγο αυτόν το διάλυμα παρέμεινε για κάποιο χρονικό διάστημα ώστε να γίνει καθίζηση του αφρού, συμπληρώνονταν επιπλέον νερό ένα χρειάζοταν και στη συνέχεια μεταφέρονταν στον ομογενοποιητή.

Συνολικά στην ογκομετρική φιάλη υπάρχουν:

- ✓ 20mL έλαιο
- ✓ 2mL Tween 80
- ✓ 178mL υπερκάθαρο νερό

Στην συνέχεια, το δείγμα που είχε δημιουργηθεί τοποθετούνταν στην είσοδο υποδοχής του ομογενοποιητή και το μηχάνημα τίθονταν σε λειτουργία. Η διαδικασία της ομογενοποίησης γινόταν περίπου στα 700 bar.

Στο ακροφύσιο του ομογενοποιητή τοποθετούνταν μία κωνική φιάλη στενού στόματος ώστε να εξέρχεται και να συλλέγεται το σχηματισθέν γαλάκτωμα, και με την μέθοδο «μπεν-μαρί» τοποθέτηθηκε ποτήρι ζέσεως μεγαλύτερης ποσότητας με υπερκάθαρο νερό ώστε το δείγμα που εξέρχεται να πέφτει η θερμοκρασία του.

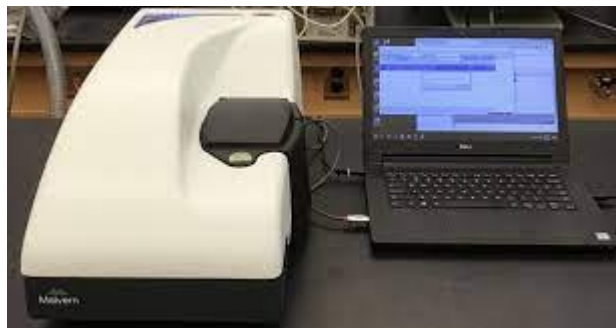
Αυτή η διαδικασία επαναλήφθηκε πέντε φορές ώστε να μην παρατηρηθεί κάποια διαφορά φάσης μεταξύ των δύο υγρών.

Η παραπάνω διαδικασία ακολουθήθηκε για την παρασκευή όλων των γαλακτωμάτων.

Πίνακας 1: Σύσταση των διαφορετικών γαλακτωμάτων για όλους τους τύπους ελαίου και τις διαφορετικές συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας.

Συστατικό	Ποσότητα (ml)		
	Νερό	179	178.5
Tween 80	1	1.5	2
Έλαιο	20	20	20

Για τον υπολογισμό της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Dynamic light scattering (DLS, δυναμική σκέδαση του φωτός) με την βοήθεια του οργάνου Zetasizer Nano-ZS.



Εικόνα 3: Όργανο Zetasizer Nano-ZS. (εικόνα από Google)

Η σημασία «προσδιορισμός μεγέθους», σημαίνει ο υπολογισμός της υδροδυναμικής διαμέτρου των σωματιδίων. Ακολουθούν τα βήματα:

- Το διάλυμα του γαλακτώματος τοποθετήθηκε σε ειδική κυψελίδα.
- Ως δείκτης διάθλασης (Refractive Index, RI) ρυθμίστηκε στο όργανο ο δείκτης διάθλασης του καθαρού νερού (1,33).
- Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στους 25 βαθμούς κελσίου.
- Σε κάθε δείγμα λήφθηκαν 3 μετρήσεις και καταγράφηκαν μέσες τιμές του μεγέθους των σωματιδίων (size, d -average) και του δείκτη πολυδιασποράς (PDI, Polydispersity index).

Η μέθοδος Ηλεκτροφορητικής Σκέδασης του Φωτός (Electrophoretic Light Scattering, ELS), χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του ζ-δυναμικού των σωματιδίων στα γαλακτώματα που παρασκευάστηκαν. Οι μετρήσεις λήφθηκαν με το όργανο Zetasizer.

Η διαδικασία ήταν η εξής:

- Το διάλυμα του γαλακτώματος τοποθετήθηκε σε ειδική κυψελίδα.
- Ο δείκτης διάθλασης (Refractive Index, RI) χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης διάθλασης του καθαρού νερού.
- Για κάθε δείγμα λήφθηκε 1 μετρήση.
- Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στους 25 βαθμούς κελσίου.

Τα αποτελέσματα της χρήσης του οργάνου zetasizer για το επιφανειακό δυναμικό ζ και τη διάμετρο d ήταν της μορφής που παρουσιάζεται στις εικόνες 4 και 5, αντίστοιχα.

Zeta Potential Report

v2.3



Malvern Instruments Ltd - © Copyright 2008

Sample Details

Sample Name: arabositelaio_1ml_araiosi 1

SOP Name: oil in water zeta.sop

General Notes:

File Name: σχετο νερο.dts
Record Number: 381
Date and Time: 06 June 2022 18:34:24

Dispersant Name: Water
Dispersant RI: 1.330
Viscosity (cP): 0.8872
Dispersant Dielectric Constant: 78.5

System

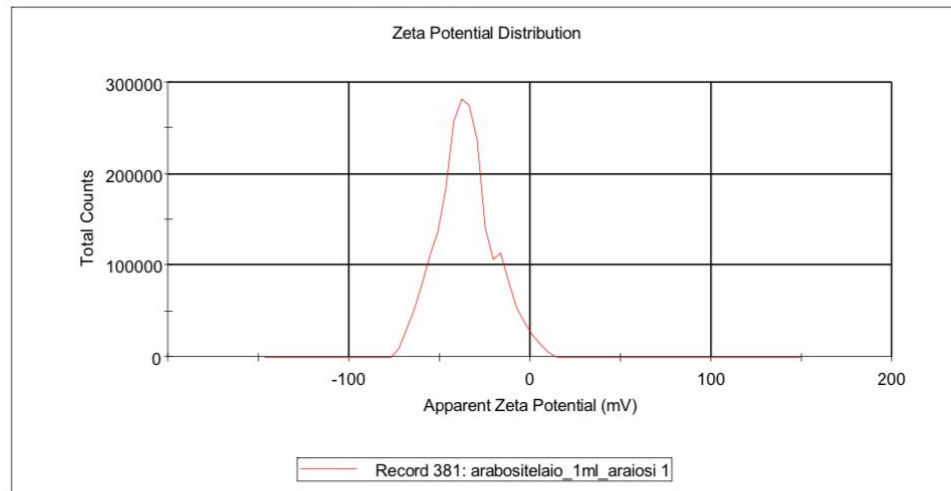
Temperature (°C): 25.0
Count Rate (kcps): 232.1
Cell Description: Clear disposable zeta cell

Zeta Runs: 12
Measurement Position (mm): 2.00
Attenuator: 6

Results

	Mean (mV)	Area (%)	St Dev (mV)
Zeta Potential (mV): -35.3	Peak 1: -39.9	81.2	11.7
Zeta Deviation (mV): 15.6	Peak 2: -12.1	18.8	7.67
Conductivity (mS/cm): 0.0128	Peak 3: 0.00	0.0	0.00

Result quality : See result quality report



Malvern Instruments Ltd
www.malvern.com

Zetasizer Ver. 7.02
Serial Number : MAL1087909

File name: σχετο νερο
Record Number: 381
30 May 2023 15:40:01

Εικόνα 4: Αποτέλεσμα Ανάλυσης επιφανειακού δυναμικού ζ από το όργανο Zetasizer Nano-ZS

Size Distribution Report by Intensity

v2.2



Sample Details

Sample Name: arabositelαιο_1ml_1

SOP Name: oil in water size.sop

General Notes:

File Name:	σχέτο νερο.dts	Dispersant Name:	Water
Record Number:	375	Dispersant RI:	1.330
Material RI:	1.33	Viscosity (cP):	0.8872
Material Absorbtion:	1.000	Measurement Date and Time:	06 June 2022 18:15:14

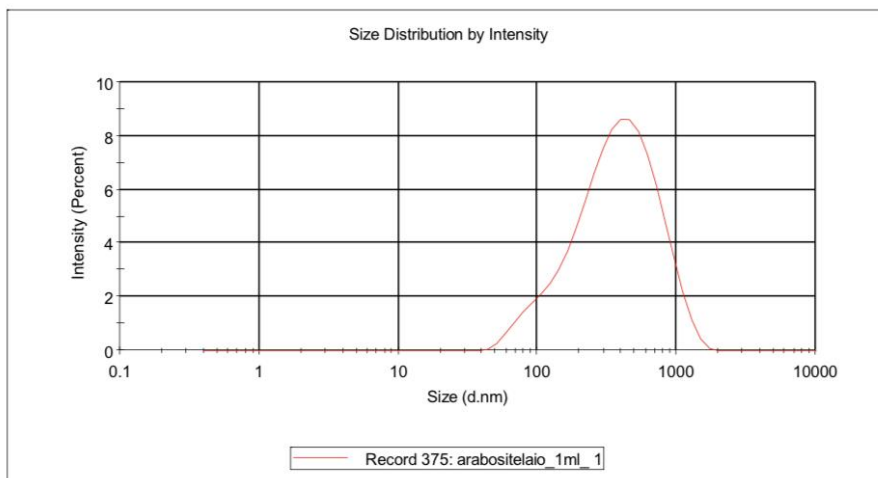
System

Temperature (°C):	25.0	Duration Used (s):	60
Count Rate (kcps):	348.9	Measurement Position (mm):	0.85
Cell Description:	Disposable sizing cuvette	Attenuator:	3

Results

	Size (d.nm):	% Intensity:	St Dev (d.n...)
Z-Average (d.nm): 282.4	Peak 1: 432.8	100.0	274.5
Pdl: 0.348	Peak 2: 0.000	0.0	0.000
Intercept: 0.793	Peak 3: 0.000	0.0	0.000

Result quality : **Good**



Εικόνα 5: Αποτέλεσμα Ανάλυσης μεγέθους από το όργανο Zetasizer Nano-ZS

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΟΔΡΑΣΤΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ ΣΤΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ

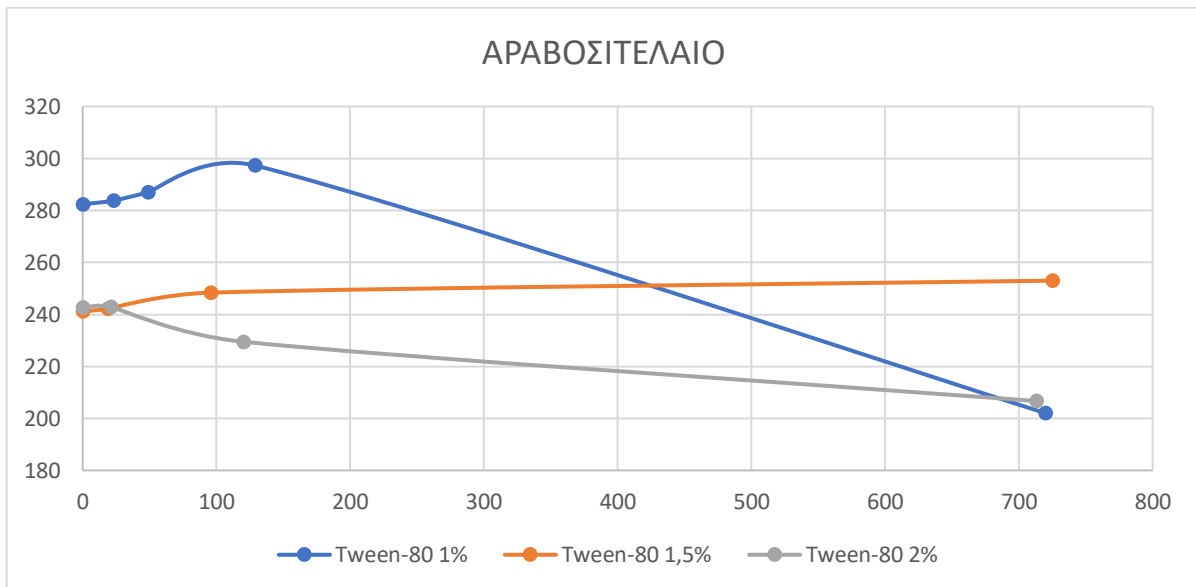
6.1 Αραβοσιτέλαιο

Τα γαλακτώματα τα οποία παρήχθησαν σύμφωνα με τα παραπάνω με βάση το αραβοσιτέλαιο έδωσαν αναφορικά με τη μεταβολή μέσης τιμής διαμέτρου των σωματιδίων με το χρόνο, όπως υπολογίστηκαν με την τεχνική της σκέδασης φωτός DLS, τα αποτελέσματα τα οποία φαίνονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2: Τιμές μέσης τιμής διαμέτρου σταγονιδίων ελαίου (αραβοσιτέλαιο) ανά διάφορα χρονικά διαστήματα στις διαφορετικές συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80.

% Tween-80	Χρόνος (hr)	<i>d</i>-average (nm)
1	0	282,4
	23	283,8
	49	287
	129	297,3
	720	202
1,5	0	241,2
	19	242,2
	96	248,4
	725	253
2	0	242,7
	21	242,9
	120	229,5
	713	206,7

Από τα δεδομένα του πίνακα 2 παράγονται οι γραφικές παραστάσεις που απεικονίζονται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1: Διάγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής της διαμέτρου των σωματιδίων της ελαιώδους φάσης (αραβοσιτέλαιο) σε συνάρτηση με τον χρόνο (ώρες) για τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80 (1%, 1,5% και 2%). Για την μέτρηση του μεγέθους χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή που δίνει το intensity.

Στον πίνακα 3 δίνονται οι τιμές αγωγιμότητας για τα γαλακτώματα του αραβοσιτέλαιου σε διάφορες συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας και για αρχικό χρόνο παρασκευής,

Πίνακας 3: Τιμές αγωγιμότητας αραβοσιτέλαιου με την προσθήκη διαφορετικών συγκεντρώσεων επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80.

ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΕΣ	
ΑΡΑΒΟΣΙΤΕΛΑΙΟ	
1% Tween-80	35,66 $\mu\text{s}/\text{cm}$
1,5% Tween-80	57,58 $\mu\text{s}/\text{cm}$
2% Tween-80	55,67 $\mu\text{s}/\text{cm}$

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται πως στην περίπτωση της προσθήκης 1% Tween-80 στο αραβοσιτέλαιο αρχικά για τις πρώτες 48 ώρες το σύστημα παραμένει σταθερό (μεγέθη 282,4-287 nm). Έπειτα, λαμβάνει χώρα συσσωμάτωση, όπου τα μικρά μεγέθους σωματίδια αλληλοεπιδρούν και δημιουργούν μεγαλομόρια μέχρι τις 129 ώρες (μέγεθος σωματιδίων 297,3 nm). Ταυτόχρονα, τα μεγαλύτερα σε μέγεθος σωματίδια προσροφούν τα μικρότερα (φαινόμενο Ostwald), με αποτέλεσμα την αύξηση του μεγέθους τους, αλλά και του πληθυσμού των σωματιδίων μεγάλου μεγέθους. Από εκείνη τη χρονική στιγμή και μετά, το σύστημα γίνεται ασταθές, τα μεγαλομόρια πιθανότατα διατάσσονται και γίνεται ανίχνευση των μικρότερων σωματιδίων μεγέθους 202 nm στις 720 ώρες.

Στην περίπτωση της προσθήκης Tween-80 σε συγκέντρωση 1,5% υπάρχει μικρός βαθμός συσσωμάτωσης με το πέρας του χρόνου και ο σχηματισμός των μεγαλομορίων φαίνεται να ευνοείται ελαφρά μέχρι το τέλος του πειράματος στις 725 ώρες (μέγεθος 241,2 στην αρχή του πειράματος και 253 nm με το πέρας της διαδικασίας). Το συγκεκριμένο γαλάκτωμα φαίνεται να εμφανίζει μία σχετική σταθερότητα ως προς το χρόνο αναφορικά με το μέγεθος των σχηματιζόμενων σωματιδίων.

Η παρουσία της επιφανειοδραστικής ουσίας σε συγκέντρωση 2% τις πρώτες 21 ώρες διατηρεί το σύστημα σε σταθερότητα (μέγεθος σωματιδίων 242,7-242,9 nm), ενώ μετά υπάρχει σταδιακή αστάθεια των μεγαλομορίων και ανίχνευση των μικρότερων σωματιδίων (μέγεθος 229,5 nm στις 120 ώρες) μέχρι το πέρας του πειράματος (μέγεθος 206,7 nm στις 713 ώρες).

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε πως ενδεχομένως με την αύξηση της προστιθέμενης ποσότητας επιφανειοδραστικής ουσίας αρκετά μόρια αυτής παραμένουν ελεύθερα μέσα στο γαλάκτωμα. Η αυξημένη ελεύθερη ποσότητα του Tween-80 ίσως επιδρά ως συνδετικός κρίκος και δημιουργεί γέφυρες μεταξύ των σωματιδίων με αποτέλεσμα τα σωματίδια ελαίου να συσσωματώνονται μεταξύ τους και να δημιουργούν μεγαλομόρια, τα οποία καθιζάνουν στην κωνική φιάλη λόγω μεγάλου βάρους.

Παρόλα αυτά, στην περίπτωση προσθήκης 1% Tween-80 η ποσότητα αυτή δεν φαίνεται να είναι ικανοποιητική για να κρατήσει το διάλυμα σταθερό. Ωστόσο παρατηρούμε ότι η μεταβολή ανάμεσα στην αρχική και τελική τιμή της διαμέτρου δεν είναι αρκετά σημαντική που σημαίνει ότι το φαινόμενο αυτό λαμβάνει χώρα σε σχετικά μικρή έκταση.

Τέλος, παρατηρούμε ότι στην περίπτωση του αραβοσιτέλαιου η προσθήκη Tween-80 σε περιεκτικότητες μεγαλύτερες του 1% οδηγούν σε αυξημένη αγωγιμότητα. Συγκεκριμένα σε περιεκτικότητα 1% Tween-80 το γαλάκτωμα παρουσιάζει αγωγιμότητα 35,66 $\mu\text{s}/\text{cm}$, ενώ σε ποσοστά 1,5% και 2% η αγωγιμότητα μεταβάλλεται σε 57,58 $\mu\text{s}/\text{cm}$ και 55,67 $\mu\text{s}/\text{cm}$ αντίστοιχα. Η αύξηση της αγωγιμότητας πιθανότατα να οφείλεται στο γεγονός ότι η ποσότητα της επιφανειοδραστικής ουσίας που προστίθεται είναι αρκετά μεγάλη και μέρος αυτής παραμένει ελεύθερη μέσα στο σύστημα. Δεν δεσμεύεται δηλαδή ολόκληρη η ποσότητα από σταγονίδια ελαίου κατά την παραγωγή του γαλακτώματος.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, εκτός από τη μέση διάμετρο των σωματιδίων, μετρήθηκε και το επιφανειακό δυναμικό ζ . Σύμφωνα με τις μετρήσεις αυτές οι τιμές του δυναμικού ζ ήταν της τάξης του -30mV σε όλες τις περιπτώσεις, γεγονός που επίσης δικαιολογεί τη σχετική παρατηρούμενη σταθερότητα των γαλακτωμάτων αραβοσιτέλαιου. Συγκεκριμένα, για tween-80 συγκέντρωσης 1% το δυναμικό ζ μεταβλήθηκε από -35,5 mV σε -30,3 mV κατά τη διάρκεια της μελέτης, ενώ αντίστοιχα για tween-80 συγκέντρωσης 1,5% η μεταβολή ήταν από -34,7 mV σε -22,9 mV και για tween-80 συγκέντρωσης 2% η μεταβολή ήταν από -30,3 mV σε -24,7 mV.

Επιπλέον, μετρήθηκε η τιμή της παραμέτρου *PDI*, η οποία αποτελεί δείκτη της πολυδιασποράς του γαλακτώματος. Στην περίπτωση των νανογαλακτωμάτων, ο παράγοντας αυτός λαμβάνει τιμές από 0,0 έως 1,0. Εάν η τιμή είναι μικρότερη από 0,2, τότε το γαλάκτωμα θεωρείται ως μονοδιασπαρμένο. Σε κάθε περίπτωση όμως, όσο μικρότερη είναι η τιμή του δείκτη *PDI*, τόσο πιο στενή είναι η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων του γαλακτώματος.

Οι τιμές της παραμέτρου *PDI* σε συνάρτηση με το χρόνο για τα γαλακτώματα αραβοσιτέλαιου παρουσιάζονται στον πίνακα 4.

Πίνακας 4: Περιλαμβάνει τις τιμές της παραμέτρου *PDI* σε συνάρτηση με το χρόνο για τα γαλακτώματα αραβοσιτέλαιου σε διάφορες συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας tween-80.

% Tween-80	Χρόνος (hr)	<i>PDI</i>
1	0	0,348
	23	0,310
	49	0,327
	129	0,347
	720	0,239
1,5	0	0,263
	19	0,258
	96	0,257
	725	0,273
2	0	0,308
	21	0,263
	120	0,274
	713	0,231

Με βάση τις τιμές του παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι:

- Σε όλες τις περιπτώσεις οι τιμές της παραμέτρου *PDI* κυμαίνονται λίγο πάνω από την τιμή 0,2 που σημαίνει ότι τα γαλακτώματα αυτά είναι σχετικά σταθερά και χωρίς μεγάλη πολυδιασπορά.
- Για συγκέντρωση tween-80 1% οι τιμές παραμένουν σχεδόν σταθερές για σημαντικό χρονικό διάστημα (129 ώρες) ενώ στη συνέχεια η τιμή μειώνεται αισθητά πλησιάζοντας την τιμή 0,2 που δείχνει ότι το σύστημα σταδιακά προσεγγίζει μία συνθήκη σταθερότητας.
- Για συγκέντρωση tween-80 1,5% οι τιμές *PDI* είναι σχεδόν σταθερές και κοντά στην τιμή 0,2, γεγονός που δικαιολογεί και τη σταθερότητα που επιδεικνύει το συγκεκριμένο γαλάκτωμα με το χρόνο ως προς τη μεταβολή του μεγέθους των σωματιδίων του.

- Για συγκέντρωση tween-80 2% οι τιμές *PDI* εμφανίζουν μικρή αλλά σταδιακή μείωση με το χρόνο οδηγώντας σε σταθερότητα του συστήματος.

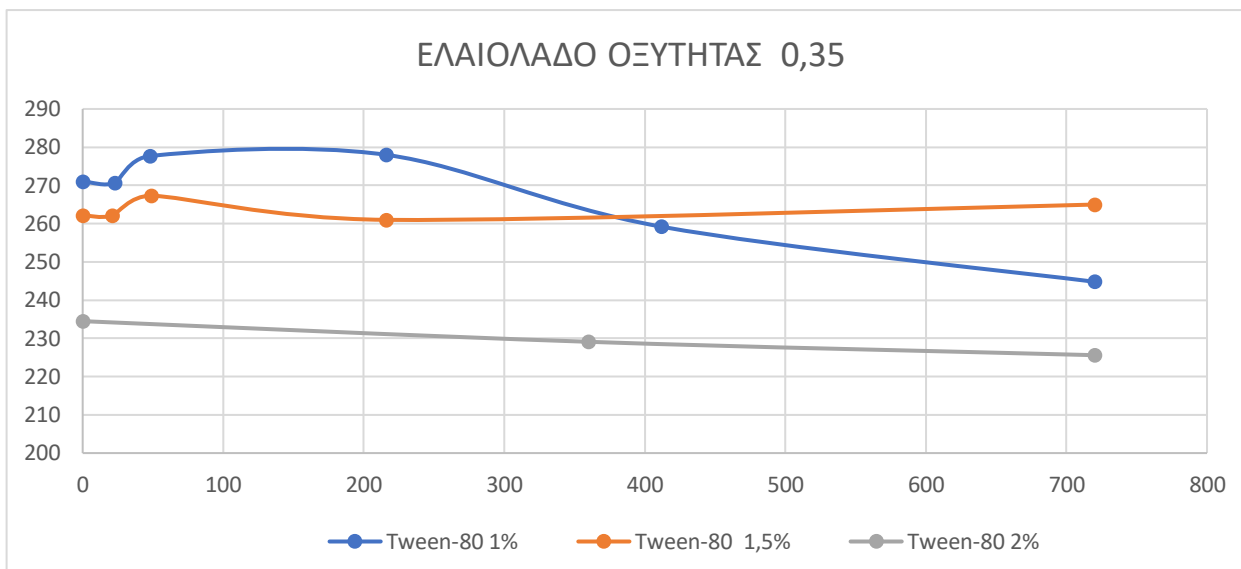
6.2 Ελαιόλαδο οξύτητας 0,35

Τα γαλακτώματα τα οποία παρήχθησαν σύμφωνα με τα παραπάνω με βάση το ελαιόλαδο οξύτητας 0,35 έδωσαν αναφορικά με τη μεταβολή μέσης τιμής διαμέτρου των σωματιδίων με το χρόνο, όπως υπολογίστηκαν με την τεχνική της σκέδασης φωτός DLS, τα αποτελέσματα τα οποία φαίνονται στον πίνακα 5.

Πίνακας 5: Τιμές μεγέθους σταγονιδίων ελαίου (ελαιόλαδο οξύτητας 0,35) ανά διάφορα χρονικά διαστήματα στις διαφορετικές συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80.

% Tween-80	Χρόνος (hr)	<i>d</i>-average (nm)
1	0	271
	23	270,7
	48	277,7
	216	278
	412	259,2
	720	244,8
1,5	0	262,2
	21	262,1
	49	267,3
	216	261
	720	265
2	0	234,5
	360	229,1
	720	225,6

Από τα δεδομένα του πίνακα 5 παράγονται οι γραφικές παραστάσεις που απεικονίζονται στο σχήμα 2.



Σχήμα 2: Διάγραμμα απεικόνισης του μεγέθους των σωματιδίων της ελαιώδους φάσης (ελαιόλαδο οξύτητας 0,35) σε συνάρτηση με τον χρόνο (ώρες) για τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80 (1%, 1,5% και 2%). Για την μέτρηση του μεγέθους χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή που δίνει το intensity.

Στον πίνακα 6 δίνονται οι τιμές αγωγιμότητας για τα γαλακτώματα του ελαιόλαδου οξύτητας 0,35 σε διάφορες συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας και για αρχικό χρόνο παρασκευής.

Πίνακας 6: Τιμές αγωγιμότητας ελαιόλαδου οξύτητας 0,35 με την προσθήκη διαφορετικών συγκεντρώσεων επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80.

ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΕΣ	
ΕΛΑΙΟΛΑΔΟ ΟΞΥΤΗΤΑΣ 0,35	
1% Tween-80	50,58 $\mu\text{s}/\text{cm}$
1,5% Tween-80	47,35 $\mu\text{s}/\text{cm}$
2% Tween-80	40,40 $\mu\text{s}/\text{cm}$

Σύμφωνα με τα παραπάνω φαίνεται πως η προσθήκη 1% Tween-80 στο ελαιόλαδο οξύτητας 0,35 οδηγεί σε μικρή αύξηση της συσσωμάτωσης τις πρώτες 216 ώρες (αύξηση διαμέτρου σωματιδίων από 271 nm σε 278 nm). Έπειτα, στο δείγμα ανιχνεύονται σωματίδια μικρότερης διαμέτρου (259,2 nm στις 412 ώρες και 244,8 nm στις 720 ώρες).

Στην περίπτωση της προσθήκης Tween-80 σε συγκέντρωση 1,5% το σύστημα παραμένει σταθερό σε όλη τη διάρκεια του πειράματος με διαμέτρους σωματιδίων 262,2 nm στην αρχή της διαδικασίας και 265 nm στο τέλος, με ελάχιστες διακυμάνσεις στους ενδιάμεσους χρόνους.

Τέλος, η παρουσία της επιφανειοδραστικής ουσίας σε συγκέντρωση 2% έχει ως αποτέλεσμα την ανίχνευση μικρότερων σωματιδίων, γεγονός που πιθανά οφείλεται στη συσσωμάτωση και καθίζηση των μεγαλύτερων. Συγκεκριμένα αναφέρουμε πως η διάμετρος των σωματιδίων στην έναρξη του πειράματος ήταν 234,5 nm, στις 360 ώρες έφτασε στα 229,1 nm και στο τέλος της διαδικασίας ανιχνεύθηκαν μεγέθη διαμέτρου 225,6 nm. Ουσιαστικά, θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι στην περίπτωση όπου το γαλάκτωμα έχει παρασκευαστεί με προσθήκη επιφανειοδραστικής ουσίας σε ποσοστό 2% τα σωματίδια εμφανίζουν σχεδόν σταθερό μέγεθος με την πάροδο του χρόνου.

Συμπεραίνουμε λοιπόν πως η καταλληλότερη συγκέντρωση Tween-80 προκειμένου να διατηρηθεί το διάλυμα σταθερό ήταν το 2%. Επίσης, παρατηρούμε ότι στην περίπτωση του ελαιολάδου οξύτητας 0,35 η προσθήκη Tween-80 σε περιεκτικότητες μεγαλύτερες του 1% οδηγούν σε μείωση της αγωγιμότητας. Συγκεκριμένα σε περιεκτικότητα 1% Tween-80 το γαλάκτωμα παρουσιάζει αγωγιμότητα 50,58 $\mu\text{s}/\text{cm}$, ενώ σε ποσοστά 1,5% και 2% η αγωγιμότητα μειώνεται στο 47,35 $\mu\text{s}/\text{cm}$ και 40,40 $\mu\text{s}/\text{cm}$ αντίστοιχα.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, εκτός από τη μέση διάμετρο των σωματιδίων, μετρήθηκε και το επιφανειακό δυναμικό ζ . Σύμφωνα με τις μετρήσεις αυτές οι τιμές του δυναμικού ζ ήταν της τάξης του -30mV στις περισσότερες περιπτώσεις, γεγονός που επίσης δικαιολογεί τη σχετική παρατηρούμενη σταθερότητα των γαλακτωμάτων ελαιολάδου με οξύτητα 0,35. Συγκεκριμένα, για tween-80 συγκέντρωσης 1% το δυναμικό ζ μεταβλήθηκε από -32,2 mV σε -41,6 mV κατά τη διάρκεια της μελέτης, ενώ αντίστοιχα για tween-80 συγκέντρωσης 1,5% η μεταβολή ήταν από -32 mV σε -48,8 mV και για tween-80 συγκέντρωσης 2% η μεταβολή ήταν από -33,6 mV σε -53 mV. Παρατηρούμε ότι με την πάροδο του χρόνου το επιφανειακό δυναμικό ζ των σταγονιδίων του ελαίου στα διάφορα γαλακτώματα γίνεται περισσότερο αρνητικό. Αυτή δείχνει και την σταθερότητα που εμφανίζουν τα γαλακτώματα αυτά με το χρόνο.

Επιπλέον, μετρήθηκε η τιμή της παραμέτρου *PDI*, η οποία αποτελεί δείκτη της πολυδιασποράς του γαλακτώματος. Στην περίπτωση των νανογαλακτωμάτων, ο παράγοντας αυτός λαμβάνει τιμές από 0,0 έως 1,0. Εάν η τιμή είναι μικρότερη από 0,2, τότε το γαλάκτωμα θεωρείται ως μονοδιασπαρμένο. Σε κάθε περίπτωση όμως, όσο μικρότερη είναι η τιμή του δείκτη *PDI*, τόσο πιο στενή είναι η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων του γαλακτώματος.

Οι τιμές της παραμέτρου *PDI* σε συνάρτηση με το χρόνο για τα γαλακτώματα ελαιολάδου οξύτητας 0,35 παρουσιάζονται στον πίνακα 7.

Πίνακας 7: Περιλαμβάνει τις τιμές της παραμέτρου *PDI* σε συνάρτηση με το χρόνο για τα γαλακτώματα ελαιολάδου οξύτητας 0,35 σε διάφορες συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας tween-80.

% Tween-80	Χρόνος (hr)	<i>PDI</i>
1	0	0,258
	23	0,250
	48	0,283
	216	0,333
	412	0,280
	720	0,257
1,5	0	0,360
	21	0,285
	49	0,262
	216	0,268
	720	0,339
2	0	0,244
	360	0,273
	720	0,255

Με βάση τις τιμές του παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι:

- Σε όλες τις περιπτώσεις οι τιμές της παραμέτρου *PDI* κυμαίνονται λίγο πάνω από την τιμή 0,2 που σημαίνει ότι τα γαλακτώματα αυτά είναι σχετικά σταθερά και χωρίς μεγάλη πολυδιασπορά.
- Για συγκέντρωση tween-80 1% οι τιμές παραμένουν σχεδόν σταθερές για σημαντικό χρονικό διάστημα (720 ώρες). Η μεγαλύτερη πολυδιασπορά εμφανίζεται στις 216 ώρες όπου εμφανίζει και τη μέγιστη τιμή της μετρούμενης μέσης διαμέτρου *d*.
- Για συγκέντρωση tween-80 1,5% οι τιμές *PDI* είναι σχεδόν σταθερές και κοντά στην τιμή 0,2, ενώ σε διάστημα 720 ωρών υπάρχει μια μικρή άνοδο στις τιμές όπου ξεκινά να γίνεται συσσωμάτωμα.
- Για συγκέντρωση tween-80 2% οι τιμές *PDI* μένουν σταθερές με πολύ μικρές διακυμάνσεις όπου αυτό μου δίνει μία σταθερότητα.

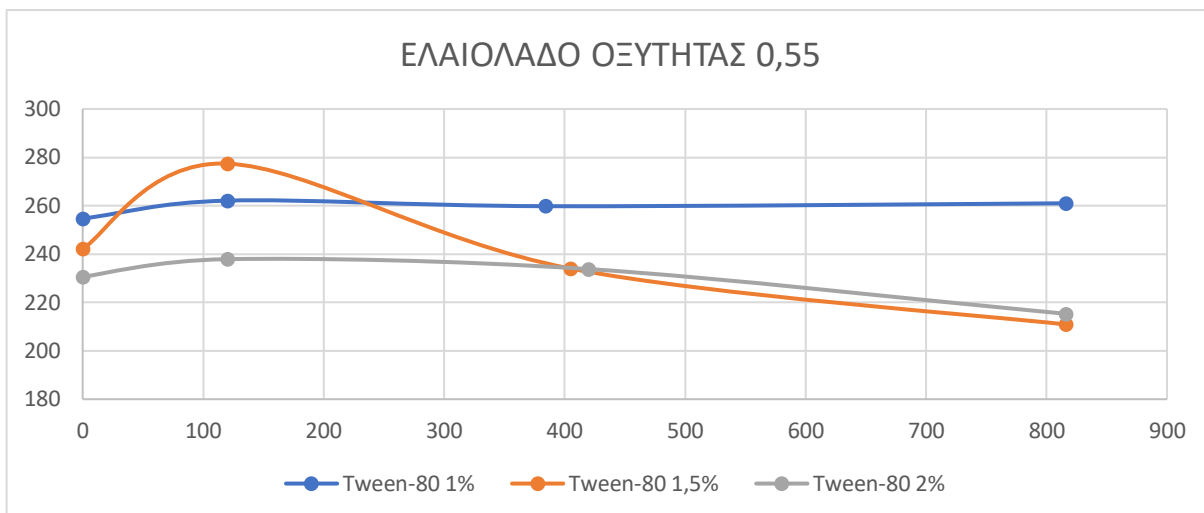
6.3 Ελαιόλαδο οξύτητας 0,55

Τα γαλακτώματα τα οποία παρήχθησαν σύμφωνα με τα παραπάνω με βάση το ελαιόλαδο οξύτητας 0,55 έδωσαν αναφορικά με τη μεταβολή μέσης τιμής διαμέτρου των σωματιδίων με το χρόνο, όπως υπολογίστηκαν με την τεχνική της σκέδασης φωτός DLS, τα αποτελέσματα τα οποία φαίνονται στον πίνακα 8.

Πίνακας 8: Τιμές μεγέθους σταγονιδίων ελαίου (ελαιόλαδο οξύτητας 0,55) ανά διάφορα χρονικά διαστήματα στις διαφορετικές συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80.

% Tween-80	Χρόνος (hr)	<i>d</i>-average (nm)
1	0	254,7
	120	262,1
	384	259,8
	816	261
1,5	0	242,2
	120	277,4
	405	234
	816	210,9
2	0	230,6
	120	237,9
	420	233,8
	816	215,3

Από τα δεδομένα του πίνακα 8 παράγονται οι γραφικές παραστάσεις που απεικονίζονται στο σχήμα 3.



Σχήμα 3: Διάγραμμα απεικόνισης του μεγέθους των σωματιδίων της ελαιώδους φάσης (ελαιόλαδο οξύτητας 0,55) σε συνάρτηση με τον χρόνο (ώρες) για τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80 (1%, 1,5% και 2%). Για την μέτρηση του μεγέθους χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή που δίνει το intensity.

Στον πίνακα 9 δίνονται οι τιμές αγωγιμότητας για τα γαλακτώματα του ελαιολάδου οξύτητας 0,55 σε διάφορες συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας και για αρχικό χρόνο παρασκευής.

Πίνακας 9: Τιμές αγωγιμότητας ελαιόλαδου οξύτητας 0,55 με την προσθήκη διαφορετικών συγκεντρώσεων επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80.

ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΕΣ	
ΕΛΑΙΟΛΑΔΟ ΟΞΥΤΗΤΑΣ 0,55	
1% Tween-80	29,76 $\mu\text{s}/\text{cm}$
1,5% Tween-80	25,60 $\mu\text{s}/\text{cm}$
2% Tween-80	43,41 $\mu\text{s}/\text{cm}$

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται πως στην περίπτωση της προσθήκης 1% Tween-80 στο ελαιόλαδο οξύτητας 0,55 το σύστημα παραμένει σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, καθώς η μέση τιμή της διαμέτρου των σταγονιδίων ελαίου παραμένει σχεδόν αμετάβλητη (από αρχική τιμή 254,7 nm γίνεται 261 nm σε 816 ώρες).

Στην περίπτωση της προσθήκης Tween-80 σε συγκέντρωση 1,5% αρχικά εμφανίζεται μικρός βαθμός συσσωμάτωσης των σταγονιδίων ελαίου, καθώς το μέγεθος από 242,2 nm γίνεται 277,4 σε 120 ώρες. Στη συνέχεια παρατηρείται σταδιακή μείωση του μεγέθους των σταγονιδίων τα οποία στις 816 ώρες εμφανίζουν μέση τιμή διαμέτρου d ίση με 210,9 nm.

Η παρουσία της επιφανειοδραστικής ουσίας σε συγκέντρωση 2% φαίνεται να δημιουργεί σχετικά σταθερά γαλακτώματα, καθώς η μέση τιμή της διαμέτρου των σταγονιδίων ελαίου παραμένει πρακτικά αμετάβλητη (από 230,6 nm αρχικά σε 233,8 nm στις 420 ώρες. Στη συνέχεια, και μέχρι τις 816 ώρες παρατηρείται ελαφρά μείωση της τιμής της διαμέτρου στα 215,3 nm.

Τέλος, παρατηρούμε ότι στην περίπτωση του ελαιολάδου οξύτητας 0,55 η προσθήκη Tween-80 σε συγκέντρωση 2% οδηγεί σε σημαντική αύξηση της αγωγιμότητας. Συγκεκριμένα σε περιεκτικότητα 1% Tween-80 το γαλακτώμα παρουσιάζει αγωγιμότητα 29,76 $\mu\text{s}/\text{cm}$, και σε περιεκτικότητα 1,5% η αγωγιμότητα είναι 25,60 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Ωστόσο, όταν το tween – 80 βρίσκεται σε ποσοστό 2% η αγωγιμότητα μεταβάλλεται σε 43,41 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Η αύξηση της αγωγιμότητας πιθανότατα να οφείλεται στο γεγονός ότι η ποσότητα της επιφανειοδραστικής ουσίας που προστίθεται είναι αρκετά μεγάλη και μέρος αυτής παραμένει ελεύθερη μέσα στο σύστημα. Δεν δεσμεύεται δηλαδή ολόκληρη η ποσότητα από σταγονίδια ελαίου κατά την παραγωγή του γαλακτώματος.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, εκτός από τη μέση διάμετρο των σωματιδίων, μετρήθηκε και το επιφανειακό δυναμικό ζ . Σύμφωνα με τις μετρήσεις αυτές οι τιμές του δυναμικού ζ ήταν της τάξης του -40mV σε όλες τις περιπτώσεις, γεγονός που επίσης δικαιολογεί τη σχετική παρατηρούμενη σταθερότητα των γαλακτωμάτων ελαιολάδου οξύτητας 0,55. Συγκεκριμένα, για tween-80 συγκέντρωσης 1% το δυναμικό ζ μεταβλήθηκε από -40,2 mV σε -48,6 mV κατά τη διάρκεια της μελέτης, ενώ αντίστοιχα για tween-80 συγκέντρωσης 1,5% η μεταβολή ήταν από -46,6 mV σε -54 mV και για tween-80 συγκέντρωσης 2% η μεταβολή ήταν από -47 mV σε -55,7 mV. Παρατηρούμε ότι σε κάθε περίπτωση οι τιμές του δυναμικού ζ είναι ισχυρά αρνητικές, γεγονός που υποδηλώνει σχετικά σταθερά γαλακτώματα.

Επιπλέον, μετρήθηκε η τιμή της παραμέτρου *PDI*, η οποία αποτελεί δείκτη της πολυδιασποράς του γαλακτώματος. Στην περίπτωση των νανογαλακτωμάτων, ο παράγοντας αυτός λαμβάνει τιμές από 0,0 έως 1,0. Εάν η τιμή είναι μικρότερη από 0,2, τότε το γαλακτώμα

θεωρείται ως μονοδιεσπαρμένο. Σε κάθε περίπτωση όμως, όσο μικρότερη είναι η τιμή του δείκτη *PDI*, τόσο πιο στενή είναι η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων του γαλακτώματος.

Οι τιμές της παραμέτρου *PDI* σε συνάρτηση με το χρόνο για τα γαλακτώματα ελαιολάδου 0,55 οξύτητα παρουσιάζονται στον πίνακα 10.

Πίνακας 10: Περιλαμβάνει τις τιμές της παραμέτρου *PDI* σε συνάρτηση με το χρόνο για τα γαλακτώματα ελαιολάδου οξύτητας 0,55 σε διάφορες συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας tween-80.

% Tween-80	Χρόνος (hr)	<i>PDI</i>
1	0	0,271
	120	0,280
	384	0,273
	816	0,267
1,5	0	0,251
	120	0,360
	405	0,257
	816	0,218
2	0	0,271
	120	0,307
	420	0,258
	816	0,236

Με βάση τις τιμές του παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι:

- Σε όλες τις περιπτώσεις οι τιμές της παραμέτρου *PDI* κυμαίνονται λίγο πάνω από την τιμή 0,2 που σημαίνει ότι τα γαλακτώματα αυτά είναι σχετικά σταθερά και χωρίς μεγάλη πολυδιασπορά.
- Για συγκέντρωση tween-80 1% οι τιμές παραμένουν σχεδόν σταθερές για ολόκληρο το χρονικό διάστημα της συγκεκριμένης μελέτης (816 ώρες)..

- Για συγκέντρωση tween-80 1,5% και 2% η τιμή του *PDI* εμφανίζει μία μικρή αύξηση σε χρόνο 120 ώρες που ταυτίζεται και με τη μέγιστη τιμή της μέσης τιμής της διαμέτρου των σταγονιδίων του ελαίου..
- Γενικά παρατηρείται ότι η τιμή του *PDI* δεν εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις και η μεταβολή της τιμής του ακολουθεί τη μεταβολή της τιμής της μέσης διαμέτρου των σταγονιδίων του ελαίου στα γαλακτώματα. .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΟΔΡΑΣΤΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ ΣΤΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΛΑΙΩΝ

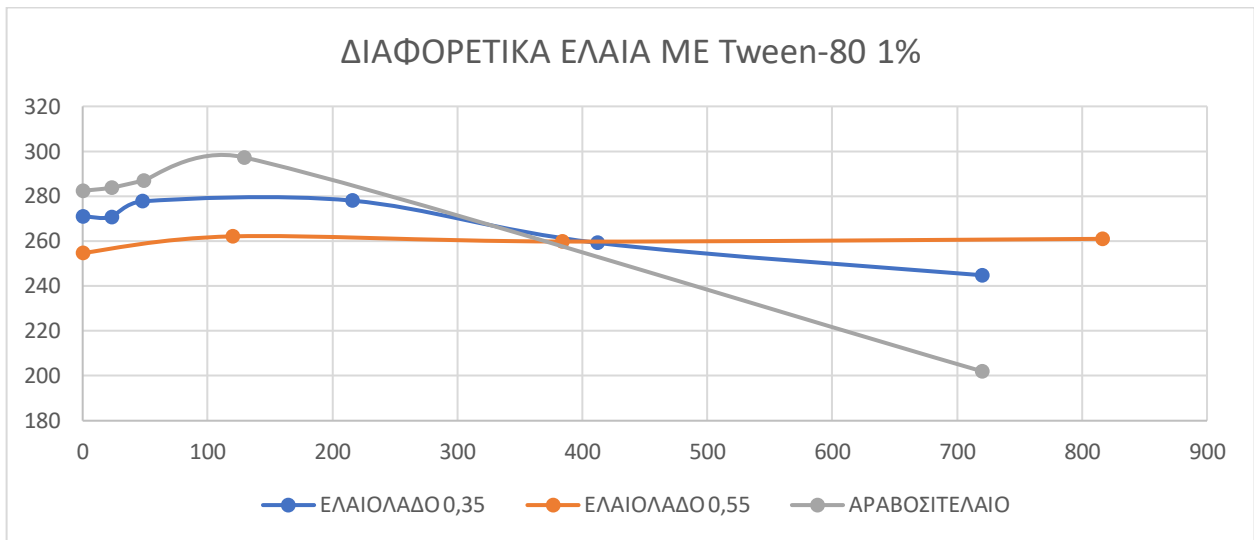
7.1 Σύγκριση της σταθερότητας γαλακτωμάτων διαφόρων ελαίων παρουσία 1% Tween-80

Από τα δεδομένα των πειραμάτων και συγκεκριμένα με τα αποτελέσματα που ελήφθησαν κατά τη μέτρηση σε διάφορους χρόνους της μέσης τιμής της διαμέτρου των σταγονιδίων των διαφόρων ελαίων σε γαλακτώματα που περιείχαν επιφανειοδραστική ουσία tween-80 σε ποσοστό 1% προκύπτει ο πίνακας 11.

Πίνακας 11: Τιμές μεγέθους σταγονιδίων των διαφόρων ελαίων ανά διάφορα χρονικά διαστήματα για συγκέντρωση επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80 1%.

1 % Tween-80	Χρόνος (hr)	<i>d</i> -average (nm)
Ελαιόλαδο 0,35	0	271
	23	270,7
	48	277,7
	216	278
	412	259,2
	720	244,8
Ελαιόλαδο 0,55	0	254,7
	120	262,1
	384	259,8
	816	261
Αραβοσιτέλαιο	0	282,4
	23	283,8
	49	287
	129	297,3
	720	202

Με βάση τα δεδομένα του πίνακα 11 παράγεται το σχήμα 4.



Σχήμα 4: Διάγραμμα απεικόνισης του μεγέθους των σωματιδίων της ελαιώδους φάσης διάφορων φυτικών ελαίων σε συνάρτηση με τον χρόνο (ώρες) για 1% επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80. Για την μέτρηση του μεγέθους χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή που δίνει το intensity.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε πως το μέγεθος των σωματιδίων του ελαιόλαδου οξύτητας 0,55 παρέμεινε σταθερό παρουσία Tween-80 1%. Συγκεκριμένα, οι τιμές της διαμέτρου των ανιχνευόμενων σωματιδίων είναι 254,7 nm στην αρχή του πειράματος, 262,1 nm στις πρώτες 120 ώρες, 259,8 nm στις 384 ώρες και 261 nm στο τέλος του πειράματος μετά από συνολικά 816 ώρες.

Αντιθέτως, στην περίπτωση των άλλων δύο ελαίων παρατηρήθηκε σημαντική μείωση στο μέγεθος των μετρούμενων σωματιδίων, γεγονός που αποδίδεται στη μεγάλη βαθμού συσσωμάτωση και καθίζηση των μεγαλομορίων αφήνοντας πίσω σωματίδια μικρής διαμέτρου προς μέτρηση. Μάλιστα, στην περίπτωση του αραβοσιτέλαιου το φαινόμενο αυτό είναι εντονότερο με τις μετρούμενες διαμέτρους να είναι 282,4 nm στην αρχή του πειράματος, με μία μικρή αύξηση στα 297,3 nm τις πρώτες 129 ώρες, φτάνοντας στο τέλος μετά από συνολικά 720 ώρες σε ένα μέγεθος 202 nm.

Στο ελαιόλαδο οξύτητας 0,35 μετρήθηκαν διάμετροι μέχρι 278 nm τις πρώτες 216 ώρες. Στις 412 ώρες το μέγεθος έπεσε στα 259,2 nm φτάνοντας τελικά τα 244,8 nm στις 720 ώρες πειράματος.

Από τα παραπάνω θα μπορούσαμε να συμπεράνουμε ότι, αναφορικά με το ελαιόλαδο, φαίνεται πως η μεγάλη οξύτητα οδηγεί σε σταθερότητα του διαλύματος, γεγονός που σημαίνει ότι το περιέχον ελεύθερο ελαϊκό οξύ ενδεχομένως να δρα ως επιφανειοδραστική ουσία.

Παρατηρώντας τις τιμές από το επιφανειακό φορτίο για το ελαιόλαδο με οξύτητα 0,35 οι τιμές ξεκίνησαν από -32,2 mV και έφτασε σε -41,6 mV. Για το ελαιόλαδο με οξύτητα 0,55 ξεκίνησε από -40,2 mV και έφτασε στο -48,6 mV και τέλος για το αραβοσιτέλαιο ξεκίνησε από -35,5 mV και έφτασε στο -30,3 mV. Εδώ παρατηρείται ότι πιο σταθερό γαλακτώμα θεωρείται το ελαιόλαδο και συγκεκριμένα αυτό με την μεγαλύτερη οξύτητα καθώς η τιμή του επιφανειακού δυναμικού ζ γίνεται πιο αρνητική με την πάροδο του χρόνου. Αντίθετα, στην περίπτωση του αραβοσιτέλαιου φαίνεται ότι η τιμή του δυναμικού ζ μεταβάλλεται με τέτοιον τρόπο που φανερώνει μία σταδιακή μείωση της σταθερότητας του γαλακτώματος.

Στον πίνακα 12 παρουσιάζονται οι τιμές της παραμέτρου *PDI* σε συνάρτηση με το χρόνο των διαφόρων ελαίων σε γαλακτώματα που περιείχαν επιφανειοδραστική ουσία tween-80 σε ποσοστό 1%.

Με βάση τις τιμές του παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι:

- Σε όλες τις περιπτώσεις οι τιμές της παραμέτρου *PDI* κυμαίνονται λίγο πάνω από την τιμή 0,2 που σημαίνει ότι τα γαλακτώματα αυτά είναι σχετικά σταθερά και χωρίς μεγάλη πολυδιασπορά.
- Οι χαμηλότερες τιμές παρουσιάζονται στην περίπτωση του ελαιολάδου οξύτητας 0,55
- Οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται στην περίπτωση του αραβοσιτέλαιου, όπου έχουμε και τη μεγαλύτερη πολυδιασπορά.
- Το ελαιόλαδο οξύτητας 0,55 φαίνεται να εμφανίζει τη μεγαλύτερη σταθερότητα, γεγονός που ενδεχομένως μπορεί να αποδοθεί στη δράση των ελεύθερων λιπαρών οξέων.

Πίνακας 12: Περιλαμβάνει τις τιμές της παραμέτρου *PDI* σε συνάρτηση με το χρόνο για τα γαλακτώματα των διαφόρων ελαίων που περιείχαν επιφανειοδραστική ουσία tween-80 σε ποσοστό 1%.

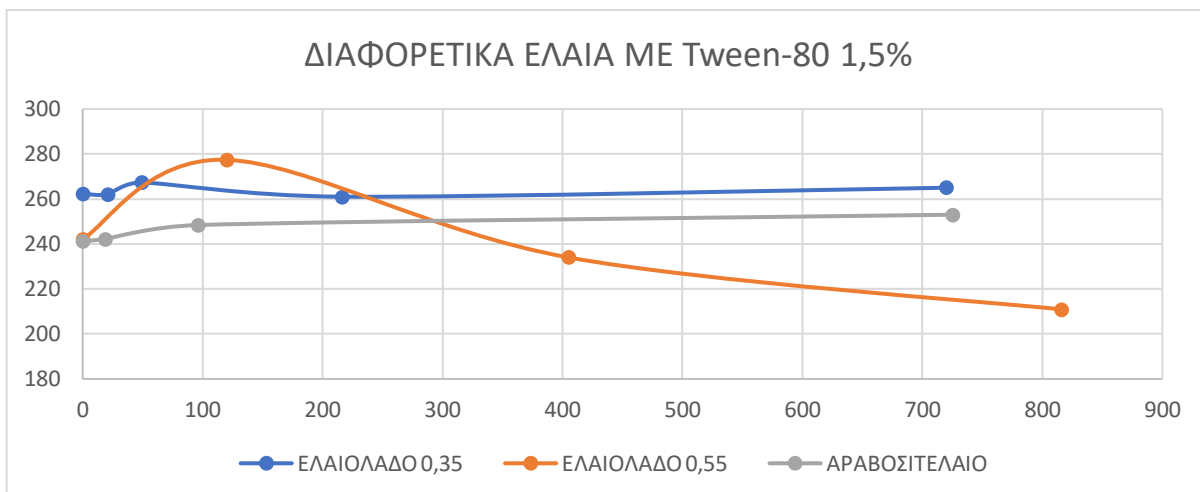
1 % Tween-80	Χρόνος (hr)	PDI
Ελαιόλαδο 0,35	0	0,258
	23	0,250
	48	0,283
	216	0,333
	412	0,280
	720	0,257
Ελαιόλαδο 0,55	0	0,271
	120	0,280
	384	0,273
	816	0,267
Αραβοσιτέλαιο	0	0,348
	23	0,310
	49	0,327
	129	0,347
	720	0,239

7.2 Σύγκριση της σταθερότητας γαλακτωμάτων διαφόρων ελαίων παρουσία 1,5% Tween-80

Από τα δεδομένα των πειραμάτων και συγκεκριμένα με τα αποτελέσματα που ελήφθησαν κατά τη μέτρηση σε διάφορους χρόνους της μέσης τιμής της διαμέτρου των σταγονιδίων των διαφόρων ελαίων σε γαλακτώματα που περιείχαν επιφανειοδραστική ουσία tween-80 σε ποσοστό 1,5% προκύπτει ο πίνακας 13.

Πίνακας 13: Τιμές μεγέθους σταγονιδίων των διαφόρων ελαίων ανά διάφορα χρονικά διαστήματα για συγκέντρωση επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80 1,5%.

1,5 % Tween-80	Χρόνος (hr)	<i>d</i>-average (nm)
Ελαιόλαδο 0,35	0	262,2
	21	262,1
	49	267,3
	216	261
	720	265
Ελαιόλαδο 0,55	0	242,2
	120	277,4
	405	234
	816	210,9
Αραβοσιτέλαιο	0	241,2
	19	242,2
	96	248,4
	725	253



Σχήμα 5: Διάγραμμα απεικόνισης του μεγέθους των σωματιδίων της ελαιώδους φάσης διάφορων φυτικών ελαίων σε συνάρτηση με τον χρόνο (ώρες) για 1,5% επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80. Για την μέτρηση του μεγέθους χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή που δίνει το intensity.

Από τα παραπάνω παρατηρούμε πως παρουσία Tween-80 σε συγκέντρωση 1,5% σχηματίζονται σχετικά σταθερά γαλακτώματα για το ελαιόλαδο οξύτητας 0,35, καθώς η μέση τιμή της διαμέτρου των σταγονιδίων παραμένει σχεδόν αμετάβλητη. Η τιμή της διαμέτρου d για την περίπτωση του ελαιολάδου οξύτητας 0,55 σε χρόνο 120 ώρες εμφανίζει μία αύξηση, ενώ στη συνέχεια μειώνεται σταδιακά. Στην περίπτωση του αραβοσιτέλαιου το μέγεθος των σωματιδίων του εμφανίζει μία μικρή αλλά σταδιακή αύξηση.

Παρατηρώντας τις τιμές από το επιφανειακό φορτίο για το αραβοσιτέλαιο οι τιμές ξεκίνησαν από $-34,7$ mV και έφτασε σε $-22,9$ mV. Για το ελαιόλαδο με οξύτητα 0,35 ξεκίνησε από -32 mV και έφτασε στο $-48,8$ mV και τέλος για το ελαιόλαδο με οξύτητα 0,55 ξεκίνησε από $-46,6$ mV και έφτασε στο -54 mV. Παρατηρούμε ότι το δυναμικό ζ είναι συνέχεια ισχυρά αρνητικό, υποδηλώνοντας σχετικά σταθερά συστήματα. Τη μεγαλύτερη μεταβολή εμφανίζει στην περίπτωση του ελαιολάδου χαμηλής οξύτητας, γεγονός που υποδεικνύει ότι σχηματίζονται πιο γρήγορα σταθερά συστήματα. Στην περίπτωση του αραβοσιτέλαιου η μεταβολή της τιμής υποδηλώνει ότι το σύστημα σταδιακά χάνει τη σταθερότητά του.

Στον πίνακα 14 παρουσιάζονται οι τιμές της παραμέτρου *PDI* σε συνάρτηση με το χρόνο των διαφόρων ελαίων σε γαλακτώματα που περιείχαν επιφανειοδραστική ουσία tween-80 σε ποσοστό 1,5%.

Πίνακας 14: Περιλαμβάνει τις τιμές της παραμέτρου *PDI* σε συνάρτηση με το χρόνο για τα γαλακτώματα των διαφόρων ελαίων που περιείχαν επιφανειοδραστική ουσία tween-80 σε ποσοστό 1,5%.

1,5 % Tween-80	Χρόνος (hr)	PDI
Ελαιόλαδο 0,35	0	0,360
	21	0,285
	49	0,262
	216	0,268
	720	0,339
Ελαιόλαδο 0,55	0	0,251
	120	0,360
	405	0,257
	816	0,218
Αραβοσιτέλαιο	0	0,263
	19	0,258
	96	0,257
	725	0,273

Με βάση τις τιμές του παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι:

- Σε όλες τις περιπτώσεις οι τιμές της παραμέτρου *PDI* κυμαίνονται λίγο πάνω από την τιμή 0,2 που σημαίνει ότι τα γαλακτώματα αυτά είναι σχετικά σταθερά και χωρίς μεγάλη πολυδιασπορά.
- Στην περίπτωση του ελαιολάδου οξύτητας 0,35 παρατηρούμε ότι το σύστημα εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές πολυδιασποράς σε χρόνο 0 και 720 ώρες, δηλαδή στην αρχική και τελική του κατάσταση. Αυτό ενδεχομένως υποδηλώνει ότι το

σύστημα ήταν αρχικά ασταθές, στη συνέχεια με την πάροδο του χρόνου επήλθε αποκατάσταση της σταθερότητας και τελικά μεταβαίνει και πάλι σε κατάσταση αποσταθεροποίησης.

- Το ελαιόλαδο οξύτητας 0,55 φαίνεται να εμφανίζει μία μεγάλη τιμή σε χρόνο 120 ώρες, που αντιστοιχεί και σε μεγάλη διάμετρο σωματιδίων. Ωστόσο η τελική τιμή του δείκτη PDI εμφανίζει τη χαμηλότερη τιμή (0,218) η οποία αντιστοιχεί και σε σύστημα που τείνει να εμφανίσει μονοδισπαρμένα σωματίδια.

- Το αραβοσιτέλαιο εμφανίζει σταθερότητα στην τιμή PDI, που ακολουθεί τη λογική της αντίστοιχης τιμής της διαμέτρου με τη μέγιστη τιμή να εμφανίζεται στο μέγιστο χρόνο.

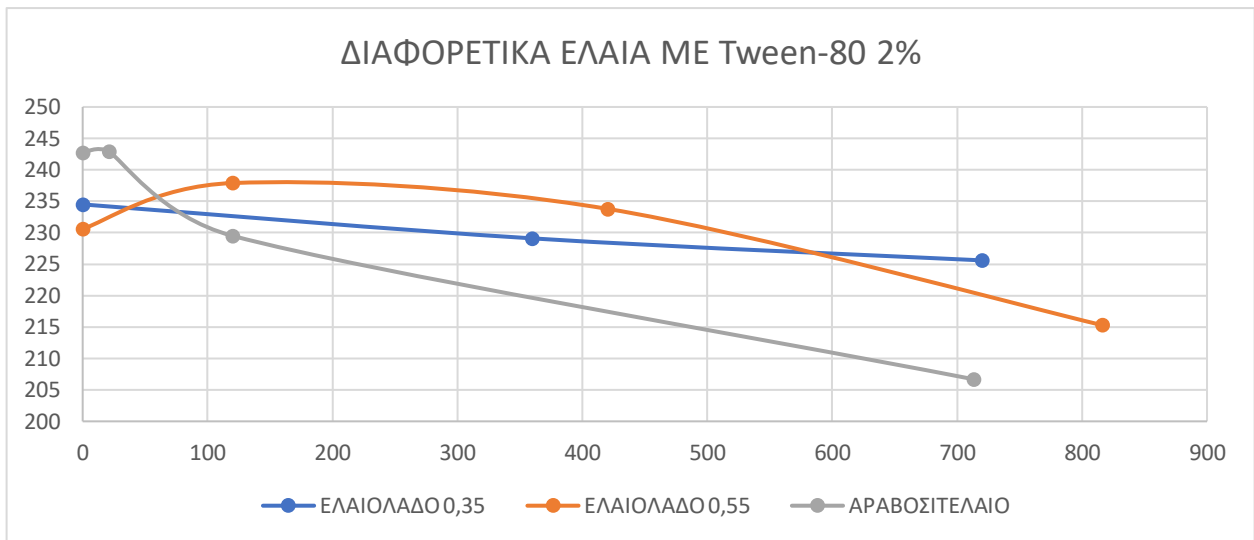
7.3 Σύγκριση της σταθερότητας γαλακτωμάτων διαφόρων ελαίων παρουσία 2% Tween-80

Από τα δεδομένα των πειραμάτων και συγκεκριμένα με τα αποτελέσματα που ελήφθησαν κατά τη μέτρηση σε διάφορους χρόνους της μέσης τιμής της διαμέτρου των σταγονιδίων των διαφόρων ελαίων σε γαλακτώματα που περιείχαν επιφανειοδραστική ουσία tween-80 σε ποσοστό 2% προκύπτει ο πίνακας 15.

Πίνακας 15: Τιμές μεγέθους σταγονιδίων των διαφόρων ελαίων ανά διάφορα χρονικά διαστήματα για συγκέντρωση επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80 2%.

2 % Tween-80	Χρόνος (hr)	<i>d</i>-average (nm)
Ελαιόλαδο 0,35	0	234,5
	360	229,1
	720	225,6
Ελαιόλαδο 0,55	0	230,6
	120	237,9
	420	233,8
	816	215,3
Αραβοσιτέλαιο	0	242,7
	21	242,9
	120	229,5
	713	206,7

Από τα δεδομένα του πίνακα 15 προκύπτει το σχήμα 6.



Σχήμα 6: Διάγραμμα απεικόνισης του μεγέθους των σωματιδίων της ελαιώδους φάσης διάφορων φυτικών ελαίων σε συνάρτηση με τον χρόνο (ώρες) για 2% επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80. Για την μέτρηση του μεγέθους χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή που δίνει το intensity.

Η προσθήκη της επιφανειοδραστικής ουσίας Tween-80 σε συγκέντρωση 2% οδηγεί σε σχετική σταθερότητα της μέσης τιμής της διαμέτρου d των σταγονιδίων ελαίων στις περιπτώσεις γαλακτωμάτων που σχηματίστηκαν με ελαιόλαδο ως λιπαρή ύλη.

Συγκεκριμένα, στην περίπτωση του ελαιόλαδου οξύτητας 0,35 στην αρχή του πειράματος το μετρούμενο μέγεθος των σωματιδίων είναι 234,5 nm, το οποίο μειώνεται στα 229,1 nm στις 360 ώρες, φτάνοντας τελικά στα 225,6 nm στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας στις 720 ώρες. Στο ελαιόλαδο οξύτητας 0,55 η αρχική διάμετρος των σωματιδίων είναι στα 230,6 nm, ακολουθούμενη από διάμετρο 237,9 nm στις 120 ώρες, φτάνοντας τελικά τα 233,8 nm στις 420 ώρες και στο τέλος του πειράματος τα 215,3 nm στις 816 ώρες.

Αντίθετα, στην περίπτωση του αραβοσιτέλαιου τις πρώτες 21 ώρες το μέγεθος των σωματιδίων παραμένει σχετικά σταθερό στα 242,7-242,9 nm. Στη συνέχεια στις 120 ώρες το μέγεθος μειώνεται στα 229,5 nm, γεγονός που ακολουθείται από περεταίρω μείωση στις 713 ώρες φτάνοντας μία διάμετρο 206,7 nm.

Παρατηρώντας τις τιμές από το επιφανειακό φορτίο για το αραβισιτέλαιο οι τιμές ξεκίνησαν από -30,3 mV και έφτασε σε -24,7 mV. Για το ελαιόλαδο με οξύτητα 0,35 ξεκίνησε από -33,6 mV και έφτασε στο -53 mV και τέλος για το ελαιόλαδο με οξύτητα 0,55 ξεκίνησε

από -47 mV και έφτασε στο -55,7 mV. Σε κάθε περίπτωση το επιφανειακό δυναμικό ζ έχει ισχυρή αρνητική τιμή που υποδηλώνει σταθερά γαλακτώματα. Στην περίπτωση του ελαιολάδου χαμηλής οξύτητας η απόλυτη μεγάλη αύξηση της τιμής του ζ φανερώνει ότι η σταθερότητα επέρχεται με το χρόνο, ενώ στην περίπτωση του ελαιολάδου υψηλής οξύτητας έχουμε ισχυρές αρνητικές τιμές σε όλη τη διάρκεια παραμονής του γαλακτώματος. Αντίθετα, στην περίπτωση του αραβοσιτέλαιου η τιμή του ζ σταδιακά τείνει στο 0,0 και συνεπώς το σύστημα χάνει τη σταθερότητά του με το χρόνο.

Στον πίνακα 16 παρουσιάζονται οι τιμές της παραμέτρου *PDI* σε συνάρτηση με το χρόνο των διαφόρων ελαίων σε γαλακτώματα που περιείχαν επιφανειοδραστική ουσία tween-80 σε ποσοστό 2%.

Πίνακας 16: Περιλαμβάνει τις τιμές της παραμέτρου *PDI* σε συνάρτηση με το χρόνο για τα γαλακτώματα των διαφόρων ελαίων που περιείχαν επιφανειοδραστική ουσία tween-80 σε ποσοστό 2%.

1,5 % Tween-80	Χρόνος (hr)	PDI
Ελαιόλαδο 0,35	0	0,244
	360	0,273
	720	0,255
Ελαιόλαδο 0,55	0	0.271
	120	0.307
	420	0.258
	816	0.236
Αραβοσιτέλαιο	0	0.308
	21	0.263
	120	0.274
	713	0.231

Με βάση τις τιμές του παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι:

- Σε όλες τις περιπτώσεις οι τιμές της παραμέτρου *PDI* κυμαίνονται λίγο πάνω από την τιμή 0,2 που σημαίνει ότι τα γαλακτώματα αυτά είναι σχετικά σταθερά και χωρίς μεγάλη πολυδιασπορά.
- Στην περίπτωση του ελαιολάδου οξύτητας 0,35 παρατηρούμε ότι το σύστημα εμφανίζει σχεδόν σταθερή τιμή σε όλους τους χρόνους.
- Το ελαιόλαδο οξύτητας 0,55 φαίνεται να εμφανίζει μία μεγάλη τιμή σε χρόνο 120 ώρες, που αντιστοιχεί και σε μεγάλη διάμετρο σωματιδίων. Ωστόσο, στη συνέχεια η τιμή του δείκτη *PDI* εμφανίζει συνεχόμενη πτώση.
- Το αραβοσιτέλαιο εμφανίζει επίσης μειούμενη τιμή *PDI*, που ακολουθεί τη λογική της αντίστοιχης τιμής της διαμέτρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΜΕΓΑΛΟ ΧΡΟΝΟ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ ΤΟΥΣ

Τα γαλακτώματα που παρασκευάστηκαν αφέθηκαν στο σύνολό τους εκτεθειμένα στον εργαστηριακό πάγκο σε κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος για περίπου τέσσερις μήνες. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της μέσης τιμής της διαμέτρου d των σωματιδίων των ελαίων, του επιφανειακού τους δυναμικού ζ και του δείκτη πολυδιασποράς PDI . Στη συνέχεια παρουσιάζονται και αναλύονται τα συγκεκριμένα δεδομένα που ελήφθησαν.

Στον πίνακα 17 παρουσιάζονται η αρχική και η τελική τιμή της μέσης τιμής της διαμέτρου d σε χρόνους 0 και 4 μήνες, αντίστοιχα, καθώς και η εκατοστιαία μεταβολή αυτής για σε διάφορες συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας tween-80.

Πίνακας 17: Τιμές για τη μέση τιμή της διαμέτρου των σωματιδίων ελαίου των παραχθέντων γαλακτωμάτων σε χρόνο παραμονής 4 μηνών από την παρασκευή τους και σε διάφορες συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας tween-80.

% Tween-80	Είδος ελαίου	d -average (nm) Χρόνος 0	d -average (nm) 4 μήνες	% Μεταβολή
1	Αραβοσιτέλαιο	282,4	176,9	-37,36
	Ελαιόλαδο οξύτητας 0,35	271	335,9	+23,95
	Ελαιόλαδο οξύτητας 0,55	254,7	216	-15,19
1,5	Αραβοσιτέλαιο	241,2	187,1	-22,43
	Ελαιόλαδο οξύτητας 0,35	262,2	169,7	-35,28
	Ελαιόλαδο οξύτητας 0,55	242,2	187,7	-22,5
2	Αραβοσιτέλαιο	242,7	200,3	-17,47
	Ελαιόλαδο οξύτητας 0,35	234,5	203,5	-13,22
	Ελαιόλαδο οξύτητας 0,55	230,6	192	-16,74

Σε χρόνο παραμονής των γαλακτωμάτων 4 μήνες μετά την παρασκευή τους φαίνεται πως το ελαιόλαδο οξύτητας 0,35% παρουσία 1% Tween-80 οδηγήθηκε στο σχηματισμό μεγαλύτερων σωματιδίων. Συγκεκριμένα, πρόκειται για τη μοναδική περίπτωση όπου σε

μεγάλο χρόνο παραμονής υπάρχει αύξηση του μέσου μεγέθους των σωματιδίων του γαλακτώματος. Αυτό υποδεικνύει ότι η ποσότητα της επιφανειοδραστικής ουσίας δεν είναι αρκετή για να διασφαλίσει τη σταθερότητα του συστήματος.

Συγκρίνοντας τη συμπεριφορά που παρουσιάζει η μέση τιμή των σχηματισθέντων σωματιδίων στις περιπτώσεις γαλακτωμάτων που παρήχθησαν με βάση το ελαιόλαδο, παρατηρείται ότι στην περίπτωση όπου η οξύτητα του ελαιολάδου είναι μεγαλύτερη (0,55 έναντι 0,33) τα αντίστοιχα γαλακτώματα εμφανίζουν επίσης μεγαλύτερη σταθερότητα σε συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας 1 και 1,5%. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι αυξημένη οξύτητα σημαίνει και μεγαλύτερη συγκέντρωση σε ελεύθερα λιπαρά οξέα τα οποία πιθανότατα συνεισφέρουν ως επιφανειοδραστικές ουσίες στη σταθερότητα των γαλακτωμάτων. Στην περίπτωση σχετικά μεγάλης συγκέντρωσης επιφανειοδραστικής ουσίας (2% tween-80) τα δύο έλαια εμφανίζουν την ίδια συμπεριφορά ανεξάρτητα από την οξύτητά τους. Αυτό πιθανότητα οφείλεται στη σχετικά υψηλή συγκέντρωση επιφανειοδραστικής ουσίας, οπότε η συνεισφορά των ελεύθερων λιπαρών οξέων είναι αμελητέα.

Ταυτόχρονα, μετά από τους 4 μήνες παραμονής των γαλακτωμάτων μετρήθηκε και το επιφανειακό τους δυναμικό ζ. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 18.

Πίνακας 18: Περιλαμβάνει τις τιμές του επιφανειακού δυναμικού ζ για τα διάφορα γαλακτώματα ελαίων σε χρόνο παραμονής 4 μήνες και σε διάφορες συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας tween-80.

% Tween-80	Είδος ελαίου	Δυναμικό ζ
1	Αραβοσιτέλαιο	-28,8
	Ελαιόλαδο οξύτητας 0,35	-36,7
	Ελαιόλαδο οξύτητας 0,55	-36,2
1,5	Αραβοσιτέλαιο	-30,9
	Ελαιόλαδο οξύτητας 0,35	-39,1
	Ελαιόλαδο οξύτητας 0,55	-34,6
2	Αραβοσιτέλαιο	-31,3
	Ελαιόλαδο οξύτητας 0,35	-22,8
	Ελαιόλαδο οξύτητας 0,55	-37,3

Από τις μετρήσεις που παρουσιάζονται στον ανωτέρω πίνακα παρατηρείται ότι το επιφανειακό δυναμικό ζ παραμένει πάντα ισχυρά αρνητικό, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνει τη σχετική σταθερότητα των γαλακτωμάτων.

Μετά από χρόνο παραμονής τεσσάρων μηνών μετρήθηκαν επίσης και οι τιμές της παραμέτρου *PDI*. Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 19.

Πίνακας 19: Περιλαμβάνει τις τιμές της παραμέτρου *PDI* για τα διάφορα γαλακτώματα ελαίων σε χρόνο παραμονής 4 μήνες και σε διάφορες συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικής ουσίας tween-80.

% Tween-80	Είδος ελαίου	<i>PDI</i>
1	Αραβοσιτέλαιο	0,29
	Ελαιόλαδο οξύτητας 0,35	0,468
	Ελαιόλαδο οξύτητας 0,55	0,32
1,5	Αραβοσιτέλαιο	0,227
	Ελαιόλαδο οξύτητας 0,35	0,291
	Ελαιόλαδο οξύτητας 0,55	0,248
2	Αραβοσιτέλαιο	0,262
	Ελαιόλαδο οξύτητας 0,35	0,4
	Ελαιόλαδο οξύτητας 0,55	0,227

Με βάση τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι, σε κάθε τιμή συγκέντρωσης επιφανειοδραστικής ουσίας το ελαιόλαδο οξύτητας 0,35 εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή *PDI*. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι τα γαλακτώματα που παρήχθησαν με ελαιόλαδο οξύτητας 0,35 έχουν τη μεγαλύτερη πολυδιασπορά ως προς το μέγεθος των σχηματισθέντων σταγονιδίων ελαίου και εμφανίζουν και τη μεγαλύτερη αστάθεια. Για τα υπόλοιπα γαλακτώματα οι τιμές του *PDI* προσεγγίζουν την τιμή 0,2 που σημαίνει ότι ακόμα και μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα παραμονής των γαλακτωμάτων αυτών υπάρχει πολύ καλή σταθερότητα και περιορισμένη διασπορά του μεγέθους των σωματιδίων των ελαίων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρασκευάστηκαν γαλακτώματα ελαίου σε νερό με τη χρήση τριών διαφορετικών ελαίων (ελαιόλαδο οξύτητας 0,35, ελαιόλαδο οξύτητας 0,55 και αραβοσιτέλαιο) και τριών διαφορετικών συγκεντρώσεων γαλακτωματοποιητή Tween-80 (1%, 1,5% και 2%). Παρακάτω παρουσιάζουμε κάποια συμπεράσματα που προκύπτουν:

Αραβοσιτέλαιο:

- Η παρουσία Tween-80 σε ποσοστό 1% δημιουργεί σταθερά γαλακτώματα για σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα (49 ώρες), ενώ μετά από μεγαλύτερο χρονικό διάστημα η μέση τιμή της διαμέτρου των σταγονιδίων ελαίου μειώνεται αισθητά.
- Για συγκέντρωση Tween-80 σε ποσοστό 1,5% φαίνεται να σχηματίζονται αρκετά σταθερά γαλακτώματα για μεγάλη χρονική διάρκεια, καθώς η μέση τιμή της διαμέτρου των σταγονιδίων του ελαίου παραμένει πρακτικά αμετάβλητη.
- Η προσθήκη Tween-80 σε περιεκτικότητα 2% οδηγεί σε σταθερό γαλάκτωμα για σύντομο χρονικό διάστημα. Στη συνέχεια η μέση τιμή της διαμέτρου των σταγονιδίων του ελαίου σταδιακά μειώνεται.
- Οι τιμές του επιφανειακού δυναμικού ζ είναι αρνητικές και κυμαίνονται αρχικά σε τιμές κάτω του -30 mV γεγονός που επιβεβαιώνει ότι τα γαλακτώματα είναι σχετικά σταθερά.
- Οι τιμές του δείκτη πολυδιασποράς PDI βρίσκονται σχετικά κοντά στην τιμή 0,2, η οποία αποτελεί το όριο όπου ένα γαλάκτωμα μπορεί να είναι πολύ- ή μόνο-δισπαρμένο. Οι τιμές των συγκεκριμένων γαλακτωμάτων υποδηλώνουν ότι τα γαλακτώματα αυτά δεν εμφανίζουν μεγάλη πολυδιασπορά ως προς το μέγεθος των σταγονιδίων του ελαίου.
- Με την αύξηση της περιεκτικότητας του tween – 80 στα γαλακτώματα, αυξάνει και η τιμή της αγωγιμότητας. Ενδεχομένως αυτό να οφείλεται στο γεγονός ότι όσο μεγαλώνει το συγκεκριμένο ποσοστό, τόσα περισσότερα μόρια επιφανειοδραστικής ουσίας παραμένουν ελεύθερα. Το γεγονός αυτό μπορεί να επηρεάσει άμεσα και τη σταθερότητα των γαλακτωμάτων, καθώς τα ελεύθερα αυτά

μόρια ίσως προκαλούν περαιτέρω συσσωμάτωση των σταγονιδίων του ελαίου λειτουργώντας ως συνδετικά μόρια μεταξύ τους.

Ελαιόλαδο οξύτητας 0,35

- Στην περίπτωση όπου το Tween-80 βρίσκεται σε περιεκτικότητα 1%, το γαλάκτωμα παραμένει σταθερό για σύντομο χρονικό διάστημα και κατόπιν η μέση τιμή της διαμέτρου των σταγονιδίων του ελαίου σταδιακά μειώνεται.
- Σε μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης Tween-80 (1,5% και 2%) το γαλάκτωμα διατηρείται σταθερό, σύμφωνα με τις μετρήσεις της μέση τιμή της διαμέτρου των σταγονιδίων του ελαίου, η οποία πρακτικά παραμένει αμετάβλητη.
- Η παρουσία ελεύθερων λιπαρών οξέων ενδεχομένως συνεισφέρει στη σταθερότητα του γαλακτώματος
- Η προσθήκη Tween-80 σε περιεκτικότητες μεγαλύτερες του 1% οδηγούν σε μείωση της αγωγιμότητας.
- Με την πάροδο του χρόνου η τιμή του επιφανειακού δυναμικού ζ σε όλες τις διαφορετικές περιεκτικότητες επιφανειοδραστικής ουσίας γίνεται όλο και πιο αρνητική, γεγονός που επιβεβαιώνει τη σταθερότητα των γαλακτωμάτων αυτών με το χρόνο.
- Οι τιμές του δείκτη πολυδιασποράς PDI είναι πάντα ελαφρώς μεγαλύτερες της τιμής 0,2 και συνεπώς εμφανίζουν χαμηλή πολυδιασπορά. Τη μικρότερη διακύμανση (και μεγαλύτερη σταθερότητα) εμφανίζει η περίπτωση της προσθήκης tween-80 σε ποσοστό 2%, όπου στο ίδιο ποσοστό εμφανίζεται και η χαμηλότερη τελική τιμή.

Ελαιόλαδο οξύτητας 0,55

- Η καταλληλότερη περιεκτικότητα Tween-80 προκειμένου να διατηρηθεί το διάλυμα σταθερό είναι το 1%. Ενδεχομένως, λόγω της υψηλής οξύτητας αυξάνει το ποσοστό των ελεύθερων λιπαρών οξέων που συνεισφέρουν στη σταθερότητα του γαλακτώματος.
- Ενθαρρυντικό ως προς το ανωτέρω συμπέρασμα είναι το γεγονός ότι για οξύτητα 0,35 η καλύτερη περιεκτικότητα tween-80 είναι το 1,5% ενώ για οξύτητα 0,55 η καλύτερη περιεκτικότητα tween-80 είναι το 1%. Ουσιαστικά φαίνεται ότι η

αύξηση των ελεύθερων λιπαρών οξέων ανατρέπει τη μείωση της περιεκτικότητας του tween-80.

- Η προσθήκη Tween-80 σε περιεκτικότητα 2% οδηγεί σε σημαντική αύξηση της αγωγιμότητας.
- Σε κάθε περίπτωση οι τιμές του δυναμικού ζ είναι ισχυρά αρνητικές (της τάξης των -50 mV), γεγονός που υποδηλώνει σχετικά σταθερά γαλακτώματα. Μάλιστα, η τάση μεταβολής της τιμής του ζ είναι να γίνεται περισσότερο αρνητική με την πάροδο του χρόνου.
- Η μεγαλύτερη σταθερότητα στις τιμές του δείκτη πολυδιασποράς PDI εμφανίζεται και πάλι στην περίπτωση προσθήκης tween-80 σε ποσοστό 1%.

Επιπλέον, με το πέρας 4 μηνών από την παρασκευή των δειγμάτων:

- Τα γαλακτώματα στα οποία είχε προστεθεί Tween-80 σε περιεκτικότητα 2% εμφάνισαν τη μικρότερη μεταβολή στην τιμή της μέσης διαμέτρου των σταγονιδίων των διαφόρων ελαίων που χρησιμοποιήθηκαν.
- Η περίπτωση του γαλακτώματος του ελαιολάδου συγκέντρωσης 0,35 και περιεκτικότητας Tween-80 1% είναι η μοναδική η οποία εμφάνισε αύξηση της μέσης διαμέτρου των σταγονιδίων του ελαίου.
- Σε όλες τις περιπτώσεις των γαλακτωμάτων το δυναμικό ζ εμφάνισε τιμή της τάξης των -30 mV.
- Ο δείκτης πολυδιασποράς PDI παρέμεινε σε όλες τις περιπτώσεις κοντά στην τιμή 0,2 και ποτέ δεν ξεπέρασε την τιμή 0,5.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abbas, S., Bashari, M., Akhtar, W., Li, W. W., & Zhang, X. (2014). Process optimization of ultrasound-assisted curcumin nanoemulsions stabilized by OSA-modified starch. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(4), 1265–1274.

Acosta E.J., Yuan J.Sh. and Bhakta A.Sh. (2008). The Characteristic Curvature of Ionic Surfactants. *Journal of Surfactants and Detergents* 11(2): 145-158

Allouche J., Tyrode E., Sadtler V., Choplin L., and Salager J. (2004). Simultaneous conductivity and viscosity measurements as a technique to track emulsion inversion by the phase-inversion-temperature method. *Langmuir* 20(6): 2134–2140.

Barfod, N. M., & Sparsø, F. V. (2007). Structure and function of emulsifiers and their role in microstructure formation in complex foods. *Understanding and Controlling the Microstructure of Complex Foods*, 113–152.

Beadle J.B., Just D.E., Morgan R.E. and Reines R.A. (1965). Composition of corn oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 42:90-5

Belitz H.D., Grosch W., Schieberle P. (2015), *Χημεία Τροφίμων*, Εκδόσεις Τζιόλα, 4η έκδοση, ISBN 978-960-418-367-8

Boskou, D., (1996). *Culinary Applications of Olive Oil-Minor Constituents and Cooking*, Chapter 1,3, CRC Press.

Capek I. (2019) *Nanocomposite Structures and Dispersions*. Second Edition. Hardcover ISBN: 9780444637482, eBook ISBN: 9780444637550

Codex Alimentarius (2013), *Standard for olive oils and olive pomace oils*, CODEX STAN 33-1981

Dammak, I., and Sobral, P. J. A. (2018c). Investigation into the physicochemical stability and rheological properties of rutin emulsions stabilized by chitosan and lecithin. *Journal of Food Engineering*, 229, 12–20.

Gunstone, F.D., and Harwood, J.L., (2007). Chapter 2: Occurrence and characterization of oils and fats in *The Lipid Handbook*, Vol. 3, CRC Press.

Hasenhuettl GL, Hartel RW. (2019), *Food Emulsifiers and Their Applications*. Cham, Switzerland: Springer.

Kale S. & Deore S. (2017). Emulsion Micro Emulsion and Nano Emulsion: A Review, *Sys Rev Pharm*. 8 (1) (2017) 39–47.

Kheirati Rounizi S, Akrami Mohajeri F, Moshtaghi Broujeni H, Pourramezani F, Jambarsang S, Kiani H, Khalili Sadrabad E. (2021). The chemical composition and heavy metal content of sesame oil produced by different methods: A risk assessment study. *Food Science and Nutrition*, 17;9(6):2886-2893

Kralova I. & Sjöblom J. (2009) Surfactants Used in Food Industry: A Review, *Journal of Dispersion Science and Technology*, 30:9, 1363-1383

Liew, J. C. L., Nguyen, Q. D. & Ngothai, Y. (2008) The stability of N-dodecane/brine nanoemulsions produced by phase inversion temperature method. *Chemeca 2008 Conference*.)

McClements D. J. (2005). *Emulsions: principles, practice and techniques*. Boca Raton, CRC Press.

McClements, D. J. (2015). *Food emulsions: Principles, practices, and techniques*. London, UK: CRC press.

McClements D. J. (2016). *Food Emulsions - Principles, Practices, and Techniques - Third Edition*. CRC Press. Taylor & Francis Group.

McClements D. J. and Decker E. (2000). Lipid oxidation in oil-in-water emulsions: Impact of molecular environment on chemical reactions in heterogeneous food systems. *Journal of Food Science* 65(8): 1270–1282.

McClements D. J. and Rao J. (2011). Food-grade nanoemulsions: formulation, fabrication, properties, performance, biological fate, and potential toxicity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 51(4):285-330.

Ozturk, B., & McClements, D. J. (2016). Progress in natural emulsifiers for utilization in food emulsions. *Current Opinion in Food Science*, 7, 1–6.

Piorowski D. & McClements D.J. (2014). Beverage emulsions: Recent developments in formulation, production, and applications, *Food Hydrocoll.*5–41.

Rabail R, Shabbir MA, Sahar A, Miecznikowski A, Kieliszek M, Aadil RM. (2021). An Intricate Review on Nutritional and Analytical Profiling of Coconut, Flaxseed, Olive, and Sunflower Oil Blends. *Molecules*. 26(23):7187

Sheng J. (2011) *Modern chemical enhanced oil recovery: Theory and practice*, Gulf Professional Pub., Amsterdam Boston. ISBN: 978-1-85617-745-0

Tadros T., Izquierdo P., Esquena J. and Solans C. (2004). Formation and stability of nano-emulsions. *Advances in Colloid and Interface Science*. 108-109:303-18

Tyrode, E., J. Allouche, L. Choplin, and J. L. Salager (2005). Emulsion catastrophic inversion from abnormal to normal morphology. 4. Following the emulsion viscosity during three

inversion protocols and extending the critical dispersed-phase concept. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 44(1): 67–74.

Walstra, P. (1987). Fat crystallization. In *Food Structure and Behavior*, J. M. V. Blandshard and P. Lillford, eds. London, U.K.: Academic Press.

Wang, B., Cai, T., Liu, Q., Whitney, J. C. C., Du, M., Ma, Q., ... Cai, Y. (2018). Preparation and evaluation of spirulina polysaccharide nanoemulsions. *International Journal of Molecular Medicine*, 42(3), 1273–1282.

Withayapanyanon A., Harwell J.H. and Sabatini D.A. (2008). Hydrophilic-lipophilic deviation (HLD) method for characterizing conventional and extended surfactants. *Journal of Colloid and Interface Science*, 325(1):259-66.

Yang, Y., Cui, S. W., Gong, J., Guo, Q., Wang, Q., & Hua, Y. (2015). A soy protein-polysaccharides Maillard reaction product enhanced the physical stability of oil-in-water emulsions containing citral. *Food Hydrocolloids*, 48, 155–164.