

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**«Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
του Τμήματος Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας»**

**«ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ – ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΚΑΙ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»**

**Βαρβάρα Σταυρίδου**

**«Μελέτη της συνδυαστικής επίδρασης υπερήχων και του Κρόκου Κοζάνης  
(*Crocus Sativus L.*) στη ζύμωση του γάλακτος για την παρασκευή  
γιαουρτιού»**

**Λάρισα, 2024**

**Μελέτη της συνδυαστική επίδρασης υπερήχων και του Κρόκου Κοζάνης  
(*Crocus Sativus L.*) στη ζύμωση του γάλακτος για την παρασκευή  
γιαουρτιού**

**Research on the use of the combining effect of ultrasonics and Saffron  
Kozanis (*Crocus Sativus L.*) in milk's fermentation to produce yoghurt.**

**Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:**

**Γιαννούλη Περσεφόνη**

Επίκουρος Καθηγήτρια Τεχνολογίας και Ελέγχου Ποιότητας και Ασφάλειας Τροφίμων Φυτικής Προέλευσης, Τμήμα Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (Επιβλέπων)

**Λεωνίδας Δημήτριος**

Καθηγητής Βιοχημείας, Τμήμα Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

**Μπαλατσός Νικόλαος**

Αναπληρωτής Καθηγητής Βιοχημείας, Τμήμα Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ολοκληρώνοντας τη συγγραφή της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια της εργασίας αυτής, κ. Γιαννούλη Περσεφόνη, Επίκουρο Καθηγήτρια Τεχνολογίας και Ελέγχου Ποιότητας και Ασφάλειας Τροφίμων Φυτικής Προέλευσης, Τμήμα Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, για τη συνεχή υποστήριξή της, την πολύτιμη βοήθειά της και για την επιστημονική και συμβουλευτική καθοδήγηση της σε όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας και της συγγραφής της διπλωματικής εργασίας.

Το μεγαλύτερο ευχαριστώ στην οικογένειά μου που με στηρίζει πάντα, σε κάθε βήμα της ζωής μου και με αυτόν τον τρόπο παίρνω δύναμη για να πετύχω τους στόχους μου.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|                |        |
|----------------|--------|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ ..... | σελ. 8 |
|----------------|--------|

|                |         |
|----------------|---------|
| ABSTRACT ..... | σελ. 10 |
|----------------|---------|

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΙΑΟΥΡΤΙ ..... | σελ. 12 |
|----------------------------|---------|

|                                                                                                     |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1.1. Ορισμός .....                                                                                  | σελ. 12 |
| 1.2. Γιαούρτι και pH.....                                                                           | σελ. 13 |
| 1.3. Γιαούρτι και συναίρεση .....                                                                   | σελ. 14 |
| 1.4. Γιαούρτι και μικροοργανισμοί .....                                                             | σελ. 15 |
| 1.5. Εφαρμογή υπερήχων στα τρόφιμα και στην επεξεργασία γάλακτος για την παρασκευή γιαουρτιού ..... | σελ. 15 |

|                                                              |         |
|--------------------------------------------------------------|---------|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΡΟΚΟΣ ΚΟΖΑΝΗΣ ( <i>Crocus Sativus L.</i> )..... | σελ. 20 |
|--------------------------------------------------------------|---------|

|                                                          |         |
|----------------------------------------------------------|---------|
| 2.1. Συστατικά του κρόκου .....                          | σελ. 20 |
| 2.1.1. Βιοδραστικές ουσίες του κρόκου .....              | σελ. 21 |
| 2.2. Αντιοξειδωτική δράση του κρόκου.....                | σελ. 22 |
| 2.3. Δοσολογία και παρενέργειες του κρόκου.....          | σελ. 24 |
| 2.4. Κρόκος και γαλακτοκομικά προϊόντα .....             | σελ. 25 |
| 2.5. Εφαρμογή της τεχνικής των υπερήχων στον κρόκο ..... | σελ. 27 |

|              |         |
|--------------|---------|
| ΣΚΟΠΟΣ ..... | σελ. 28 |
|--------------|---------|

|                                    |         |
|------------------------------------|---------|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ..... | σελ. 29 |
|------------------------------------|---------|

|                                                          |         |
|----------------------------------------------------------|---------|
| 3.1. Παρασκευή γιαουρτιού με θέρμανση .....              | σελ. 29 |
| 3.2. Παρασκευή γιαουρτιού με την εφαρμογή υπερήχων ..... | σελ. 29 |
| 3.3. Προσδιορισμός pH .....                              | σελ. 29 |
| 3.4. Προσδιορισμός ικανότητας συγκράτησης νερού.....     | σελ. 30 |
| 3.5. Προσδιορισμός οξύτητας.....                         | σελ. 30 |
| 3.6. Προσδιορισμός χρώματος.....                         | σελ. 30 |
| 3.7. Προσδιορισμός δομής .....                           | σελ. 31 |
| 3.8. Προσδιορισμός μικροδομής .....                      | σελ. 31 |

|                                                          |                                                                                                                         |         |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 3.9.                                                     | Στατιστική ανάλυση.....σελ.                                                                                             | 31      |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....σελ. 32</b> |                                                                                                                         |         |
| 4.1.                                                     | Χρόνος διάρκειας παρασκευής γιαουρτιού με κρόκο.....σελ.                                                                | 33      |
| 4.2.                                                     | Μετρήσεις pH.....σελ.                                                                                                   | 35      |
| 4.2.1.                                                   | Αποτελέσματα μετρήσεων pH γιαουρτιού με κρόκο κατά την 1 <sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης .....                           | σελ. 35 |
| 4.2.2.                                                   | Αποτελέσματα μετρήσεων pH γιαουρτιού με κρόκο κατά την 7η ημέρα αποθήκευσης .....                                       | σελ. 36 |
| 4.2.3.                                                   | Αποτελέσματα μετρήσεων pH γιαουρτιού με κρόκο κατά την 14η ημέρα αποθήκευσης .....                                      | σελ. 37 |
| 4.3.                                                     | Μετρήσεις οξύτητας.....σελ.                                                                                             | 38      |
| 4.3.1.                                                   | Αποτελέσματα μετρήσεων οξύτητας γιαουρτιού με κρόκο κατά την 1 <sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης.....σελ.                  | 38      |
| 4.3.2.                                                   | Αποτελέσματα μετρήσεων οξύτητας γιαουρτιού με κρόκο κατά την 7η ημέρα αποθήκευσης .....                                 | σελ. 39 |
| 4.3.3.                                                   | Αποτελέσματα μετρήσεων οξύτητας γιαουρτιού με κρόκο κατά την 14η ημέρα αποθήκευσης .....                                | σελ. 40 |
| 4.4.                                                     | Μετρήσεις ικανότητας συγκράτησης νερού .....                                                                            | σελ. 41 |
| 4.4.1.                                                   | Αποτελέσματα μετρήσεων ικανότητας συγκράτησης νερού γιαουρτιού με κρόκο κατά την 1 <sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης ..... | σελ. 41 |
| 4.4.2.                                                   | Αποτελέσματα μετρήσεων ικανότητας συγκράτησης νερού γιαουρτιού με κρόκο κατά την 7η ημέρα αποθήκευσης.....σελ.          | 42      |
| 4.4.3.                                                   | Αποτελέσματα μετρήσεων ικανότητας συγκράτησης νερού γιαουρτιού με κρόκο κατά την 14η ημέρα αποθήκευσης.....σελ.         | 43      |
| 4.5.                                                     | Μετρήσεις χρώματος .....                                                                                                | σελ.    |
| 4.5.1.                                                   | Αποτελέσματα μετρήσεων χρώματος γιαουρτιού με κρόκο κατά την 1 <sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης.....σελ.                  | 45      |
| 4.5.2.                                                   | Αποτελέσματα μετρήσεων χρώματος γιαουρτιού με κρόκο κατά την 7η ημέρα αποθήκευσης .....                                 | σελ. 45 |
| 4.5.3.                                                   | Αποτελέσματα μετρήσεων χρώματος γιαουρτιού με κρόκο κατά την 14η ημέρα αποθήκευσης .....                                | σελ. 48 |
| 4.6.                                                     | Μετρήσεις δομής .....                                                                                                   | σελ. 55 |

|                                       |                                                                                                  |                |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 4.6.1.                                | Αποτελέσματα μετρήσεων δομής γιαουρτιού με κρόκο κατά την 1 <sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης ..... | σελ. 55        |
| 4.6.2.                                | Αποτελέσματα μετρήσεων δομής γιαουρτιού με κρόκο κατά την 7η ημέρα αποθήκευσης .....             | σελ. 56        |
| 4.6.3.                                | Αποτελέσματα μετρήσεων δομής γιαουρτιού με κρόκο κατά την 14η ημέρα αποθήκευσης .....            | σελ. 57        |
| 4.7.                                  | Μικροδομή .....                                                                                  | σελ. 60        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b> |                                                                                                  | <b>σελ. 63</b> |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>  |                                                                                                  | <b>σελ. 65</b> |

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η συνδυαστική επίδραση των υπερήχων και του Κρόκου Κοζάνης (*Crocus Sativus L.*) στη ζύμωση του γάλακτος για την παρασκευή γιαουρτιού. Για τον σκοπό αυτής της έρευνας, παρασκευάστηκαν έξι διαφορετικά δείγματα γιαουρτιού. Τα τρία δείγματα γιαουρτιού, με διαφορετικές περιεκτικότητες σκόνης Κρόκου Κοζάνης 0% w/w, 0,25% w/w, 0,5% w/w παρασκευάστηκαν με τη μέθοδο της θέρμανσης και τα άλλα τρία δείγματα γιαουρτιού με διαφορετικές περιεκτικότητες σκόνης Κρόκου Κοζάνης, 0% w/w, 0,25% w/w, 0,5% w/w, με τη μέθοδο των υπερήχων. Πραγματοποιήθηκε η αποθήκευση τους για 14 ημέρες και μελετήθηκαν οι μεταβολές στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους, όπως το pH, η οξύτητα, η ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC), το χρώμα, η δομή και η μικροδομή.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προσθήκη διαφορετικών συγκεντρώσεων κρόκου Κοζάνης στο γιαούρτι καθώς και η παρασκευή του με τη μέθοδο των υπερήχων, επηρεάζει σημαντικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του γιαουρτιού.

Η προσθήκη κρόκου μείωσε τον απαιτούμενο χρόνο για την ολοκλήρωση της ζύμωσης, ενώ ο συνδυασμός της προσθήκης κρόκου και της εφαρμογής υπερήχων τον αύξησε. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρήθηκε σταδιακή μείωση pH σε όλα τα δείγματα. Η οξύτητα αυξήθηκε σε όλα τα δείγματα κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και κατά την ολοκλήρωση της, τα εμπλουτισμένα με κρόκο δείγματα είχαν μεγαλύτερη οξύτητα. Στη συνέχεια, η προσθήκη κρόκου αύξησε τις τιμές ικανότητας συγκράτησης νερού την 1<sup>η</sup> και την 7<sup>η</sup> ημέρα της αποθήκευσης. Την 14<sup>η</sup> ημέρα αυτό το φαινόμενο παρατηρήθηκε μόνο στο δείγμα που είχε υποστεί υπέρηχους με συγκέντρωση 0.025% w/w.

Όσον αφορά στο χρώμα, τα δείγματα στα οποία προστέθηκαν συγκεντρώσεις κρόκου 0.025% w/w και 0.05% w/w, εμφάνισαν κιτρινο-πορτοκαλί και πορτοκαλί χρώμα, αντίστοιχα. Αρχικά, παρατηρείται μείωση της φωτεινότητάς τους, στη συνέχεια όμως την 7<sup>η</sup> και την 14<sup>η</sup> ημέρα της αποθήκευσης, είναι αυξημένη σε σύγκριση με τα αντίστοιχα control τους. Και στις δυο μεθόδους επεξεργασίας, όσον αφορά στην παράμετρο  $a^*$  και  $b^*$ , η προσθήκη κρόκου αύξησε σημαντικά την ερυθρότητα και το κιτρίνισμα, αντίστοιχα, τα οποία διατηρήθηκαν και κατά την αποθήκευση. Τέλος, οι υψηλότερες τιμές σκληρότητας σημειώθηκαν στα δείγματα

συγκέντρωσης κρόκου 0.025% w/w, είτε αυτά παρασκευάστηκαν με τη μέθοδο των υπερήχων, είτε χωρίς. Η συνδυαστική επίδραση υπερήχων και η προσθήκη κρόκου συγκέντρωσης 0.05% w/w δημιούργησε διαφορετική μικροδομή στο συγκεκριμένο γιαούρτι από τα υπόλοιπα δείγματα.

**Λέξεις-κλειδιά:** γιαούρτι, κρόκος Κοζάνης, υπέρηχοι, συντήρηση

## ABSTRACT

The current thesis proposal studies the effect of combining ultrasonics and Saffron Kozanis (*Crocus Sativus L.*) in milks fermentation to produce yoghurt. Six different yoghurt samples were produced for the purpose of this research. The three yoghurt specimens were prepared with different powder content of Saffron Kozanis 0%w/w, 0.25%w/w, through the heating method. However, the other specimens were prepared with different powder content of Saffron Kozanis, 0%w/w, 0.25%w/w, 0.5%w/w by using the ultrasonic method. The samples have been stored for 14 days. The modifications on their sensory evaluation concerning pH, acidity, water holding capacity (WHC), color and their structure were evaluated.

The results indicated that adding different amounts of Saffron in yoghurt and producing it with the method of ultrasonic affects its quality characteristics remarkably.

Firstly, by adding Saffron into the specimens the required amount of time to complete the stage of fermentation diminished. Nevertheless, the combination of Saffron and the use of ultrasonic method increased the fermentation time. Also, it is important to mention that a stable pH decline was noted during the storage procedure. The specimens that were imbedded with Saffron and fermented with ultrasonics were reported to have slight lower pH on the last day of storage. Another fact is that acidity augmented in all specimens during the storage procedure and upon the completion. The imbedded specimens with Saffron depicted a higher amount of acidity. Continuing our research, it was reported that the rates of the ability to retain water were augmented on the 1<sup>st</sup> and 7<sup>th</sup> day whereas this phenomenon occurred only on the 14<sup>th</sup> day in the specimen that was fermented with the ultrasonic effect with 0.025%w/w.

Concerning the color, the specimens that were added with Saffron 0.025%w/w and 0.05% w/w became yellow- orange and orange irrespectively. During the first stage, there is a decline in their brightness. Afterwards on the 7<sup>th</sup> and 14<sup>th</sup> day of storage brightness seems to increase in comparison to their controls. Last but not least, it was indicated that adding Saffron in these two processes, ruddiness and yellow concerning the parameters a\* and b\* were increased and remained on this level during the storage period. Finally, the higher rates of stiffness were depicted in

the specimens of Saffron, 0.025% w/w that were prepared with both methods. The combined addition of ultrasound and crocus concentration of 0.05% w/w created a different microstructure in this particular yogurt than the rest of the samples.

**Keywords:** yoghurt, saffron Kozanis, ultrasonics, maintenance

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΙΑΟΥΡΤΙ

## 1.1. Ορισμός

Σύμφωνα με τον Κώδικα Τροφίμων και Ποτών, «γιαούρτι» χαρακτηρίζεται το γαλακτοκομικό προϊόν, το οποίο παράγεται από τη ζύμωση και πήξη του γάλακτος, με τη χρήση των καλλιεργείων – εκκινητών *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* και *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, ώστε το τελικό ζυμωμένο προϊόν να περιέχει τουλάχιστον 107cfu/g προϊόντος, μέχρι την ημερομηνία ανάλωσής του. Η περιεκτικότητα του γιαουρτιού σε πρωτεΐνη, θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 3,2% από αγελαδινό ή γίδινο γάλα, και τουλάχιστον 5,5% από πρόβειο γάλα. Το γάλα που θα χρησιμοποιηθεί με σκοπό την παραγωγή γιαουρτιού θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από την απουσία αντιβιοτικών και άλλων αντιμικροβιακών παραγόντων, τα οποία συντελούν και στη παρεμπόδιση της ανάπτυξης των βακτηρίων που προστίθενται στην καλλιέργεια εκκίνησης (ΦΕΚ 2457/Β/09.08.2016).

Η παραγωγή γιαουρτιού γίνεται επιτυχής με τη θέρμανση του γάλακτος στους 82-85°C για 30 λεπτά, καταστρέφοντας τους παθογόνους μικροοργανισμούς και τη φυσική μικροχλωρίδα του γάλακτος. Έτσι, η καλλιέργεια δρα αποτελεσματικά δημιουργώντας φυσικοχημικές μεταβολές στο γάλα οι οποίες συμβάλλουν στη βελτίωση της συνεκτικότητας του γιαουρτιού. Στη συνέχεια, το γάλα ψύχεται στους 40-42°C, εμβολιάζεται με καλλιέργεια, αποτελούμενη από τα γαλακτικά βακτήρια *Streptococcus thermophilus* και *Lactobacillus bulgaricus* και επωάζεται σε θερμοκρασία 41-42°C. Τα βακτήρια αυτά ζυμώνουν τη λακτόζη του γάλακτος προς γαλακτικό οξύ με αποτέλεσμα τη σταδιακή μείωση του pH (μέχρι να φτάσει την τιμή 4.6), όπου διακόπτεται η επώαση. Ταυτόχρονα, πραγματοποιείται και πήξη του γάλακτος. Τέλος, το γιαούρτι ψύχεται, αναστέλλοντας έτσι την ανάπτυξη των μικροοργανισμών της καλλιέργειας καθώς και την περεταίρω οξίνισή του.

## 1.2. Γιαούρτι και pH

Η παρακολούθηση του pH είναι ένας καθοριστικός παράγοντας για την παραγωγή ποιοτικού γιαουρτιού. Το σημείο ρύθμισης κυμαίνεται μεταξύ pH 4,0 και 4,6, και σε αυτές τις τιμές η ζύμωση διακόπτεται με γρήγορη ψύξη. Στο συγκεκριμένο επίπεδο pH, η ποσότητα γαλακτικού οξέος που υπάρχει στο γιαούρτι

είναι ιδανική για αυτό, καθώς δρα ως συντηρητικό έναντι στα ανεπιθύμητα στελέχη βακτηρίων, βοηθάει στην πήξη και ταυτόχρονα δίνει έτσι τη χαρακτηριστική τρυφερότητα του γιαουρτιού.

Πιο συγκεκριμένα, καθώς παράγεται γαλακτικό οξύ, υπάρχει σχετική πτώση pH του γάλακτος στο ισοηλεκτρικό σημείο της καζεΐνης (pH 4,6), το οποίο οδηγεί στη διαλυτοποίηση του κolloειδούς του φωσφορικού ασβεστίου, το οποίο υπό κανονικές συνθήκες διατηρεί ενωμένα τα μικύλια καζεΐνης, προκαλώντας έτσι απώλεια της σταθερότητάς τους. Το αποτέλεσμα είναι το μικύλιο καζεΐνης να γίνεται ασταθές, να πήζει και να σχηματίζει έτσι τρισδιάστατα πρωτεϊνικά δίκτυα, όπου παγιδεύεται ο ορός γάλακτος. (Asaduzzaman et al., 2021)

Ταυτόχρονα, κατά τη διάρκεια παραγωγής γιαουρτιού, το γάλα θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία (π.χ. 85°C για 30 λεπτά) προκαλώντας τη μετουσίωση των πρωτεϊνών του ορού γάλακτος. Έπειτα, κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, αυτές οι μετουσιωμένες πρωτεΐνες του ορού γάλακτος αλληλοεπιδρούν και έτσι συνδέονται με τα διασπασμένα καζεϊνικά μέρη, μέσω δισουλφιδικού δεσμού (Lee & Lucey, 2006). Ως αποτέλεσμα αυξάνεται ο αριθμός και η σταθερότητα των νέων δεσμών, επομένως ευνοείται και η δημιουργία πιο σταθερού και συνεκτικού πλέγματος. Αυτός ο σχηματισμός δεσμού επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως η θερμοκρασία, ο χρόνος της θέρμανσης, η συγκέντρωση της πρωτεΐνης και το pH του γάλακτος (Asaduzzaman et al., 2021).

### **1.3. Γιαούρτι και συναίρεση**

Συναίρεση ονομάζεται ο διαχωρισμός υγρού, στην περίπτωση αυτή, του ορού από τα στερεά του γάλακτος. Αυτό μπορεί να συμβεί εάν σταματήσει η ζύμωση νωρίς ή πολύ αργά, με αποτέλεσμα το γιαούρτι να είναι πολύ αλκαλικό ή πολύ όξινο, αντίστοιχα. Είναι σημαντικό η ζύμωση να σταματήσει στο κατάλληλο pH ώστε το γιαούρτι να παραμείνει σταθερό στην υφή.

Οι κύριες πρωτεΐνες του ορού γάλακτος που έχουν σημαντικό ρόλο στο πήξιμο του γιαουρτιού είναι η α-γαλακταλβουμίνη και η γαλακτογλοβουλίνη. Η θερμοκρασία και ο χρόνος θέρμανσης του γάλακτος παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του τελικού προϊόντος, καθώς υπάρχουν δύο ενδεχόμενα. Αν η θέρμανση γίνει στη κατάλληλη θερμοκρασία και χρόνο (π.χ. 85°C για 30 λεπτά) τότε

και οι δύο πρωτεΐνες μετουσιώνονται με αποτέλεσμα το γιαούρτι να εμφανίζει μικρότερη συναίρεση. Αντίθετα, αν η θέρμανση γίνει σε χαμηλότερη θερμοκρασία τότε στην πήξη συμμετέχει κυρίως η γαλακτογλοβουλίνη, λόγω της αναστρέψιμης μετουσίωσης της γαλακταλβουμίνης, γεγονός που οδηγεί σε γιαούρτι με αυξημένη συναίρεση (Faers et al., 2006; Van Vliet et al., 2004).

Επίσης, η συναίρεση επηρεάζει τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του γιαουρτιού. Κατά την πήξη του γάλακτος, οι πρωτεΐνες σχηματίζουν ένα τρισδιάστατο πλέγμα, καθώς ενώνονται με δεσμούς μεταξύ τους. Όσο όμως αλλάζουν οι φυσικοχημικές παράμετροι του περιβάλλοντος, όπως για παράδειγμα το pH, τότε το τρισδιάστατο πλέγμα των πρωτεϊνών μεταβάλλεται και είτε συστέλλεται είτε διαστέλλεται με αποτέλεσμα να μειώνεται ή να αυξάνεται η ποσότητα του νερού που κατακρατείται από αυτό. Εφόσον η ποσότητα του νερού που υπάρχει στο δείγμα αλλάζει, θα αλλάζουν και τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του γιαουρτιού, δεδομένης της αλλαγής στο ιξώδες. Κατά συνέπεια, ένας τρόπος ακόμα για την αξιολόγηση των ρεολογικών ιδιοτήτων των γιαουρτιών είναι η αξιολόγηση της συναίρεσης ή και της ικανότητας τους να συγκρατούν νερό (water holding capacity, WHC), που στην ουσία είναι το αντίστροφο της συναίρεσης (Παπαϊωάννου, 2022).

#### 1.4. Γιαούρτι και μικροοργανισμοί

Η συνύπαρξη δύο ή περισσότερων μικροοργανισμών έχει ως αποτέλεσμα τον ταχύτερο ρυθμό ανάπτυξης των κυττάρων και την ταυτόχρονα την ταχύτερη πήξη του γάλακτος, όταν οι μικροοργανισμοί προστίθενται στο γάλα για την παρασκευή γιαουρτιού. Στις εμπορικές καλλιέργειες, ως μικροοργανισμοί εκκίνησης, χρησιμοποιούνται συνήθως ο *S. thermophilus* και ο *L. delbrueckii subsp. bulgaricus*.

Η ζύμωση των βακτηρίων έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα, μυρμηκικού οξέος, πεπτιδίων και αμινοξέων. Η ταυτόχρονη ανάπτυξη των μικροοργανισμών αυτών συντελεί στη μεγαλύτερη παραγωγή οξέος αποδίδοντας καλύτερη γεύση στο τελικό προϊόν συγκριτικά με τη χρήση μιας καλλιέργειας εκκίνησης (Παπαϊωάννου, 2022).

Τα δύο θερμοφιλά βακτήρια του γαλακτικού οξέος, *S. thermophilus* και *L. delbrueckii subsp. bulgaricus*, υδρολύουν τη λακτόζη σε γαλακτόζη και γλυκόζη. Η γαλακτόζη δεν ζυμώνεται ενώ η γλυκόζη μετατρέπεται σε γαλακτικό οξύ,

ακολουθώντας ομοζυμωτικό μεταβολισμό. Ο τρόπος που δρουν τα δύο είδη στο γάλα είναι συνεργιστικός ώστε να ωφελούνται και τα δύο. Έτσι δημιουργείται η μεγάλη ανάπτυξη τους, η μείωση του pH, η μεγαλύτερη παραγωγή αρωματικών ενώσεων και εξωπολυσακχαριτών και η πρωτεϊνική υδρόλυση.

### **1.5. Εφαρμογή υπερήχων στα τρόφιμα και στην επεξεργασία γάλακτος για την παρασκευή γιαουρτιού**

Διάφορες παραδοσιακές μέθοδοι επεξεργασίας και συντήρησης, όπως η ξήρανση, το τηγάνισμα, το κάπνισμα, το αλάτισμα, το τουρσί, το μούλιασμα κ.λπ. εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται άφθονα και αποτελεσματικά για την επεξεργασία ωμών προϊόντων διατροφής. Η βασική αρχή για τις περισσότερες από τις παραδοσιακές μεθόδους επεξεργασίας τροφίμων εξαρτάται από την κατανάλωση θερμότητας για τη μείωση της ανάπτυξης μικροοργανισμών και την αναστολή των τροφιμογενών παθογόνων, που καθιστούν τα τρόφιμα ασφαλή για κατανάλωση (Negi, 2012). Όμως, υπάρχουν και πολλά τρόφιμα που αποτελούν απειλή βακτηριακής ή ιικής δηλητηρίασης, για τα οποία η επεξεργασία με θερμότητα μπορεί να μην είναι επιθυμητή. Αυτά τα θερμικά ευαίσθητα τρόφιμα κατά την έκθεση σε θερμική επεξεργασία μπορεί να υποστούν φυσικές, χημικές και μικροβιακές αλλαγές όπως τροποποίηση γεύσης, χρώματος και υφής. Έτσι έχει δημιουργηθεί η ανάγκη για έρευνα και ανάπτυξη για τη μέγιστη αξιοποίηση των υφιστάμενων τεχνολογιών και την εμφάνιση καινοτόμων και αποτελεσματικών εναλλακτικών τεχνολογιών (Misra, N. N. et al. 2016). Μία από αυτές τις νέες μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία τροφίμων είναι και οι υπέρηχοι.

Τα ηχητικά κύματα που υπερβαίνουν το εύρος των ακουστικών συχνοτήτων, δηλαδή μεγαλύτερα από 20 kHz, ονομάζονται υπέρηχοι. Όταν τα ακουστικά κύματα διαδίδονται σε ένα μέσο, δημιουργούν συμπίεσεις και αραιώσεις (αποσυμπίεσεις) στα σωματίδια του μέσου. Αυτό με τη σειρά του, παράγει μεγάλη ποσότητα ενέργειας, λόγω αναταράξεων και αύξησης της μεταφοράς μάζας. Οι υπέρηχοι είναι μια αναδύομενη βιώσιμη τεχνολογία που ενισχύει το ρυθμό πολλών διεργασιών στη βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων και την αποτελεσματικότητά τους. Μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία (thermosonication) και την πίεση (manosonication) για να παράγει ένα συνεργιστικό αποτέλεσμα, το οποίο

ενισχύει περαιτέρω την αποτελεσματικότητά του (Condón-Abanto et al., 2016). Τα κύματα υπερήχων που εφαρμόζονται στα τρόφιμα χωρίζονται σε δυο τύπους, στα χαμηλής ενέργειας (χαμηλή ισχύς, υψηλή συχνότητα), όπου χρησιμοποιούνται εντάσεις κάτω από 1 W/cm<sup>2</sup> και συχνότητες πάνω από 100 kHz και στα υψηλής ενέργειας (υψηλής ισχύς, χαμηλής συχνότητας), όπου γίνεται η εφαρμογή συχνοτήτων μεταξύ 20 και 100 kHz και εντάσεων πάνω από 1 W/cm<sup>2</sup> (Mason et al. 2011). Για τη μέτρηση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των τροφίμων, όπως για παράδειγμα η οξύτητα, τα σάκχαρα, η ωριμότητα, οι πρωτεϊνικές αλληλεπιδράσεις κ.α. γίνεται χρήση των υπερήχων χαμηλής ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή, οι τεχνικές είναι μη καταστρεπτικές. Αντίθετα, οι υψηλής ενέργειας υπέρηχοι δημιουργούν αλλαγή στις φυσικοχημικές ιδιοότητες των τροφίμων (Soria & Villamiel, 2010), καθώς και αδρανοποίηση των μικροοργανισμών στα τρόφιμα (Piyasena et al., 2003).

Η επεξεργασία τροφίμων με υπερήχους αποτελώντας μη θερμική διεργασία, θα μπορούσε να επιφέρει μεγάλης κλίμακας βελτιώσεις σε διάφορες διαδικασίες της βιομηχανίας τροφίμων, συμπεριλαμβανομένης και των γαλακτοκομικών προϊόντων. Η χρήση υπερήχων στη συγκεκριμένη βιομηχανία ενδείκνυται για την ομογενοποίηση του γάλακτος, καθώς έρευνες έχουν δείξει ότι προκαλεί μείωση της διαμέτρου των λιποσφαιρίων, παράλληλα δημιουργεί δομικές αλλαγές στη μεμβράνη τους και αποτρέπει τη δημιουργία συσσωματωμάτων. Όσο περισσότερο το γάλα εκτίθεται στους υπέρηχους, τόσο αποκτούν μικρότερο μέγεθος τα λιποσφαιρίδια. Έτσι, βελτιώνεται η ομογενοποίηση, σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους (Chandrapala et al., 2013).

Οι υπέρηχοι υψηλής έντασης προκαλούν αλλαγές που εξαρτώνται από τη φύση των πρωτεϊνών, καθώς και τον βαθμό μετουσίωσης και συσώρευσής τους. Επιπλέον, δεν υπάρχει δημιουργία της χαρακτηριστικής στοιβάδας λιπιδίων στην επιφάνειά του γάλακτος διότι κατά την ομογενοποίηση του τα λιποσφαίρια κατανέμονται ομοιόμορφα στο γάλα.

Μειώνοντας του μεγέθος των λιποσφαιρίων, αυξάνεται η επιφάνειά τους, όπου εκεί απορροφούνται πρωτεΐνες από τον ορό του γάλακτος, κυρίως καζεΐνες. Επιπλέον, με τη χρήση των υπερήχων προκαλούνται αλλαγές στη δευτεροταγή δομή των πρωτεϊνών του ορού γάλακτος ή και μετουσίωση αυτών (Liu et al., 2014).

Ακόμη, έχει αποδειχθεί ότι η χρήση υπερήχων κατά την επεξεργασία του γάλακτος, έχει τη δυνατότητα να μειώσει το περιεχόμενο μικροβιακό φορτίο.

Κατά τη διάρκεια της επώασης για την παραγωγή γιαουρτιού από ομογενοποιημένο γάλα, με χρήση υπερήχων, παρατηρείται αύξηση στο χρόνο ζύμωσης. Ωστόσο, το τελικό παραγόμενο προϊόν έχει καλύτερα αντικειμενικά χαρακτηριστικά σε σύγκριση με το γιαούρτι που προέρχεται από τη συμβατική ομογενοποίηση. Πιο συγκεκριμένα, έχει παρατηρηθεί αύξηση του ιξώδους και της ικανότητας συγκράτησης νερού στο πήγμα και μείωση της συναίρεσης σε γιαούρτια που το γάλα έχει ομογενοποιηθεί με εφαρμογή υπερήχων (Hongyu et al., 2000a; Sfakianakis & Tzia, 2014).

Σύμφωνα με τους Wu et al. (2001), η εφαρμογή των υπερήχων σε γάλα το οποίο έχει μόλις εμβολιαστεί με καλλιέργεια προς παρασκευή γιαουρτιού, οδηγεί σε μικρότερο χρόνο ζύμωσης και σε αύξηση του ιξώδους του πηγματος και της ικανότητας συγκράτησης ύδατος αυτού. Ωστόσο έχει αρνητική επίδραση στη συναίρεση του γιαουρτιού.

Έχει βρεθεί ότι η ομογενοποίηση του γάλακτος με υπερήχους πριν από τον εμβολιασμό του εκκινητή βελτιώνει το ιξώδες στο γιαούρτι (Hongyu et al., 2000b). Μια άλλη μελέτη, έδειξε ότι η ταυτόχρονη εφαρμογή θερμότητας (40°C) και υπερήχων (12 δευτ. στα 20 kHz) υπό μέτρια πίεση βελτιώνει τις ρεολογικές ιδιότητες του γιαουρτιού (Vercet et al., 2002a). Επίσης, έχει βρεθεί ότι η υποκατάσταση της θερμικής παστερίωσης με επεξεργασία υπερήχων παρέχει βέλτιστες συνθήκες για την ανάπτυξη βακτηρίων γαλακτικού οξέος (Kartalska et al., 2013). Η επεξεργασία με υπερήχους έχει θετική επίδραση στη διαδικασία ζύμωσης, πιθανώς λόγω της ομογενοποίησης του κolloειδούς συστήματος του γάλακτος υπό υπερήχηση. Σε μία άλλη μελέτη διαπιστώθηκε ότι το γιαούρτι γάλακτος που περιέχει 1,5 ή 3,5% λιπαρά και επεξεργάστηκε με θερμική επεξεργασία (45°C, 10 λεπτά, 24 kHz) είχε σχεδόν διπλάσια ικανότητα συγκράτησης νερού και καλές ιδιότητες υφής (Riener et al., 2009). Τέλος, έχουν παρασκευαστεί ροφήματα γιαουρτιού χρησιμοποιώντας δείγματα γάλακτος επεξεργασμένα με συνδυασμό υπερήχων και θερμότητας (70°C, 100, 125 και 150 W) και παρατηρήθηκε ότι προκάλεσε σημαντική μείωση στις τιμές διαχωρισμού ορού, ενώ το ιξώδες αυξήθηκε με την ισχύ υπερήχων συγκριτικά με τη συμβατική μέθοδο (Gursoy et al., 2016a).

Η εφαρμογή υπερήχων είναι μια μέθοδος, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παστερίωση του γάλακτος με αποτέλεσμα τη λήψη ενός τελικού προϊόντος υψηλότερης ποιότητας και ταυτόχρονα μειωμένης μικροβιακής περιεκτικότητας. Η αποτελεσματικότητα του υπερήχου ως τεχνικής απολύμανσης μπορεί να ενισχυθεί συνδυάζοντάς τον με άλλες εφαρμογές όπως η πίεση, η θερμότητα και τα αντιμικροβιακά διαλύματα. Οι υπέρηχοι έχουν μελετηθεί ως εναλλακτική λύση στη θερμική παστερίωση, καθώς παρατηρήθηκε μείωση της παρουσίας πιθανών παθογόνων σε αμελητέα ή αποδεκτά επίπεδα. Ο αριθμός των βιώσιμων κυττάρων των *E. coli*, *Pseudomonas fluorescens* και *Listeria monocytogenes* μειώθηκε σχεδόν κατά 100% μετά από 10 λεπτά εφαρμογής των υπερήχων, χωρίς επιβλαβείς επιπτώσεις στη συνολική περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες ή μιας συγκεκριμένης πρωτεΐνης, που περιείχε το παστεριωμένο γάλα (Carrillo-Lopez et al., 2017). Ωστόσο, η υπερήχηση ήταν αναποτελεσματική στην απενεργοποίηση των ενζύμων αλκαλικής φωσφατάσης και λακτοϋπεροξειδάσης, που χρησιμοποιούνται τακτικά από τη γαλακτοβιομηχανία, ως δείκτες της αποτελεσματικότητας των θερμικών διεργασιών (Cameron et al., 2009).

Θα μπορούσε να προκύψει το συμπέρασμα ότι οι υπέρηχοι έχουν πολύ καλό αποτέλεσμα ομογενοποίησης γάλακτος σε σύγκριση με τη συμβατική ομογενοποίηση. Η επεξεργασία με θέρμανση σε συνδυασμό με υπέρηχους, ενδέχεται να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στην παραγωγή ροφήματος γιαουρτιού και να βελτιώσει τις κύριες ποιοτικές του παραμέτρους, όπως ο καθυστερημένος διαχωρισμός ορού και το αυξημένο ιξώδες. Γενικά, οι υπέρηχοι υψηλής έντασης φαίνεται να είναι μια πιθανή εναλλακτική λύση στη συμβατική επεξεργασία για την απόκτηση προϊόντων καλής ποιότητας (Carrillo-Lopez et al., 2017).

Η βελτίωση των ρεολογικών ιδιοτήτων του γιαουρτιού από την εφαρμογή υπερήχων σε αυτό εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως είναι οι συνθήκες υπερήχησης (συχνότητα, ισχύς, πλάτος, χρόνος), στάδιο εφαρμογής υπερήχων (πριν/κατά/μετά τη ζύμωση), η σύνθεση του γάλακτος (πλήρες γάλα, αποβουτυρωμένο γάλα, ορός γάλακτος ή συμπυκνώματα πρωτεΐνης γάλακτος) και οι συνθήκες επεξεργασίας (pH, θερμοκρασία, πίεση). Επομένως, είναι πολύ σημαντικός ο έλεγχος αυτών των κρίσιμων παραμέτρων για τη βελτίωση των ρεολογικών ιδιοτήτων του γιαουρτιού (Silva et al., 2022).

Ορισμένες έρευνες έδειξαν ότι η εφαρμογή υπερήχων μπορεί να επιφέρει μειονεκτήματα υπό ορισμένες συνθήκες. Οι μεγαλύτεροι χρόνοι υπερήχησης μπορεί να έχουν δυσμενή επίδραση στην ικανότητα συγκράτησης νερού και στο σχηματισμό πηκτωμάτων (Higuera-Barraza et al., 2016a; Vercet et al., 2002b). Επίσης, η παρατεταμένη υπερήχηση προκάλεσε τη διάσπαση των πρωτεϊνών ορού γάλακτος από τα σχηματισμένα συσσωματώματα (Sfakianakis et al., 2015) και η περαιτέρω μείωση του μεγέθους των σφαιριδίων του λίπους έχει ως αποτέλεσμα την αποδυνάμωση του πηκτώματος με αυξημένη συναίρεση (Körzendörfer et al., 2018). Επιπλέον, αναφέρθηκε ότι δονήσεις χαμηλής συχνότητας (1000 Hz) κατά τα πρώτα στάδια της ζελατινοποίησης έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση συναίρεσης (Abesinghe et al., 2019). Αυτό υπογραμμίζει τη σημασία των παραμέτρων επεξεργασίας για τα ρεολογικά οφέλη και τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να ρυθμιστούν αυτές οι παράμετροι για να ληφθεί ένα γιαούρτι καλής ποιότητας (Silva et al., 2022).

Παρόλο που υπάρχουν πολλά γαλακτώματα γιαουρτιού ή γαλακτοκομικά, που έχουν αναπτυχθεί με την προσθήκη θρεπτικών ουσιών, προβιοτικών και πρεβιοτικών, ο τρόπος με τον οποίο αυτά τα συστατικά αλληλεπιδρούν με άλλα συστατικά του γάλακτος, που επηρεάζονται από τον υπέρηχο, δεν έχει ακόμη μελετηθεί επαρκώς. Απαιτούνται οι συσχετισμοί του τρόπου με τον οποίο αυτά τα βιοδραστικά/θρεπτικά αυξάνουν τη βιοδιαθεσιμότητα και τη βιοδραστηριότητά τους υπό την επίδραση αυτών των τεχνολογιών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΡΟΚΟΣ ΚΟΖΑΝΗΣ (*Crocus Sativus* L.)

Ο κρόκος είναι ένα από τα πιο ακριβά γαστρονομικά φυτά, που χρησιμοποιείται ως συστατικό τροφίμων και λειτουργεί ως συντηρητική και χρωστική ουσία. Παρασκευάζεται από τα αποξηραμένα στίγματα του λουλουδιού ή συλλογή των οποίων ξεκινάει το φθινόπωρο, λίγες μέρες μετά το άνοιγμα των λουλουδιών. Τα στίγματα του κρόκου αφαιρούνται με το χέρι από τα λουλούδια, γεγονός που επηρεάζει την ποιότητα και την τιμή του κρόκου (Wang et al., 2021)

### 2.1. Συστατικά του κρόκου

Οι χρήσεις του κρόκου στα τρόφιμα σχετίζονται με τρεις σημαντικές ιδιότητες του, τη χρωστική του δύναμη, την πικρή γεύση και το άρωμα που χαρακτηρίζεται ως λουλουδένιο. Το έντονο κίτρινο χρώμα των στιγμάτων του κρόκου και κατά συνέπεια των υδατικών ή αλκοολικών εκχυλισμάτων του οφείλεται στην παρουσία καροτενοειδών, κροκετίνη και κροκίνη. Χάρη σε αυτές τις χρωστικές που περιέχει, ο κρόκος είναι από τα σπάνια εκείνα αρτύματα τα οποία είναι σε θέση να δώσουν χρώμα, γεύση και άρωμα στις τροφές. Η πικρή γεύση αποδίδεται στην πικροκροκίνη ενώ η σαφρανάλη είναι το κύριο πτητικό συστατικό του αρώματος σαφράν (Ordoudi & Tsimidou, 2006; Tarantilis et al., 1995).

Η κροκετίνη ( $C_{20}H_{24}O_4$ ) είναι ένα καροτενοειδές, που χαρακτηρίζεται από διτερπενική συμμετρική δομή με επτά διπλούς δεσμούς και τέσσερις μεθυλικές ομάδες. Η αλυσίδα της σταθεροποιείται στα άκρα με δύο καρβοξυλικές ομάδες. Είναι ελάχιστα υδατοδιαλυτή, αλλά εμφανίζει υψηλή διαλυτότητα σε οργανικούς διαλύτες. Προέρχεται από το καροτενοειδές, ζεαξανθίνη και σε συνδυασμό με τη γλυκοζυλίωση μετατρέπεται σε κροκίνες (Giaccio, 2004). Οι κροκίνες είναι γλυκοζίτες της κροκετίνης και είναι ασυνήθιστα υδατοδιαλυτά καροτενοειδή. Η κροκετίνη παρασκευάζεται με αλκαλική υδρόλυση και στη συνέχεια με οξίνιση εκχυλίσματος στιγμάτων κρόκου σε νερό, ενώ η διμεθυλοκροκετίνη με αλκαλική υδρόλυση σε μεθανόλη.

Η ποιότητα του κρόκου καθορίζεται από τη χρωστική του ικανότητα (ποσοστό κροκινών), αλλά καλύτερης ποιότητας κρόκος θεωρείται εκείνος που επιπροσθέτως υπερέχει στο άρωμα και στη γεύση. Το άρωμα του κρόκου αποδίδεται στην

σαφρανάλη, το πτητικό συστατικό που βρίσκεται στην πιο υψηλή αναλογία στον κρόκο. Η χαρακτηριστική πικάντικη γεύση των στιγμάτων του κρόκου προέρχεται από την πικροκροκίνη, η οποία είναι ένας γλυκοζίτης της σαφρανάλης.

Η σαφρανάλη (C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>O), είναι μια μονοτερπενική αλδεΐδη η οποία θεωρείται ότι σχηματίζεται, κατά τη διάρκεια της ξηράνσεως των στιγμάτων, από την πικροκροκίνη, με ενζυματική ή όξινη υδρόλυση, και αποτελεί το κύριο συστατικό του αιθέριου ελαίου, στο οποίο οφείλεται το χαρακτηριστικό άρωμα του κρόκου. Η ονομασία της προήλθε από τους ερευνητές Kuhn και Winterstein, οι οποίοι ήταν και οι πρώτοι που την απομόνωσαν με υδρόλυση από την πικροκροκίνη. Λόγω της μη πολικής της φύσης και του σχετικά χαμηλού μοριακού της βάρους παρουσιάζει καλύτερη διάχυση δια της κυτταρικής μεμβράνης και ως εκ τούτου επιτρέπει ταχύτερη βιολογική δράση (Escribano et al., 1996; Giaccio, 2004).

Τα στίγματα του κρόκου, εκτός από τις κροκίνες, την πικροκροκίνη και τη σαφρανάλη, πιθανώς να περιέχουν και άλλα καροτενοειδή όπως α-, β- και καροτένιο, ζεαξανθίνη, και λυκοπένιο καθώς και λιπαρές ουσίες σε πολύ μικρό ποσοστό. Επιπλέον, στο αιθέριο έλαιο του κρόκου απαντώνται η ιζοφορόνη καθώς και άλλα τερπενοειδή (Tarantilis & Polissiou, 1997).

### **2.1.1. Βιοδραστικές ουσίες του κρόκου**

Μια μεγάλη ομάδα βιοδραστικών συστατικών αποτελούν οι φυτοχημικές ουσίες, οι οποίες είναι φυσικές και χημικές ενώσεις, που βρίσκονται στα φυτά και παρέχουν οφέλη στην υγεία του άνθρωπο πέραν των μακροθρεπτικών και τα μικροθρεπτικών συστατικών (Hasler & Blumberg, 1999). Μπορούν να βρεθούν σε διάφορα μέρη των φυτών, συμπεριλαμβανομένων των ριζών, των μίσχων, των φύλλων, των λουλουδιών, των καρπών και των σπόρων.

Η σαφρανάλη, η κροκετίνη και η πικροκροκίνη είναι τρεις κύριες χημικές ουσίες του κρόκου και μαζί με την καμπερόλη, τη φαινόλη, τη δελφινιδίνη, και το φλαβονοειδές αποτελούν τις φυτοχημικές ενώσεις στον κρόκο με καλής ποιότητας βιοδραστικότητα και αντιοξειδωτικό δυναμικό (Rahaman et al., 2023). Μετά από χημική ανάλυση, στα στίγματα του κρόκου, έχουν ανακαλυφθεί, υδατάνθρακες, βιταμίνες, μέταλλα, λίπος και άλλοι δευτερεύοντες μεταβολίτες όπως οι ανθοκυανίνες, τα καροτενοειδή, τα φλαβονοειδή και τα τερπένια (Mzabri et al.,

2019). Σύμφωνα με χημική μελέτη, πάνω από 150 πτητικές και μη πτητικές χημικές ουσίες έχουν ανακαλυφθεί σε στίγματα του (Siddiqui et al., 2018). Το στίγμα περιέχει βιοενεργά στοιχεία όπως χρωστικές, πτητικά αρωματικά, καθώς και ακατέργαστες φυτικές ίνες, πρωτεΐνες και ποικιλία άλλων θρεπτικών συστατικών. Αυτές οι βιοδραστικές ενώσεις είναι χρήσιμες για την ανθρώπινη υγεία (Mzabri et al., 2019).

Ο κρόκος χρησιμοποιείται σε παραδοσιακές συνταγές για τη γεύση, το χρώμα και το άρωμά του, πέραν από τις βιολογικές επιδράσεις και τις χημικές ιδιότητες σημαντικών βιοδραστικών χημικών ουσιών, που υπάρχουν σε αυτόν. Δεν χρησιμοποιείται μόνο ως μπαχαρικό, αλλά είναι γνωστό και ως φαρμακευτικό φυτό λόγω των θεραπευτικών του ιδιοτήτων. Όλες οι βιοδραστικές χημικές ουσίες στον κρόκο έχουν αντικαρκινικές, αντιοξειδωτικές, αντικαταθλιπτικές ιδιότητες και μειώνουν την αϋπνία και το άγχος (Bukhari et al., 2018; Rahaiee et al., 2015). Η εμφάνιση φαρμάκων με βάση τη συνθετική χημεία επηρέασε τις ιατρικές και φαρμακολογικές εφαρμογές του κρόκου (José Bagur et al., 2017).

## **2.2. Αντιοξειδωτική δράση**

Ο κρόκος είναι μια πλούσια πηγή διαφορετικών βιοδραστικών χημικών ουσιών με αξιοσημείωτη αντιοξειδωτική δράση, λόγω της χημικής σύνθεσης των στίγματος, που αποτελείται από πρωτογενείς και δευτερογενείς μεταβολίτες. Οι πιο σημαντικοί είναι η κροκίνη, η κροκετίνη, η πικροκροκίνη και η σαφράναλη, οι οποίες συμβάλλουν στις αντιοξειδωτικές ιδιότητες του κρόκου. Τα στίγματα μπαχαρικών του κρόκου έχουν υψηλή αντιοξειδωτική ικανότητα (Popović-Djordjević et al., 2021).

Ο κρόκος χρησιμοποιείται πλέον κυρίως για τις αντιοξειδωτικές του επιδράσεις και υπάρχει σε διάφορα συμπληρώματα διατροφής. Έχει πικρή γεύση και δίνει στα γεύματα ένα έντονο κίτρινο-πορτοκαλί χρώμα. Έχουν δημοσιευτεί αρκετές μελέτες ανασκόπησης σχετικά με τη βιολογική δράση του κρόκου και των ενώσεων του σχετικά με τις φαρμακολογικές του ιδιότητες και τις πιθανές θεραπευτικές του εφαρμογές. Παράλληλα με αυτό, οι πιθανές χρήσεις του κρόκου και των ενεργών συστατικών του έχουν οδηγήσει σε αύξηση των ερευνητικών μελετών, μερικές από τις οποίες έχουν αποφέρει μερικά πολύ χρήσιμα και ενδιαφέροντα αποτελέσματα των ενεργών συστατικών του, ιδιαίτερα στην πρόληψη και την καταπολέμηση του

καρκίνου, τη θεραπεία ψυχολογικών και καρδιαγγειακών παθήσεων και της νόσου Alzheimer (Akhondzadeh & Kamalipour, n.d.). Έχουν αντικαρκινικές ιδιότητες και υψηλή αποτελεσματικότητα στη μείωση των επιπέδων χοληστερόλης και τριγλυκεριδίων στο αίμα, ατόμων που πάσχουν από καρδιαγγειακά νοσήματα. (Shahi et al., 2016).

Τα αντιοξειδωτικά μπορούν να βοηθήσουν στην πρόληψη του καρκίνου, της γήρανσης και άλλων διαταραχών αναστέλλοντας την οξείδωση των ελεύθερων ριζών. Πολλοί ερευνητές έχουν ανακαλύψει τις αντιοξειδωτικές δράσεις, που προκαλούν τα εκχυλίσματα του κρόκου και οι δευτερογενείς μεταβολίτες του (Cerdá-Bernad et al., 2022). Τα αιθανολικά εκχυλίσματα εξαλείφουν τις ρίζες, ενώ μαζί με τα υδατικά αναστέλλουν την υπεροξείδωση των λιπιδίων στα ερυθρά αιμοσφαίρια (Domingues et al., 2011). Η κροκίνη, η πικροκροκίνη και η σαφρανάλη στον κρόκο έχουν σημαντική δράση κατά της οξείδωσης (Urbani et al., 2016). Οι ελεύθερες ρίζες μπορούν να δεσμευτούν από τη σαφρανάλη και την κροκίνη, αλλά η κροκετίνη μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά την υπεροξείδωση των λιπιδίων και να εξαλείψει τις ελεύθερες ρίζες. (Shahi et al., 2016). Τα υποπροϊόντα λουλουδιών του κρόκου παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντιοξειδωτική δράση και ποσότητα ολικών πολικών φαινόλων από άλλα μπαχαρικά (Chichiriccò et al., 2019).

Το κύριο συστατικό του κρόκου, η κροκίνη, έχει αποδειχθεί ότι προστατεύει τον εγκέφαλο, το συκώτι και τα νεφρά από οξειδωτική βλάβη, που προκαλείται από το συνεχές στρες περιορισμού (Bandegi et al., 2014). Ένα υδατικό εκχύλισμα κρόκου έχει την ικανότητα να αποτρέπει την ενεργοποίηση ενεργών ειδών οξυγόνου και ενδοκυτταρικών σημάτων ενισχύοντας τη βιωσιμότητα των κυττάρων, αναστέλλοντας την αποπτωτική οδό (Rodriguez-Ruiz et al., 2016).

Μια σειρά μελετών *in vitro*, με δοκιμασίες DPPH, TEAC, TRAP, FRAP και TBARS, ανέδειξε την αντιοξειδωτική δράση και την υψηλή ικανότητα σάρωσης ελευθέρων ριζών του κρόκου και των επιμέρους συστατικών του (Γεωργιάδου et al., 2013).

Η κροκίνη βρέθηκε αποτελεσματική ενάντια στο οξειδωτικό στρες προκαλούμενο από υπεροξείδιο του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ). Το 90% των κυττάρων PC-12 (νευρική κυτταρική σειρά), που επώαστηκαν για 24 ώρες με υπεροξείδιο του υδρογόνου νεκρώθηκαν, ενώ μετά την προσθήκη κροκίνης στο υλικό επώασης, το

ποσοστό αυτό έπεσε στο 40%. (Ochiai et al., 2004). Νεότερες μελέτες έδειξαν ότι η κροκίνη ανέστειλε μορφολογικές αλλοιώσεις των κυττάρων, που είχαν προκληθεί από το υπεροξείδιο του υδρογόνου και απέτρεψε τον αποπτωτικό θάνατο ενδοθηλιακών κυττάρων (Xi et al., 2007).

Η κροκετίνη, σε καλλιέργειες ηπατικών και ενδοθηλιακών κυττάρων, ανέστειλε το σχηματισμό μαλονδιαλδεϋδης. Η ουσία αυτή αποτελεί δείκτη υπεροξειδωσής των λιπιδίων από ελεύθερες ρίζες, και πιο συγκεκριμένα οξειδωτικής αποδόμησης των μεμβρανικών λιπιδίων (Γεωργιάδου et al., 2013).

Βρέθηκε μάλιστα ότι οι αντιοξειδωτικές ιδιότητες της κροκίνης-1 είναι δοσοεξαρτώμενες. Σε μια δοκιμασία με θειοκυανικό οξύ, η κροκίνη δρούσε ως αντιοξειδωτικό σε επίπεδα μέχρι 40 ppm, αλλά σε υψηλότερα επίπεδα έχανε την ευεργετική της δράση. Αυτό το φαινόμενο υποδηλώνει ότι σε υψηλότερες δόσεις η κροκίνη πιθανώς να δρα ως μεταφορέας οξυγόνου (Pham et al., 2000).

Ένα ενδιαφέρον εύρημα ήταν, επίσης, η συσχέτιση μεταξύ της χημικής δομής των διαφόρων κροκινών και της αντιοξειδωτικής τους ικανότητας. Από τις μελέτες προκύπτει ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των σακχάρων της κροκίνης, τόσο πιο ισχυρή η αντιοξειδωτική της ικανότητα (Γεωργιάδου et al., 2013).

Ωστόσο, ο κρόκος και τα συστατικά του όχι μόνο εμποδίζουν τη δράση των ελευθέρων ριζών, αλλά ενισχύουν και τους αμυντικούς μηχανισμούς του κυττάρου ενάντια στο οξειδωτικό στρες. Βιοχημικές μελέτες έδειξαν ότι ο κρόκος αυξάνει τα επίπεδα αντιοξειδωτικών ηπατικών ενζύμων όπως η καταλάση (CAT), η δισμουτάση του υπεροξειδίου (SOD), η μεταφοράση της γλουταθειόνης (GST) και η υπεροξειδάση της γλουταθειόνης (GPx). Ταυτόχρονα φαίνεται πως ενισχύει και τα επίπεδα μη ενζυμικών αντιοξειδωτικών, όπως η γλουταθειόνη (GSH). Τα παραπάνω αντιοξειδωτικά αποτελούν την πρώτη γραμμή άμυνας του οργανισμού ενάντια στο οξειδωτικό στρες, που προκαλούν οι ελεύθερες ρίζες. Ως εκ τούτου, υψηλά επίπεδα αυτών συσχετίζονται με αντοχή σε κυτταρικές βλάβες (Γεωργιάδου et al., 2013).

### **2.3. Δοσολογία και παρενέργειες του κρόκου**

Ο κρόκος χρησιμοποιείται ως μπαχαρικό εδώ και χιλιάδες χρόνια λόγω των αξιοσημείων θρεπτικών πλεονεκτημάτων και των θεραπευτικών ιδιοτήτων του.

Είναι απαραίτητο να διεξαχθούν κι άλλες έρευνες σχετικά με τις τοξικολογικές επιπτώσεις του κρόκου και των συστατικών του, προκειμένου να καθοριστούν οι κατάλληλες δόσεις και η ασφάλειά τους. Η σωστή δοσολογία του κρόκου είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας.

Τα αποτελέσματα των μελετών που έχουν διενεργηθεί μέχρι τώρα αποκάλυψαν ότι, ο κρόκος είναι ασφαλής προς κατανάλωση στις ποσότητες, που συνήθως χρησιμοποιείται στο φαγητό και δεν υπάρχουν αναφορές για παρενέργειες καθώς και ότι, οι φαρμακολογικές δόσεις του κρόκου και των συστατικών του δεν προκάλεσαν βλάβη σε κανένα όργανο του σώματος (Ghaffari & Roshanravan, 2019).

Επιπλέον, έδειξαν ότι τα 30mg κρόκου είναι αρκετά για να παρατηρηθούν τα οφέλη του ενώ μέχρι και 1,5g την ημέρα είναι ασφαλές για κατανάλωση. Δόσεις που υπερβαίνουν τα 5g την ημέρα μπορεί να έχουν επιβλαβείς παρενέργειες και η θανατηφόρα δόση είναι περίπου 20g.

Η ήπια τοξικότητα του κρόκου προκαλεί ζάλη, ναυτία, έμετο και διάρροια, ενώ μια πιο σοβαρή τοξικότητα μπορεί να προκαλέσει μούδιασμα, μυρμήγκιασμα στα χέρια και τα πόδια, κιτρινωπό δέρμα και μάτια λόγω της καθίζησης κίτρινων χρωστικών στο δέρμα καθώς και αιμορραγία.

Συμπεραίνεται ότι οι κοινές αποτελεσματικές δόσεις που εφαρμόζονται σε κλινικές δοκιμές είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτό το επίπεδο (30–50mg/ημέρα (Al Jaber et al., 2024).

#### **2.4. Κρόκος και γαλακτοκομικά προϊόντα**

Ο κρόκος είναι ένα από τα πιο μελετημένα μπαχαρικά, φτιαγμένο από τα αποξηραμένα στίγματα του *C. Sativus* και αποτελεί μια κύρια πηγή κροκινών (παράγωγα καροτενοειδών), σαφρανάλης και πικροκροκίνης. Ωστόσο, αυτές οι ενώσεις έχουν ζωτικής σημασίας θρεπτικές και φαρμακευτικές επιδράσεις. Το χρώμα, η πικρή γεύση και το άρωμα, που προσδίδονται στα γεύματα χρησιμοποιούνται κυρίως στη μαγειρική (De Monte & Cesa, 2021).

Έρευνα που πραγματοποιήθηκε, διερεύνησε τις αντιοξειδωτικές, μικροβιολογικές, φυσικοχημικές και αισθητηριακές ιδιότητες του γιαουρτιού εμπλουτισμένου με κρόκο. Κατά την αποθήκευση, μελετήθηκε η επίδραση του

κρόκου στις ιδιότητες του γιαουρτιού. Σύμφωνα με δεδομένα αισθητηριακής ανάλυσης, το χρώμα, η οσμή και η υφή είχαν σταθερό αντίκτυπο στην αποδοχή του γιαουρτιού εμπλουτισμένου με κρόκο. Ο εμπλουτισμός αυτός ενίσχυσε δραματικά την αντιοξειδωτική δράση, υποδεικνύοντας ότι οδηγεί σε ένα νέο προϊόν ζύμωσης, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συμπλήρωμα πρόσληψης αντιοξειδωτικών (Gaglio et al., 2019).

Μία άλλη έρευνα που πραγματοποιήθηκε με στόχο τη μελέτη της παρασκευής τυριού Ιμαλαΐων (Kradi) ενισχυμένου με κρόκο, είχε ως αποτέλεσμα τη βελτίωση των θρεπτικών δυνατοτήτων του. Διερευνήθηκαν οι φυσικοχημικές, αντιοξειδωτικές και θεραπευτικές ιδιότητες του προϊόντος. Η συνολική περιεκτικότητα σε φαινόλη και η αντιοξειδωτική δράση του εμπλουτισμένου τυριού αυξήθηκαν σημαντικά, λόγω των δευτερογενών μεταβολιτών του κρόκου. Σε σύγκριση με τον μάρτυρα, το ενισχυμένο τυρί είχε καλύτερες οργανοληπτικές ιδιότητες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προσθήκη κρόκου στο παραδοσιακό γαλακτοκομικό προϊόν τυριού, τροποποίησε σημαντικά τις φυσικοχημικές, αισθητικές, αντιοξειδωτικές και φαρμακευτικές του ιδιότητες του. Παρατηρήθηκε ότι το χρώμα άλλαξε σημαντικά και εμφανίστηκε πιο κιτρινωπό. Οι αντιοξειδωτικές ιδιότητες του τυριού ήταν ιδιαίτερα ενισχυμένες σε σύγκριση με τον μάρτυρα. Συμπερασματικά, ο κρόκος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως πηγή βιοδραστικών συστατικών για την ανάπτυξη νέων λειτουργικών γαλακτοκομικών προϊόντων, με ιδιότητες που προάγουν την υγεία. Επιπλέον, τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά θα μπορούσαν να βελτιωθούν σε κάποιο βαθμό από την ενίσχυση τυριού με κρόκο, λόγω της χαρακτηριστικής γεύσης και αρώματος του (Bhat et al., 2021).

Σε μία άλλη έρευνα εξετάστηκαν οι φυσικοχημικές, οι ρεολογικές, οι αντιοξειδωτικές και οι αισθητηριακές ιδιότητες σε ένα προβιοτικό προϊόν με βάση τον κρόκο, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ζύμωσης (Dabbagh Moghaddam et al., 2018). Η αντιοξειδωτική ικανότητα των δειγμάτων αυξήθηκε σημαντικά, ενώ η συνολική συγκέντρωση ανθοκυανίνης, μειώθηκε. Σύμφωνα με τα ευρήματα, το προβιοτικό προϊόν με βάση τον κρόκο αποτελεί ένα κατάλληλο μέσο για την ανάπτυξη βακτηρίων γαλακτικού οξέος και για την παρασκευή χρήσιμων ποτών (Maqbool et al., 2022).

## **2.5. Εφαρμογή της τεχνικής των υπερήχων στον κρόκο**

Αρκετές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με την εκχύλιση βιοδραστικών ενώσεων κρόκου χρησιμοποιώντας την τεχνική των υπερήχων. Σε μία από αυτές χρησιμοποιήθηκαν υπέρηχοι υψηλής έντασης για την εξαγωγή ενεργών ενώσεων από τον κρόκο, η οποία έδειξε ότι η χρήση τους αύξησε σημαντικά την απόδοση της εκχύλισης και μείωσε σημαντικά το χρόνο επεξεργασίας (Kadkhodae & Hemmati-Kakhki, 2007).

Σε μία άλλη μελέτη, διεξήχθη εκχύλιση, υποβοηθούμενη από υπερήχους, για την ανάκτηση βιοδραστικών γλυκοζιδίων του κρόκου (Kyriakoudi et al., 2012). Τέλος, πραγματοποιήθηκε βελτιστοποίηση της υποβοηθούμενης από υπερήχους εκχύλισης, με αποτέλεσμα τον προσδιορισμό της συνολικής περιεκτικότητας σε φαινολικά και της αντιοξειδωτική δράσης του (Esmaeelian et al., n.d.).

## ΣΚΟΠΟΣ

Στην παρούσα διατριβή μελετήθηκε η επίδραση διαφορετικών συγκεντρώσεων κρόκου στην παρασκευή γιαουρτιού με τη μέθοδο της θέρμανσης και στην παρασκευή γιαουρτιού με εφαρμογή της μεθόδου των υπερήχων. Οι συγκεντρώσεις του κρόκου που χρησιμοποιήθηκαν αντιστοιχούν στα ποσοστά 0% w/w, 0,025% w/w, 0,05% w/w. Οι μεταβολές παρατηρήθηκαν κατά τη ζύμωση και κατά την αποθήκευση 14 ημερών. Επίσης, παρατηρήθηκαν σε ποιοτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος και πιο συγκεκριμένα στο pH, στο χρώμα, στην οξύτητα, στην ικανότητα συγκράτησης νερού, στη δομή και στη μικροδομή.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ**

### **3.1. Παρασκευή δειγμάτων γιαουρτιού με θέρμανση**

Για την παρασκευή των δειγμάτων γιαουρτιού χρησιμοποιήθηκε σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος, περιεκτικότητας 0,8% w/w λίπους, 52% w/w σακχάρων, 36% w/w πρωτεϊνών και 1,1% w/w αλατιού, το οποίο ομογενοποιήθηκε με απεσταγμένο νερό για τη δημιουργία γάλακτος. Ακολούθησε η παστερίωση του στους 85°C και η απευθείας ψύξη του μέχρι η θερμοκρασία να πέσει στους 40°C. Προστέθηκαν 100gr καλλιέργειας γιαουρτιού και ο κρόκος, δημιουργώντας δείγματα γάλακτος 0% w/w, 0,025% w/w, 0,05% w/w κρόκου. Τα μείγματα κατανεμήθηκαν σε γυάλινους περιέκτες των 25g, επώαστηκαν στους 37°C μέχρι το pH να φτάσει στο 4,6, όπου και σταμάτησε η διαδικασία ζύμωσης, ψύχοντας τα δείγματα στους 4°C μέχρι να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις.

### **3.2. Παρασκευή δειγμάτων γιαουρτιού με την εφαρμογή υπερήχων**

Για την παρασκευή δειγμάτων γιαουρτιού με την εφαρμογή υπερήχων ακολουθήθηκε η παραπάνω διαδικασία με τη διαφορά ότι προστέθηκε στα δείγματα μετά την ψύξη στους 40°C, αρχικά μόνο ο κρόκος. Ακολούθησε η εφαρμογή των υπερήχων 24kHz από τη συσκευή UP400S και στη συνέχεια, προστέθηκε η καλλιέργεια.

Όλες οι μετρήσεις των παρακάτω μεθόδων λήφθηκαν 3 φορές κατά την αποθήκευση και πιο συγκεκριμένα την 1η, την 7η και την 14η μέρα και κάθε φορά πραγματοποιούνταν 3 επαναλήψεις της μέτρησης από κάθε μέθοδο.

### **3.3. Προσδιορισμός pH**

Η μέτρηση του pH λήφθηκε με τη χρήση ηλεκτρονικού pHμετρου τροφίμων, κατά τη διάρκεια της επώασης και της αποθήκευσης του γάλακτος. Όσον αφορά την επώαση, λαμβάνονταν οι τιμές του pH ανά 30 min, από τη στιγμή έναρξης της, καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας.

### 3.4. Προσδιορισμός Ικανότητας Συγκράτησης Νερού (Water Holding Capacity, WHC)

Η ικανότητα συγκράτησης νερού του πηγματος προσδιορίστηκε με φυγοκέντρωση. Συγκεκριμένα, για κάθε δείγμα ζυγίστηκαν 10gr γιαουρτιού και φυγοκεντρήθηκαν στους 4°C και 5000G για 10min. Στη συνέχεια, ζυγίστηκε ο ορός που απέβαλλε το γιαούρτι και ο υπολογισμός της ικανότητας συγκράτησης νερού έγινε από τον τύπο:  $WHC = \text{Μάζα γιαουρτιού (g)} - \text{Μάζα ορού (g)} / \text{Μάζα γιαουρτιού (g)}$ .

### 3.5. Προσδιορισμός Οξύτητας

Για τον προσδιορισμό της οξύτητας αναμείχθηκαν και αναδεύτηκαν 25gr δείγματος με 25ml αποσταγμένο νερό, στα οποία προστέθηκαν 2-3 σταγόνες διαλύματος φαινολοφθαλεΐνης, ως δείκτης. Το δείγμα τιτλοδοτήθηκε με διάλυμα NaOH 0,1N.

Τα αποτελέσματα υπολογίστηκαν με τη σχέση: Ολική οξύτητα %\*100

- Ολική οξύτητα % =  $V_{NaOH} \cdot A \cdot D \cdot V_{\delta}$ , όπου

$V_{NaOH}$  = όγκος προστιθέμενου NaOH

A = συντελεστής μετατροπής

D = συντελεστής αραίωσης

$V_{\delta}$  = όγκος δείγματος

### 3.6. Προσδιορισμός Χρώματος

Για την αξιολόγηση του χρώματος χρησιμοποιήθηκε το όργανο HunterLab MiniScan XE Plus. Αρχικά, έγινε βαθμονόμηση του οργάνου με χρήση των ειδικών πλακιδίων, λευκού και μαύρου. Στη συνέχεια, προσδιορίστηκαν στα δείγματα τρεις παράμετροι:  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  (όπου το  $L$  εκφράζει την φωτεινότητα του χρώματος, το  $a$  υποδεικνύει κόκκινο χρώμα (redness) όταν η τιμή του είναι θετική ενώ πράσινο χρώμα (greenness) όταν είναι αρνητική. Για το  $b$ , η θετική τιμή υποδεικνύει κίτρινο

χρώμα (yellowness), ενώ η αρνητική τιμή μπλε χρώμα (blueness)). Για κάθε δείγμα λήφθηκαν από τρεις μετρήσεις.

### **3.7. Προσδιορισμός Δομής**

Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις σκληρότητας είναι η Controlled Electronic Tensile Tester (TC1000), η οποία χρησιμοποιείται για την ανάλυση της δομής. Η ρύθμιση και ο έλεγχος της γίνεται από ηλεκτρονικό υπολογιστή και πραγματοποιείται μέτρηση του ποσοστού συμπίεσης των δειγμάτων. Η διάμετρος του εμβόλου είναι 2,8cm και η μέγιστη παραμόρφωση 75%. Η σκληρότητα εκφράστηκε σε Newton.

### **3.8. Προσδιορισμός Μικροδομής**

Η μικροδομή παρατηρήθηκε με τη χρήση του ανάστροφου οπτικού μικροσκοπίου ZEISS Primovert και φακό μεγέθυνσης 40x. Από τα γιαούρτια εμπλουτισμένα με κρόκο Κοζάνης, μεταφέρθηκε μια σταγόνα σε αντικειμενοφόρο πλάκα και επώαστηκε στους 40°C μέχρι το pH να φτάσει στο 4,6. Έπειτα, έγινε αποθήκευση στους 4°C. Με τριπλή επανάληψη έγινε ο προσδιορισμός της μικροδομής, 1<sup>η</sup>, 7<sup>η</sup> και 14<sup>η</sup> ημέρα μετά την παρασκευή των γιαουρτιών (Qiu et al., 2021).

### **3.9. Στατιστική ανάλυση**

Η στατιστική ανάλυση έγινε με τη χρήση του λογισμικού IBM SPSS STATISTICS 29. Όλες οι στατιστικές αναλύσεις έγιναν μέσω της μη παραμετρικής διαδικασίας της μονόδρομης ανάλυσης της διασποράς Kruskal-Wallis κατά βαθμίδες, το επίπεδο σημαντικότητας ήταν 5% και στατιστικές σημαντικές διαφορές όταν p-value,  $p < 0,05$ . Στις στατιστικές αναλύσεις οι μετρήσεις παραθέτονται ως μέσος όρος  $\pm$  τυπικό σφάλμα.

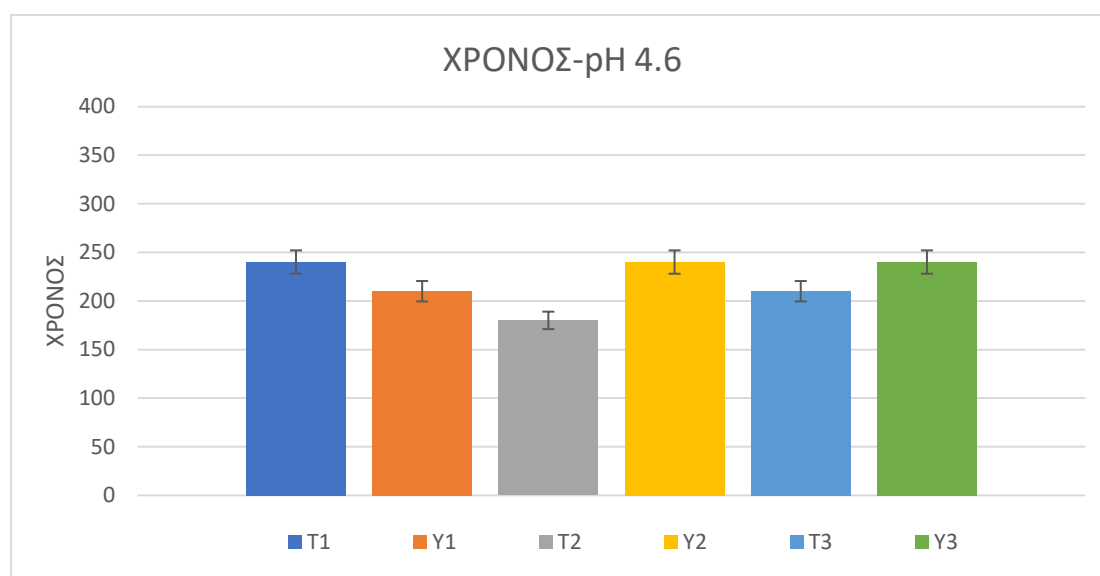
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Για την επίτευξη της παρούσας ερευνητικής μεταπτυχιακής εργασίας, δημιουργήθηκαν 6 διαφορετικά δείγματα γιαουρτιού, από τα οποία τα 3 παρασκευάστηκαν με τη μέθοδο της θέρμανσης και τα άλλα 3 δέχτηκαν επεξεργασία με υπέρηχους. Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν οι συγκεντρώσεις 0% w/w, 0,025% w/w, 0,05% w/w κρόκου. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι ονομασίες των δειγμάτων, που θα χρησιμοποιηθούν στο ερευνητικό μέρος της εργασίας για το κάθε δείγμα.

| <i>A/A</i> | <i>Ονομασία δείγματος</i> | <i>Συγκέντρωση</i> | <i>Μέθοδος παρασκευής</i> |
|------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| 1          | T1                        | 0.00% w/w          | Θέρμανση                  |
| 2          | T2                        | 0.025% w/w         | Θέρμανση                  |
| 3          | T3                        | 0.05% w/w          | Θέρμανση                  |
| 4          | Y1                        | 0.00% w/w          | Θέρμανση, Υπέρηχος        |
| 5          | Y2                        | 0.025% w/w         | Θέρμανση, Υπέρηχος        |
| 6          | Y3                        | 0.05% w/w          | Θέρμανση, Υπέρηχος        |

#### 4.1. Χρόνος διάρκειας παρασκευής γιαουρτιού με κρόκο

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η πορεία της πτώσης του pH, κατά τη διάρκεια της επώασης, για την παρασκευή του γιαουρτιού με κρόκο σε τρεις συγκεντρώσεις, με τη μέθοδο της θέρμανσης και των υπέρηχων. Συνολικά, 6 δείγματα, που 2 από αυτά αποτελούν τα controls. Η τελευταία τιμή pH του κάθε δείγματος είναι και η τιμή κατά την οποία διακόπηκε η επώαση καθώς το pH βρισκόταν στην επιθυμητή τιμή ( $\approx 4,6$ ).



**Διάγραμμα 1.** Μεταβολή του pH των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w, T3 0.05% w/w Y3) σε συνάρτηση με τον χρόνο.

Από το **Διάγραμμα 1** συμπεραίνεται ότι τα δείγματα του γιαουρτιού (τα δύο control και αυτά με τον κρόκο) παρόλο που δεν είχαν μεγάλες διαφορές στο αρχικό pH αυτές παρουσιάστηκαν στην πορεία μείωσης του pH κατά τη διάρκεια της ζύμωσης.

Κατά τη διάρκεια της επώασης και στα 6 δείγματα ακολούθησαν ομαλή μείωση του pH. Όσον αφορά την παρασκευή των δειγμάτων με θέρμανση παρατηρείται ότι η προσθήκη κρόκου μείωσε τον χρόνο, που χρειάστηκαν τα γιαούρτια για να φτάσουν στο επιθυμητό pH, όπου διακόπτεται η επώαση (4,6 pH). Το δείγμα 0.025% w/w T2 χρειάστηκε τον λιγότερο χρόνο. Αντίθετα, στα δείγματα, όπου ήταν εμπλουτισμένα

με κρόκο και εφαρμόστηκαν υπέρηχοι παρατηρείται αύξηση του χρόνου ζύμωσης και στις δύο συγκεντρώσεις (0.025% w/w Y2, 0.05% w/w Y3).

Η οξίνιση του γάλακτος είναι μια διαδικασία, που συμβαίνει όταν μεταβάλλεται η δράση των μικυλίων καζεΐνης καθώς μειώνεται το pH του γάλακτος. Κατά τη διάρκεια της παραπάνω διαδικασίας, παράγεται γαλακτικό οξύ και έχει ως αποτέλεσμα τη σχετική πτώση του pH του γάλακτος στο ισοηλεκτρικό σημείο της καζεΐνης (pH 4,6). Αυτό με τη σειρά του, οδηγεί στη διαλυτοποίηση του κολλοειδούς του φωσφορικού ασβεστίου, που κανονικά διατηρεί ενωμένα τα μικύλια καζεΐνης, προκαλώντας έτσι απώλεια της σταθερότητάς τους. Με τον τρόπο αυτό, το μικύλιο καζεΐνης γίνεται ασταθές, πήζει και σχηματίζει τρισδιάστατα πρωτεϊνικά δίκτυα στα οποία παγιδεύεται ο ορός γάλακτος (Asaduzzaman et al., 2021).

Στην παρούσα έρευνα παρατηρήθηκε ότι η προσθήκη κρόκου και η εφαρμογή υπερήχων στο γάλα, επηρέασε τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των γιαουρτιών.

Η προσθήκη του κρόκου αύξησε τον ρυθμό μείωσης του pH, μειώνοντας τον χρόνο ζύμωσης στη μέθοδο της θέρμανσης σε σύγκριση με το αντίστοιχο control. Η πλούσια φαινολική σύσταση του κρόκου με διαφορετικά είδη πολυφαινολών φαίνεται ότι αλληλεπιδρά με την καλλιέργεια εκκίνησης και για αυτό το λόγο μειώνεται ο χρόνος. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε ορισμένα ενεργά συστατικά και σε μη εύπεπτους υδατάνθρακες του κρόκου, που προώθησαν την ανάπτυξη των βακτηρίων γαλακτικού οξέος. Όμοιες παρατηρήσεις καταγράφηκαν σε έρευνες με γιαούρτια εμπλουτισμένα με εκχύλισμα *Moringa* (Zhang et al., 2019), με εκχύλισμα *Pleurotus ostreatus* (Aida et al., 2009) και πράσινου τσαγιού (Jeong et al., 2018). Σε έρευνα, στην οποία μελετήθηκε η ζύμωση αποβουτυρωμένου γάλακτος με προσθήκη εκχυλισμάτων σταφυλιού, προέκυψαν παρόμοια αποτελέσματα (Servili et al., 2011).

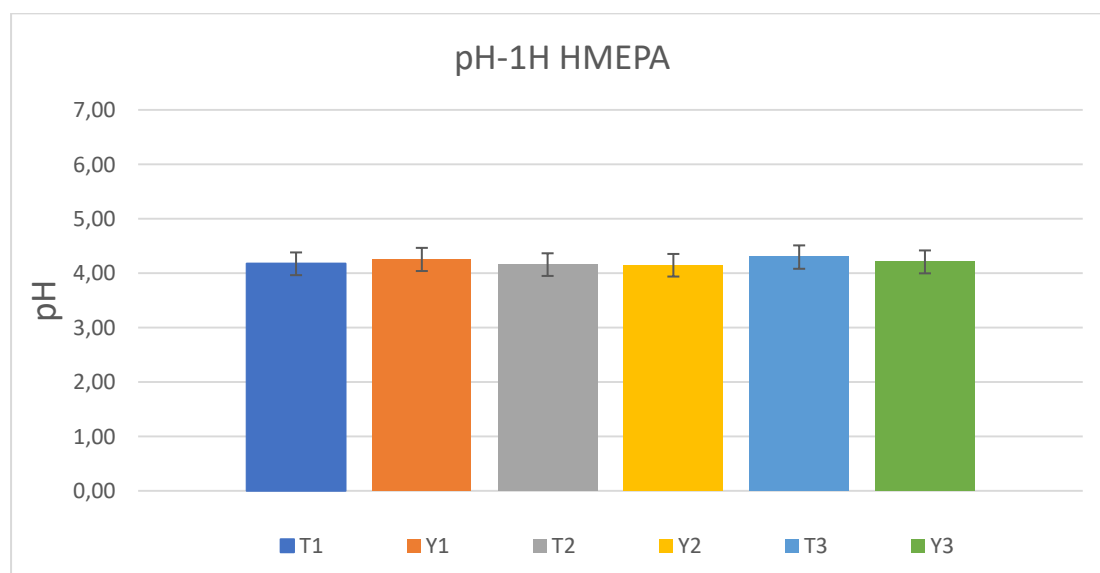
Στα δείγματα 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w Y3, η επεξεργασία με υπέρηχους είχε τα αντίθετα αποτελέσματα. Παρόμοιες έρευνες έδειξαν ότι, κατά την παραγωγή γιαουρτιού από ομογενοποιημένο γάλα με χρήση υπερήχων παρατηρείται μία αύξηση στο χρόνο ζύμωσης κατά τη διάρκεια της επώασης. Ωστόσο το τελικό προϊόν, που παράγεται έχει καλύτερα αντικειμενικά χαρακτηριστικά σε σχέση με το γιαούρτι, που παράγεται με τη συμβατική ομογενοποίηση (Hongyu et al., 2000a; Sfakianakis & Tzia, 2014).

Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του pH, της οξύτητας, της ικανότητας συγκράτησης νερού (WHC), του χρώματος της δομής και της μικροδομής κατά την 1<sup>η</sup>, την 7<sup>η</sup> και την 14<sup>η</sup> ημέρα, σε 3 συγκεντρώσεις, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για 2 τρόπους παρασκευής του γιαουρτιού, έναν με θέρμανση και έναν με υπέρηχους. Συνολικά, 6 δείγματα, εκ των οποίων τα 2 αποτελούν τα controls. Όλα τα δείγματα πριν την αποθήκευση είχαν pH 4,6.

## 4.2. Μετρήσεις pH

### 4.2.1. Αποτελέσματα μετρήσεων pH γιαουρτιού με κρόκο κατά την 1<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης

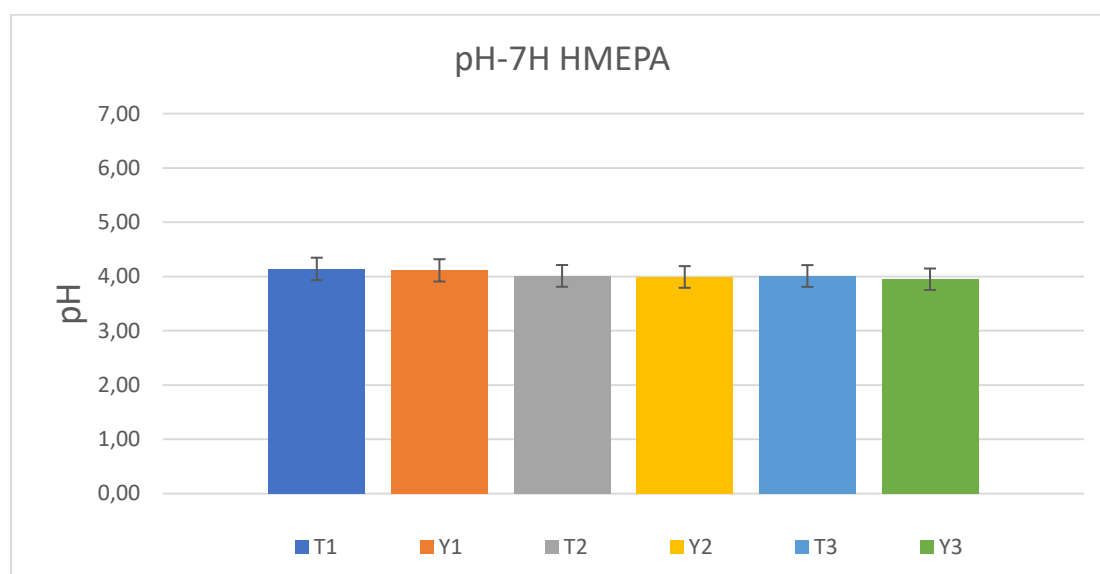
Στο **Διάγραμμα 2** παρατηρείται ότι την 1η ημέρα της αποθήκευσης το ένα control, 0.00% w/w T1, παρουσίασε μεγάλο ρυθμό μείωσης του pH με την τιμή να φτάνει στο 4,18. Τον ίδιο ρυθμό ακολούθησαν τα δείγματα 0.025% w/w T2 και 0.025% w/w Y2, ενώ λίγο πιο αργά κινήθηκε το 0.05% w/w Y3 (pH 4,21). Τα άλλα δύο δείγματα, δηλαδή, το δεύτερο control (0.00% w/w Y1) και το 0.05%, w/w T3, είχαν λίγο μεγαλύτερες κοντινές τιμές pH.



**Διάγραμμα 2.** Μετρήσεις pH των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 1<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025%, w/w Y2, 0.05%, w/w T3, 0.05% w/w Y3).

#### 4.2.2. Αποτελέσματα μετρήσεων pH γιαουρτιού με κρόκο κατά την 7η ημέρα αποθήκευσης

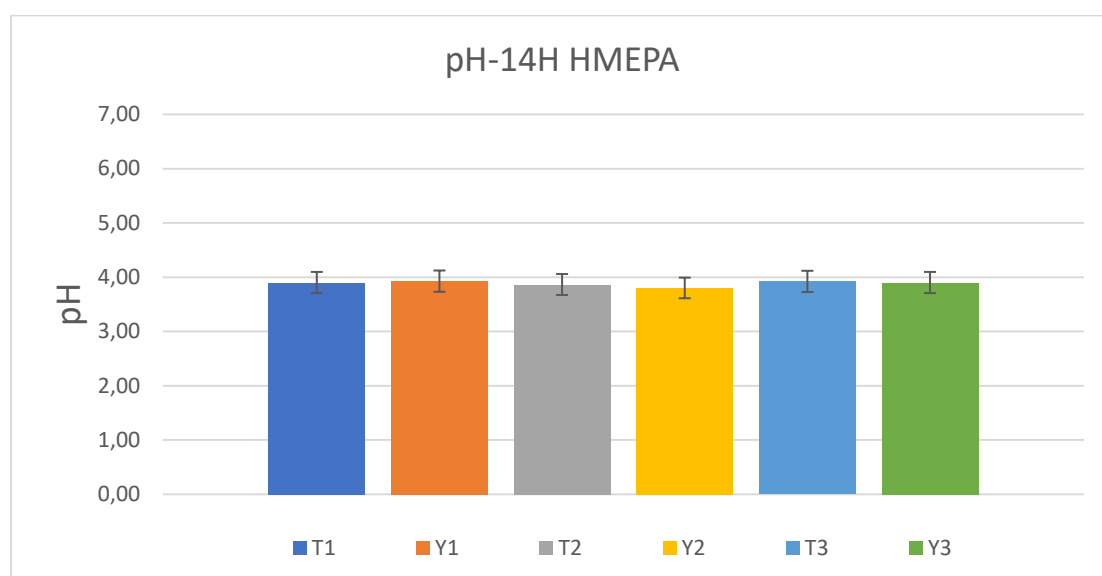
Στο **Διάγραμμα 3** παρουσιάζεται το pH κατά την 7η ημέρα της αποθήκευσης των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w T3, 0.05% w/w Y3). Η διαφορά του pH ανάμεσα στα control (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1) και τα δείγματα που περιέχουν κρόκο (0.025% w/w T2, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w T3, 0.05% w/w Y3), δεν είναι σημαντική, με τα πρώτα να σημειώνουν ελάχιστα μεγαλύτερες τιμές. Το μικρότερο pH το είχε το δείγμα 0.05% w/w T3 με διαφορά που δεν ήταν στατιστικά σημαντική από τα υπόλοιπα.



**Διάγραμμα 3.** Μετρήσεις pH των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 7<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025%, w/w Y2, 0.05%, w/w T3, 0.05% w/w Y3).

#### 4.2.3. Αποτελέσματα μετρήσεων pH γιαουρτιού με κρόκο κατά την 14η ημέρα αποθήκευσης

Στο **Διάγραμμα 4** παρατηρείται ότι την 14<sup>η</sup> ημέρα της αποθήκευσης, όλα τα δείγματα σημείωσαν παρόμοιες τιμές, όλες πολύ κοντά στο 3,90 pH. Το μικρότερο pH (4,86) το είχε το γιαούρτι συγκέντρωσης κρόκου 0.025% w/w, που έχει υποστεί υπέρηχους (0.025% w/w T2), με ελάχιστη διαφορά από τα υπόλοιπα.



**Διάγραμμα 4.** Μετρήσεις pH των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 14<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025%, w/w Y2, 0.05%, w/w T3, 0.05% w/w Y3).

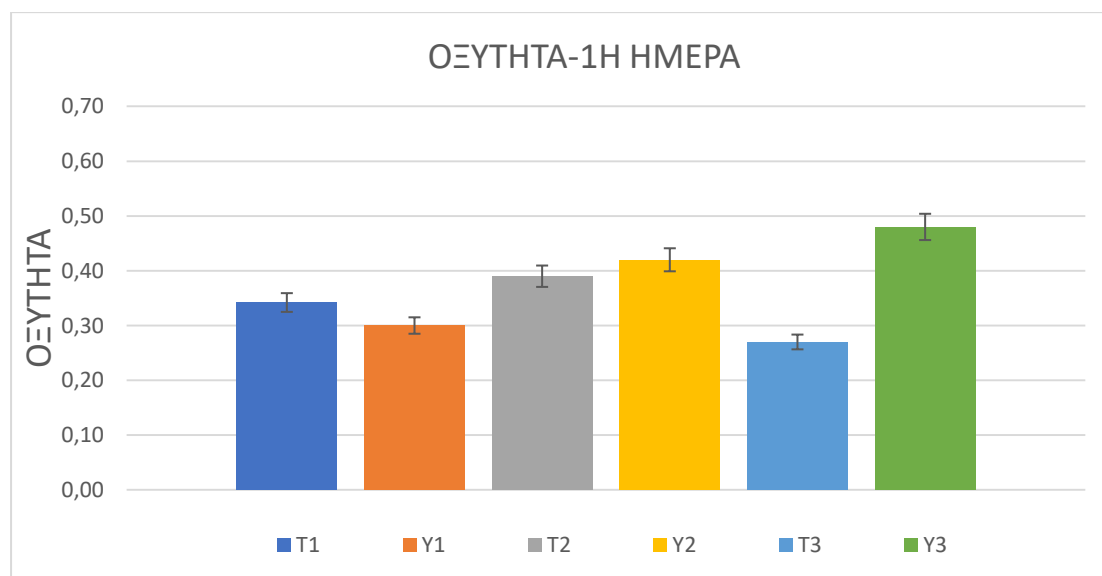
Σε όλα τα δείγματα παρατηρείται συνεχής μείωση του pH από την 1<sup>η</sup> μέχρι την 14<sup>η</sup> ημέρα της αποθήκευσης. Κατά την αποθήκευση των γιαουρτιών σε χαμηλές θερμοκρασίες, προφανώς, αυξήθηκε η μεταβολική δραστηριότητα των βακτηρίων του γαλακτικού οξέος σε όλα τα δείγματα και κυρίως σε αυτά με 0.025% w/w συγκέντρωση κρόκου. Η μείωση αυτή του pH σε όλα τα δείγματα, το πιο πιθανό είναι να οφείλεται στο γεγονός ότι η υπολειπόμενη λακτόζη καταναλώθηκε λόγω της βακτηριακής μεταβολικής δραστηριότητας. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να παραχθεί γαλακτικό οξύ (Bakry et al., 2019). Την 7<sup>η</sup> και 14<sup>η</sup> ημέρα τα δείγματα που έχουν υποστεί υπέρηχο παρουσίασαν ελαφρώς μειωμένες τιμές pH με την προσθήκη

κρόκου από τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις εκείνων που παρασκευάστηκαν με θέρμανση.

### 4.3. Μετρήσεις οξύτητας

#### 4.3.1. Αποτελέσματα μετρήσεων οξύτητας γιαουρτιού με κρόκο κατά την 1<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης

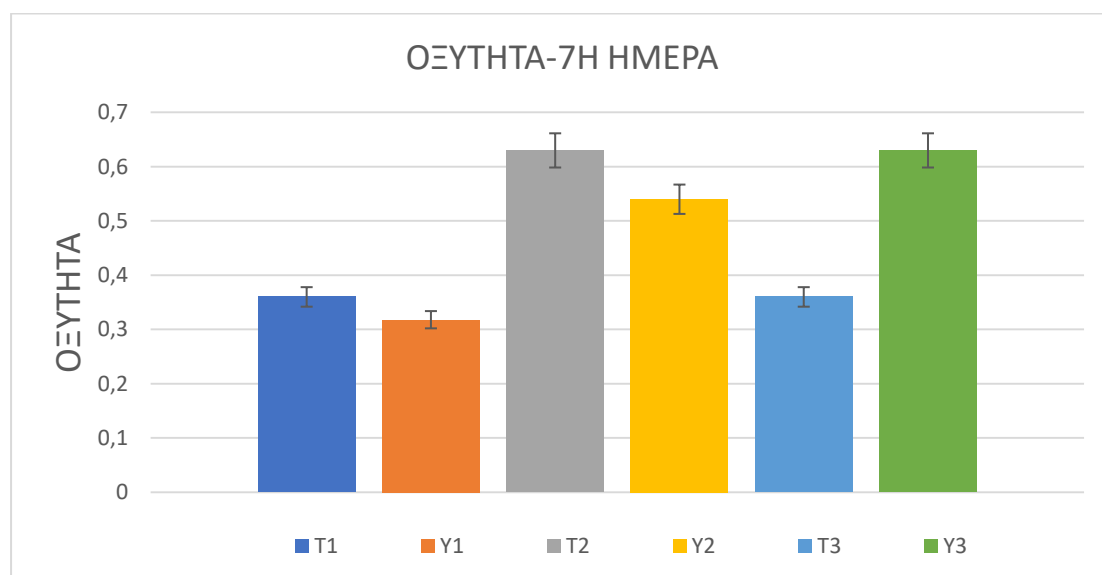
Τα αποτελέσματα της οξύτητας των διαφορετικών δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο, παρουσιάζονται στο **Διάγραμμα 5**. Όπως φαίνεται δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των δειγμάτων, εκτός από τα δύο που περιέχουν συγκέντρωση 0.05% w/w κρόκου, με στατιστικά σημαντική διαφορά ( $p < 0,05$ ) μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα, το δείγμα που έχει παρασκευαστεί με θέρμανση (0.05% w/w T3), είχε τη μικρότερη οξύτητα από όλα ενώ εκείνο που επεξεργάστηκε με υπέρηχους, τη μεγαλύτερη. Ανάμεσα τους βρίσκονται τα υπόλοιπα δείγματα με πολύ κοντινές τιμές. Αυτό που παρατηρείται, επίσης, είναι ότι υπάρχει μία βαθμιαία αύξηση της οξύτητας στα δείγματα που επεξεργάστηκαν με υπέρηχους, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w Y3, όσο αυξάνεται και η συγκέντρωση τους σε κρόκο.



**Διάγραμμα 5.** Μετρήσεις οξύτητας των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 1<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w, T2, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w T3, 0.05% w/w Y3).

#### 4.3.2. Αποτελέσματα μετρήσεων οξύτητας γιαουρτιού με κρόκο κατά την 7η ημέρα αποθήκευσης

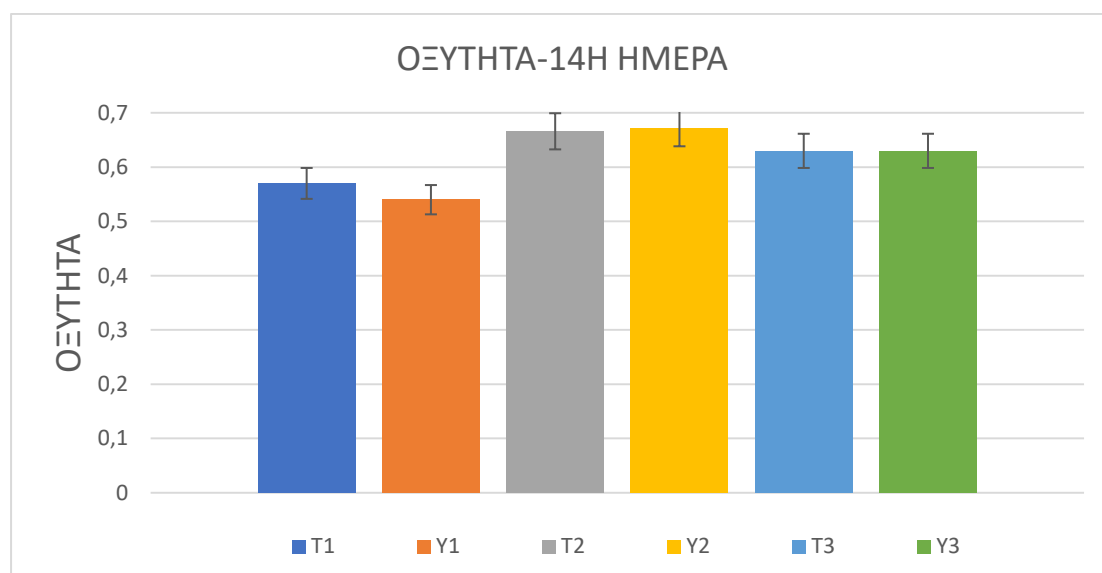
Τα αποτελέσματα της οξύτητας, των διαφορετικών δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο κατά την 7η ημέρα της αποθήκευσης, παρουσιάζονται στο **Διάγραμμα 6**. Όπως φαίνεται υπάρχουν και εδώ κάποιες διαφορές μεταξύ των δειγμάτων. Πιο συγκεκριμένα, τα δύο δείγματα με συγκέντρωση 0.025% w/w και αυτό που επεξεργάστηκε με υπέρηχους με συγκέντρωση 0.05% w/w (0.05% w/w Y3) έχουν τη μεγαλύτερη οξύτητα με τις τιμές να είναι κοντά στο 0,6. Διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ( $p < 0,05$ ) από τα άλλα τρία δείγματα, τα οποία βρέθηκαν με οξύτητα γύρω από το 0,3.



**Διάγραμμα 6.** Μετρήσεις οξύτητας των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 7<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025%, w/w Y2, 0.05%, w/w T3, 0.05% w/w Y3).

#### 4.3.3. Αποτελέσματα μετρήσεων οξύτητας γιαουρτιού με κρόκο κατά την 14η ημέρα αποθήκευσης

Την 14<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης, η οξύτητα, όλων των δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο, είναι αρκετά μεγαλύτερη από τις προηγούμενες ημέρες αποθήκευσης που πραγματοποιήθηκε μέτρηση. Τις μικρότερες τιμές τις σημείωσαν τα δείγματα control και ακολούθησαν, με στατιστικά σημαντική διαφορά, τα γιαούρτια με εμπλουτισμό κρόκου συγκέντρωσης 0.05% (0.05% w/w T3, 0.05% w/w Y3). Και τέλος, τη μεγαλύτερη οξύτητα από όλα, την είχαν τα γιαούρτια με συγκέντρωση κρόκου 0.025% w/w (0.025% w/w T2, 0.025% w/w Y2).



**Διάγραμμα 7.** Μετρήσεις οξύτητας των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 14<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w T3, 0.05% w/w Y3).

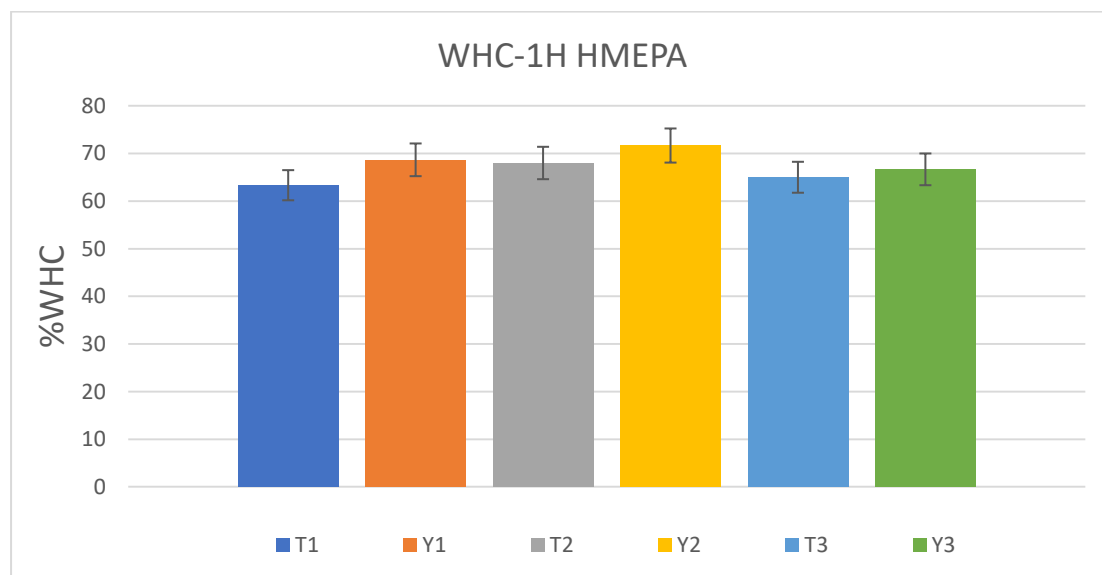
Κατά την αποθήκευση σε χαμηλή θερμοκρασία, τα βακτήρια του γαλακτικού οξέος δραστηριοποιούνται με τέτοιο τρόπο που προκαλούν την παραγωγή γαλακτικού οξέος. Έτσι αυξάνεται το % γαλακτικό οξύ και συνεπώς η τιτλοδοτούμενη οξύτητα. Σε έρευνα που έγινε με εμπλουτισμό γιαουρτιού με σκόνη λιναρόσπορου αναφέρεται η ίδια παρατήρηση (Ardabilchi Marand et al., 2020). Στη συγκεκριμένη έρευνα, παρατηρείται σε όλα τα δείγματα συνεχής αύξηση της οξύτητας από την 1η μέχρι την 14η ημέρα της αποθήκευσης. Ενώ, στα δείγματα με

κρόκο 0.025% w/w και 0.05%, w/w, υπήρξε μεγαλύτερη αύξηση της, γεγονός που επιβεβαιώνεται από την έρευνα των Muniandy et al., (2017), κατά την οποία μελετήθηκε η τιτλοδοτούμενη οξύτητα, παρατηρώντας την αύξηση της με την προσθήκη των διαφορετικών ειδών τσαγιού.

#### 4.4. Μετρήσεις ικανότητας συγκράτησης νερού

##### 4.4.1. Αποτελέσματα μετρήσεων ικανότητας συγκράτησης νερού γιαουρτιού με κρόκο κατά την 1<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης

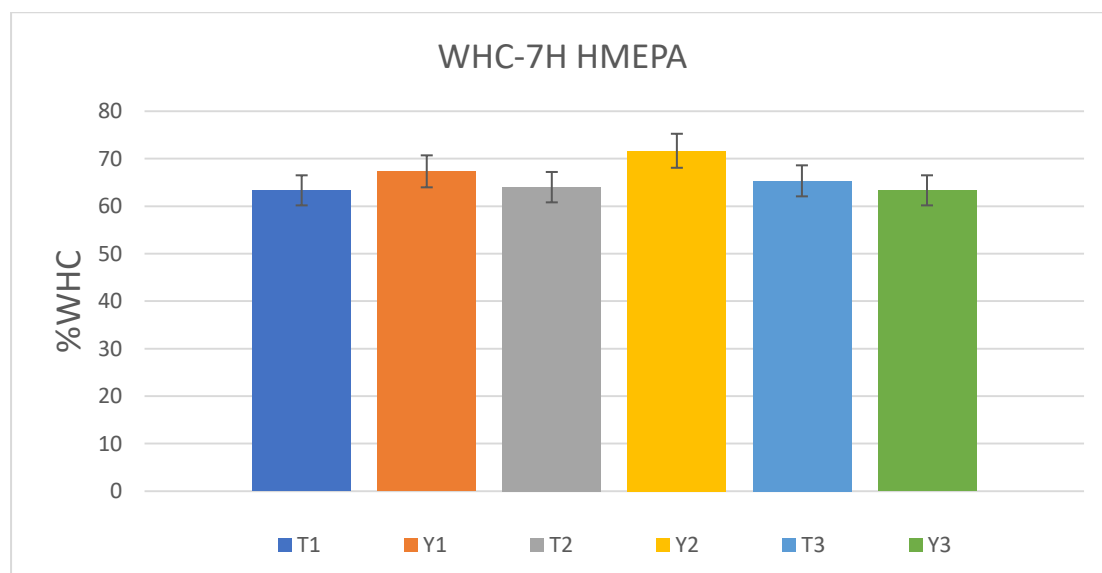
Στο **Διάγραμμα 8** παρουσιάζεται η ικανότητα συγκράτησης νερού των 6 δειγμάτων κατά την 1η ημέρα της αποθήκευσης. Αρχικά, το control 0.00% w/w T1 εμφάνισε τη χαμηλότερη ικανότητα συγκράτησης νερού μαζί με το 0.05% w/w T3. Αντίθετα, με αρκετή διαφορά το δείγμα 0.025% w/w Y2, σημείωσε την πιο υψηλή τιμή. Τα υπόλοιπα δείγματα βρίσκονται σε ενδιάμεσα επίπεδα ικανότητας συγκράτησης νερού με τη διαφορά να είναι μικρή μεταξύ τους αλλά και με τα υπόλοιπα.



**Διάγραμμα 8.** Μετρήσεις ικανότητας συγκράτησης νερού (WHC) των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 1<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w T3, 0.05% w/w Y3).

#### 4.4.2. Αποτελέσματα μετρήσεων ικανότητας συγκράτησης νερού γιαουρτιού με κρόκο κατά την 7η ημέρα αποθήκευσης

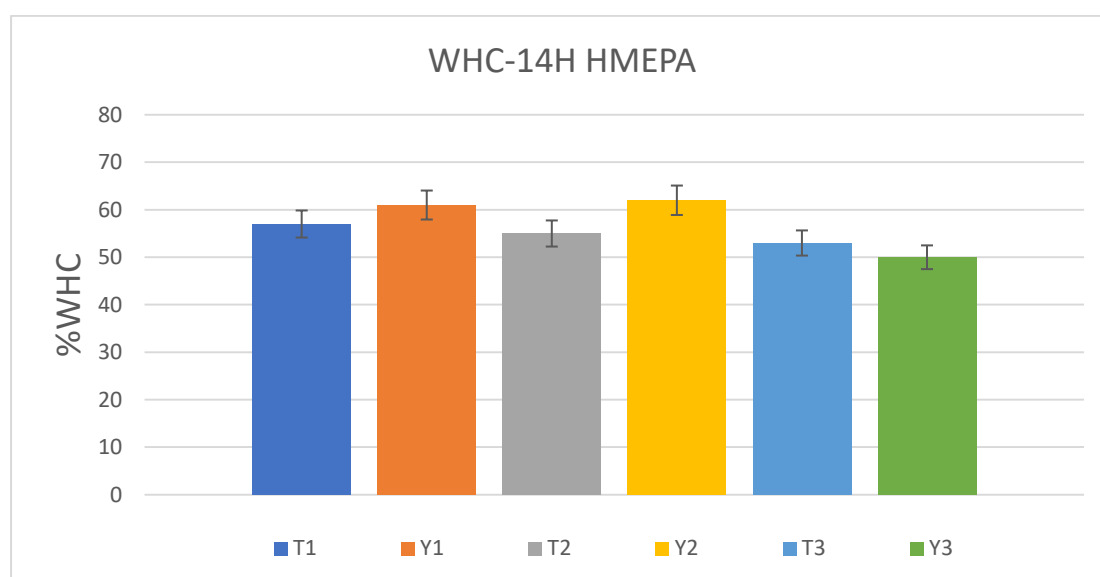
Στο **Διάγραμμα 9** παρουσιάζεται η ικανότητα συγκράτησης νερού των 6 δειγμάτων κατά την 7η ημέρα της αποθήκευσης. Τη μικρότερη ικανότητα συγκράτησης νερού την παρουσιάζουν τα δείγματα 0.00% w/w T1, 0.05% w/w Y3, με 63%. Ακολουθούν με μικρή διαφορά τα δείγματα 0.025% w/w T2 και 0.05%, w/w T3. Τέλος, στατιστικά σημαντική διαφορά ( $p < 0,05$ ) από τα προηγούμενα και μεταξύ τους παρουσιάζουν τα δείγματα 0.00% w/w Y1 και 0.025%, w/w Y2, όπου το τελευταίο σημείωσε την πιο υψηλή τιμή ικανότητας συγκράτησης νερού (72%).



**Διάγραμμα 9.** Μετρήσεις ικανότητας συγκράτησης νερού των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 7<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025%, w/w Y2, 0.05%, w/w T3, 0.05% w/w Y3).

#### 4.4.3. Αποτελέσματα μετρήσεων ικανότητας συγκράτησης νερού γιαουρτιού με κρόκο κατά την 14η ημέρα αποθήκευσης

Στο **Διάγραμμα 10** φαίνονται τα αποτελέσματα της ικανότητας συγκράτησης νερού των 6 διαφορετικών δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 14η ημέρα αποθήκευσης. Από το διάγραμμα συμπεραίνεται ότι όλα τα γιαούρτια έχουν διαφορές στατιστικά σημαντικές ( $p < 0,05$ ) μεταξύ τους όσον αφορά την ικανότητα να συγκρατούν νερό. Τη μικρότερη τιμή (50%) σημείωσε το γιαούρτι με περιεκτικότητα σε κρόκο 0.05% w/w (0.05% w/w Y3) που έχει επεξεργαστεί με υπέρηχους, ενώ τη μεγαλύτερη το γιαούρτι με περιεκτικότητα σε κρόκο 0.025% w/w Y2 (0.025% w/w Y2). Λίγο πιο χαμηλά από το τελευταίο βρέθηκε το αντίστοιχο control τους. Συγκρίνοντας τα δείγματα που έχουν παρασκευαστεί με θέρμανση (0.00% w/w T1, 0.025% w/w T2, 0.05% w/w T3), παρατηρείται μεγάλη μείωση της ικανότητας συγκράτησης νερού όσο αυξάνεται η συγκέντρωση τους.



**Διάγραμμα 10.** Μετρήσεις ικανότητας συγκράτησης νερού των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 14<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w T3, 0.05% w/w Y3).

Τα αποτελέσματα από την μέτρηση της ικανότητας συγκράτησης νερού έδειξαν ότι η προσθήκη του κρόκου 0.025% w/w αύξησε τις τιμές της σε σχέση με το control, την 1<sup>η</sup> και την 7<sup>η</sup> ημέρα. Αντίστοιχα, σε έρευνα που διενεργήθηκε από τους Daramola

et al. (2013) υποστηρίχθηκε ότι η προσθήκη διαφόρων φυτών στο γιαούρτι είχε ως συνέπεια την αύξηση του ποσοστού ικανότητας συγκράτησης νερού, παρόλο που δεν είχε επεξεργαστεί με υπερήχους. Όπως σε αυτήν την έρευνα, η αύξηση αυτή οφείλεται στα φαινολικά και κυρίως τα φλαβονοειδή, τα οποία βρίσκονται σε αφθονία στα φυτά, έτσι και στην παρούσα έρευνα οφείλεται στις φυτοχημικές ενώσεις (σαφράναλη, κροκετίνη πικροκροκίνη, φαινόλη, φλαβονοειδές κ.α.) του κρόκου. Τα φλαβονοειδή όπως είναι γνωστό έχουν ένα τμήμα υδροξυλίου που μπορεί να σχηματίζει δεσμό με τα μόρια του νερού χρησιμοποιώντας δεσμούς υδρογόνου. Προφανώς και ο κρόκος περιέχει μακρομόρια τα οποία οδηγούν σε υψηλότερη συγκράτηση νερού και σε υψηλότερο ιξώδες με πιο συμπαγείς δομές.

Όμως, την 14<sup>η</sup> ημέρα σε υψηλά επίπεδα παρέμειναν μόνο τα δύο δείγματα που έχει υποστεί υπέρηχους (0.00% w/w Y1, 0.025% w/w Y2) γεγονός που δικαιολογείται καθώς η εφαρμογή υπερήχων συμβάλλει στην αύξηση της ικανότητας συγκράτησης νερού στο πήγμα (Akdeniz & Akalin, 2019; Chandrapala et al., 2016; Gursay et al., 2016b; Higuera-Barraza et al., 2016b) καθώς προσκollούνται οι καζεΐνες στις μεμβράνες λιπιδίων και εκτίθενται στις υδρόφιλες περιοχές στην υδατική φάση. Για τον παραπάνω λόγο, η εφαρμογή υπερήχων μπορεί, είτε μόνη της είτε σε συνδυασμό με θερμική κατεργασία, να διεξαχθεί ώστε να επιτευχθεί αύξηση της ικανότητας δέσμευσης νερού και αποφυγή του διαχωρισμού ορού κατά την αποθήκευση του γιαουρτιού. Έτσι δικαιολογείται και η αυξημένη ικανότητα συγκράτησης νερού των δειγμάτων, που έχουν υποστεί υπέρηχους στη συγκεκριμένη έρευνα (0.00% w/w Y1, 0.025% w/w Y3).

Αντίθετα, την 14 ημέρα, τη μικρότερη ικανότητα συγκράτησης νερού με μεγάλη στατιστικά σημαντική διαφορά από τα υπόλοιπα βρίσκονται και τα δύο δείγματα με συγκέντρωση 0.05% w/w. Στις φωτογραφίες που έχουν ληφθεί από τα δείγματα και παρουσιάζονται στην κατηγορία «Μετρήσεις δομής» (βλέπε σελ. 56) είναι φανερό και η συναίρεση του δείγματος 0.05% w/w Y3.

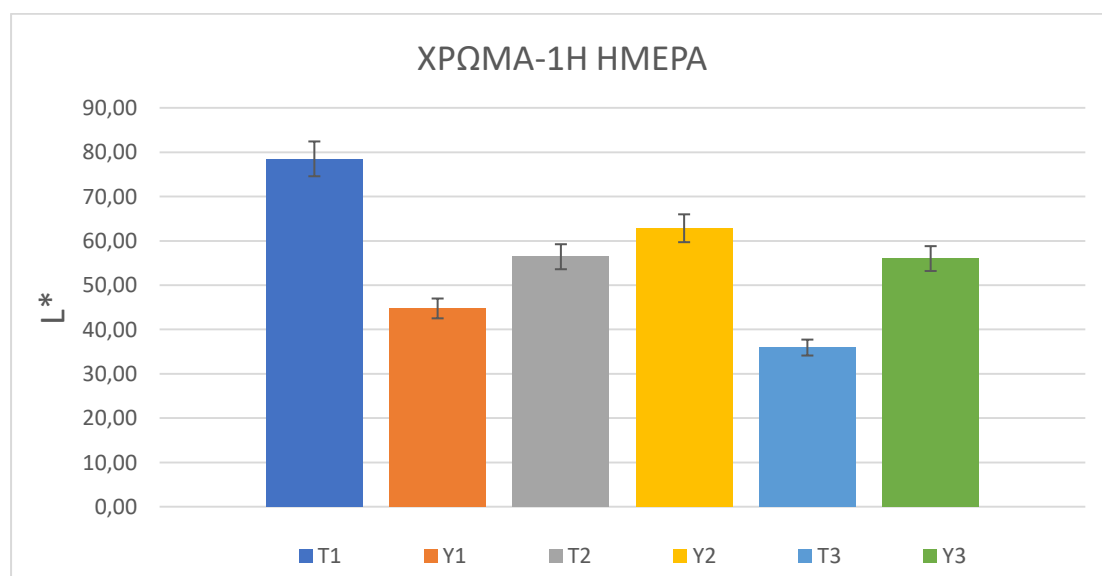
## 4.5. Μετρήσεις χρώματος

### 4.5.1. Αποτελέσματα μετρήσεων χρώματος γιαουρτιού με κρόκο κατά την 1<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης

Τα αποτελέσματα από τον προσδιορισμό του χρώματος των διαφορετικών δειγμάτων γιαουρτιού βασίζονται σε τρεις παραμέτρους  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  και φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.

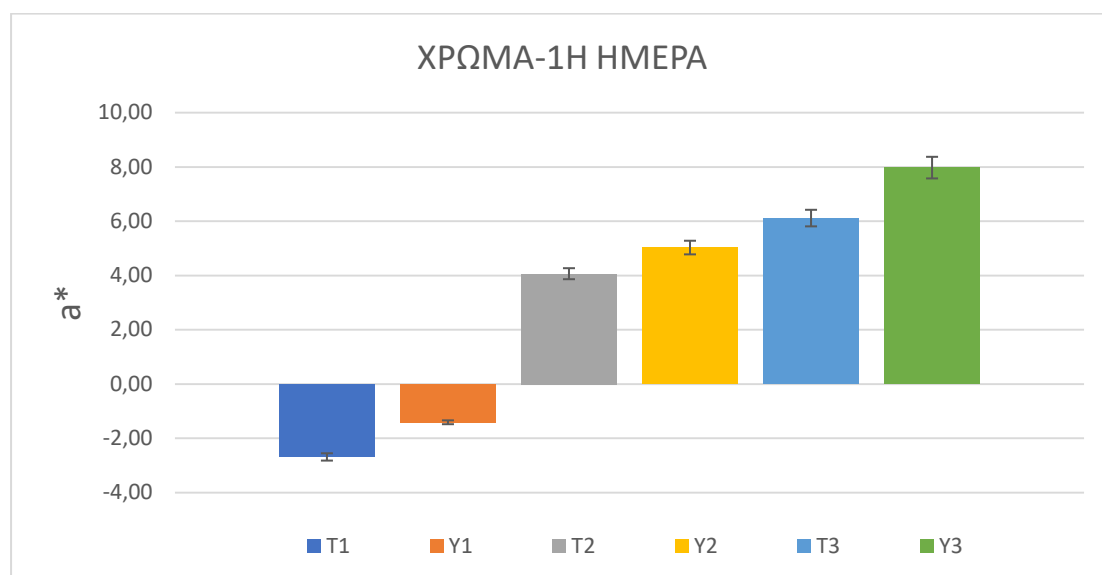
Η φωτεινότητα ( $L^*$ ) παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 11**, όπου την πιο υψηλή τιμή την έχει το δείγμα control (0.00% w/w T1) που έχει παρασκευαστεί με θέρμανση με μεγάλη διαφορά από το control που έχει υποστεί υπέρηχους (0.00% w/w Y1), το οποίο φαίνεται να έχει τη δεύτερη πιο χαμηλή φωτεινότητα μετά το δείγμα 0.05% w/w T3. Τα υπόλοιπα βρίσκονται σε ενδιάμεσα επίπεδα.

Επίσης, αυτό που παρατηρείται είναι ότι στην περίπτωση των δειγμάτων, που δεν έχουν υποστεί υπέρηχους, υπάρχει διαδοχική μείωση της φωτεινότητας όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του κρόκου. Δεν συμβαίνει το ίδιο στα δείγματα που έχουν υποστεί υπέρηχους, όπου και τα δύο δείγματα που περιέχουν κρόκο (0.025% w/w Y2, 0.05% w/w Y3), έχουν πιο υψηλή φωτεινότητα από το αντίστοιχο control.



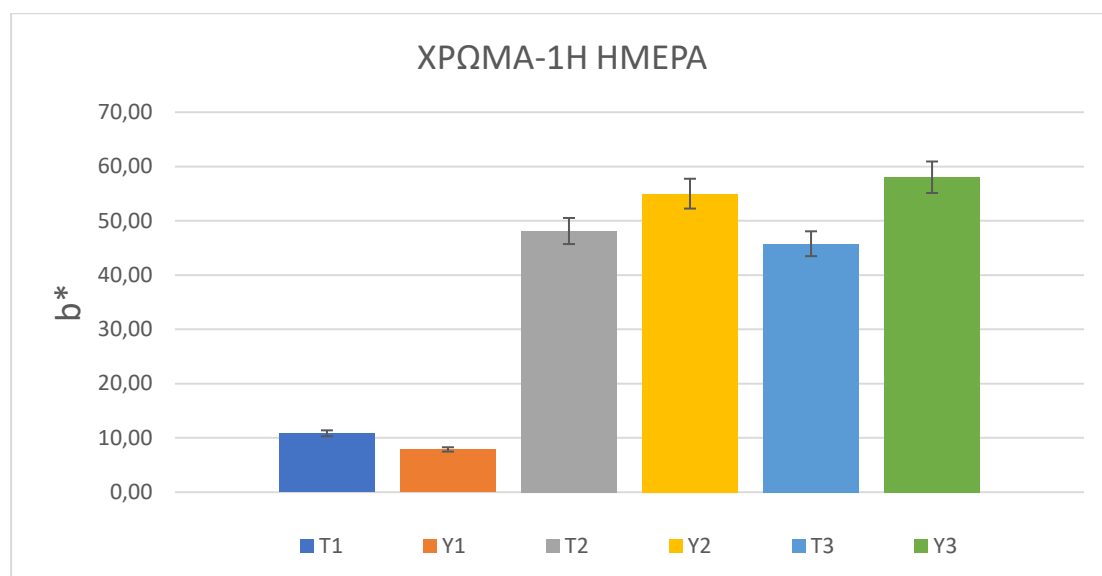
**Διάγραμμα 11.** Μετρήσεις της φωτεινότητας  $L^*$  των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 1<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w T3, 0.05% w/w Y3).

Τα αποτελέσματα της παραμέτρου  $a^*$ , που υποδεικνύει τα χρώματα πράσινο (αρνητικό) και κόκκινο (θετικό), παρουσιάζονται στο **Διάγραμμα 12**. Τα δύο control (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1) έχουν αρνητικές τιμές όσον αφορά την συγκεκριμένη παράμετρο, που σημαίνει ότι τείνουν στο πράσινο. Στη συνέχεια, είναι εμφανή η βαθμιαία αύξηση στις θετικές τιμές της παραμέτρου  $a^*$ , δηλαδή στο κόκκινο, όσο αυξάνεται και η συγκέντρωση. Επίσης, παρατηρείται ότι τα δείγματα που έχουν παρασκευαστεί με θέρμανση βρίσκονται ελάχιστα πιο χαμηλά στην παράμετρο  $a^*$ , από εκείνα που έχουν επεξεργαστεί με υπέρηχους στις αντίστοιχες συγκεντρώσεις.



**Διάγραμμα 12.** Μετρήσεις της παραμέτρου  $a^*$  των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 1<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w T3, 0.05% w/w Y3).

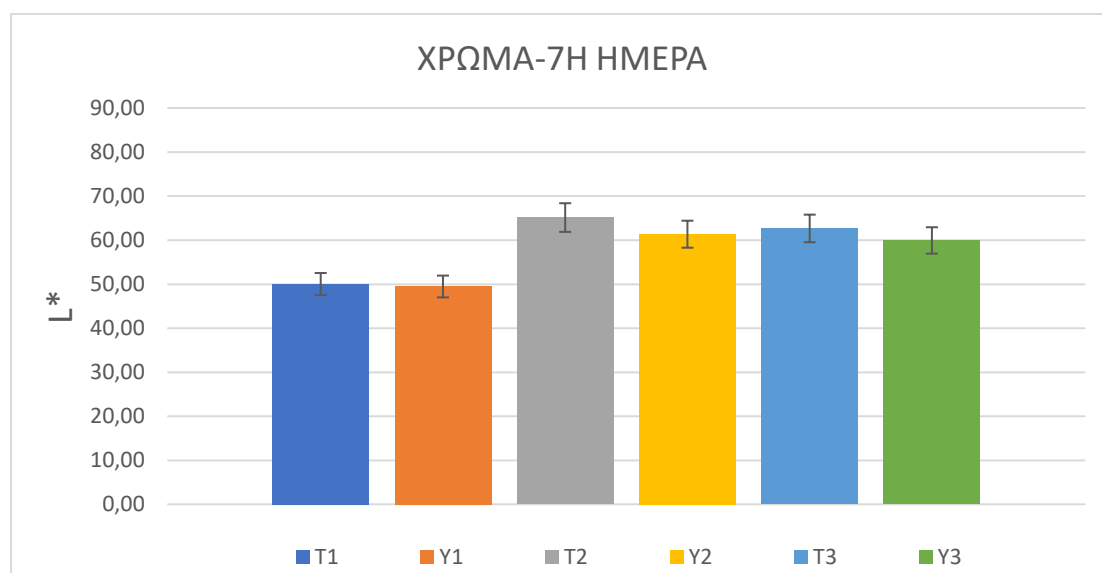
Το **Διάγραμμα 13** απεικονίζει τα αποτελέσματα της παραμέτρου  $b^*$  που υποδεικνύει το κίτρινο χρώμα όταν οι τιμές είναι θετικές και το μπλε όταν είναι αρνητικές. Όπως είναι εμφανές όλες οι τιμές βρίσκονται στον θετικό άξονα, άρα δεν υπάρχει κάποιο δείγμα που να τείνει προς το μπλε. Τα δύο control, 0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, τείνουν λιγότερο προς το κίτρινο με τιμές 10,83 και 7,86, αντίστοιχα. Με σημαντική διαφορά ακολουθούν τα γιαούρτια που παρασκευάστηκαν με τη μέθοδο της θέρμανσης (0.025% w/w T2, 0.05% w/w T3) και στη συνέχεια, στο πιο σκούρο κίτρινο βρίσκονται τα άλλα δύο δείγματα (0.025% w/w Y2, 0.05% w/w Y3) που έχουν υποστεί υπέρηχους.



**Διάγραμμα 13.** Μετρήσεις της παραμέτρου  $b^*$  των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 1<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w T3, 0.05% w/w Y3).

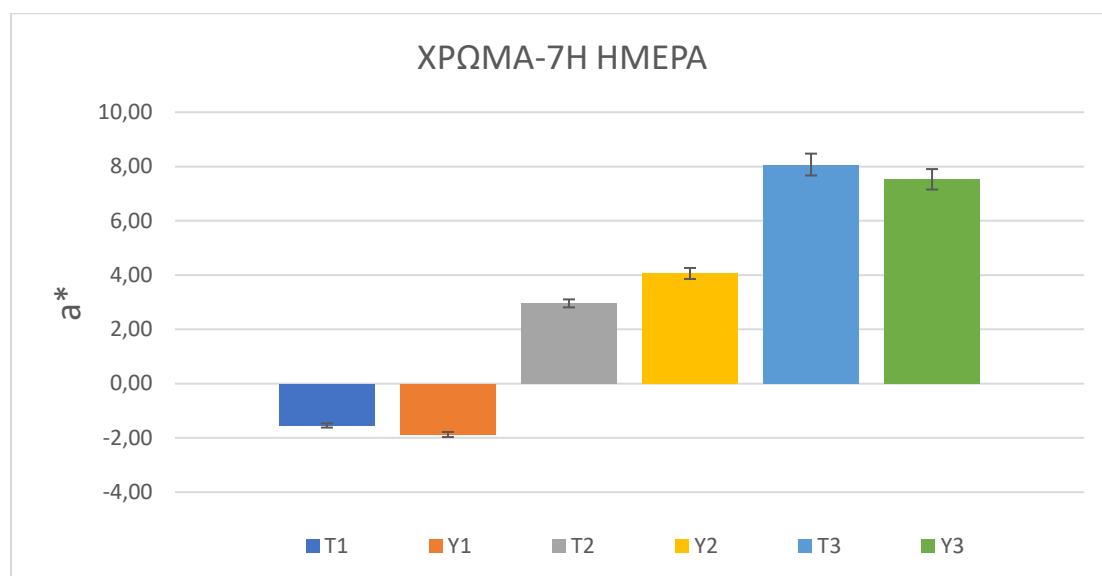
#### 4.5.2. Αποτελέσματα μετρήσεων χρώματος γιαουρτιού με κρόκο κατά την 7η ημέρα αποθήκευσης

Από το **Διάγραμμα 14**, συμπεραίνεται ότι τα δύο control, 0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, έχουν τη χαμηλότερη φωτεινότητα και παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά ( $p < 0,05$ ) από τα υπόλοιπα. Η μεγαλύτερη φωτεινότητα παρατηρείται στα δείγματα εμπλουτισμένα με κρόκο που παρασκευάστηκαν με θέρμανση (0.025% w/w T2) ενώ αυτά που έχουν υποστεί υπέρηχους (0.025% w/w Y2, 0.05% w/w Y3) βρίσκονται ελάχιστα πιο χαμηλά συγκρίνοντας τις ίδιες συγκεντρώσεις.



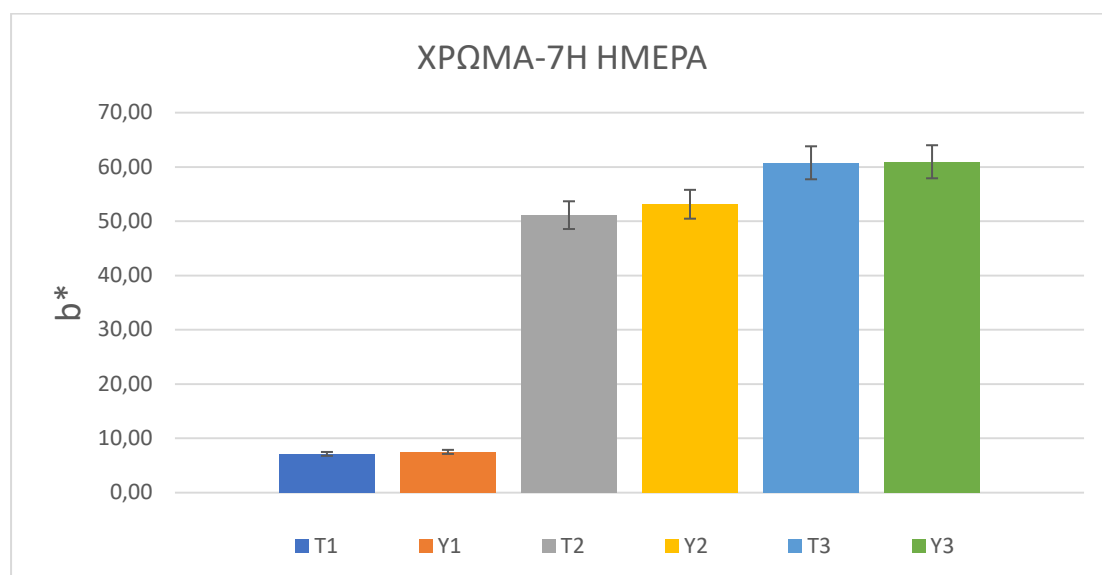
**Διάγραμμα 14.** Μετρήσεις της φωτεινότητας  $L^*$  των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 7<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w T3, 0.05% w/w Y3).

Τα αποτελέσματα της παραμέτρου  $a^*$ , που υποδεικνύει τα χρώματα πράσινο (αρνητικό) και κόκκινο (θετικό), παρουσιάζονται στο **Διάγραμμα 15**. Τα δύο control (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1) έχουν αρνητικές τιμές όσον αφορά την συγκεκριμένη παράμετρο, που σημαίνει ότι τείνουν στο πράσινο. Στη συνέχεια, είναι εμφανή η βαθμιαία αύξηση στις θετικές τιμές της παραμέτρου  $a^*$ , δηλαδή στο κόκκινο, όσο αυξάνεται και η συγκέντρωση. Επίσης, παρατηρείται ότι στα γιαούρτια με συγκέντρωση κρόκου 0.025% w/w, αυτό που έχει παρασκευαστεί με θέρμανση βρίσκεται πιο χαμηλά στην παράμετρο  $a^*$  από αυτό που έχει υποστεί υπέρηχους, ενώ στα γιαούρτια με συγκέντρωση κρόκου 0.05% w/w, συμβαίνει το αντίθετο.



**Διάγραμμα 15.** Μετρήσεις της παραμέτρου  $a^*$  των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 7η ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w T3, 0.05% w/w Y3).

Τα αποτελέσματα της παραμέτρου  $b^*$ , που υποδεικνύει το κίτρινο χρώμα όταν οι τιμές είναι θετικές και το μπλε όταν είναι αρνητικές, παρουσιάζονται στο **Διάγραμμα 16**. Τα δύο control (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1) έχουν τιμές πολύ κοντά στο μηδέν, που σημαίνει ότι τείνουν ελαφρώς στο κίτρινο. Στη συνέχεια, είναι εμφανή η μεγάλη αύξηση σε όλα τα υπόλοιπα δείγματα στις τιμές της παραμέτρου  $b^*$ , δηλαδή στο έντονο κίτρινο, όσο αυξάνεται και η συγκέντρωση. Επίσης, παρατηρείται ότι τα δείγματα που έχουν παρασκευαστεί με θέρμανση βρίσκονται ελάχιστα πιο χαμηλά στην παράμετρο  $b^*$ , από εκείνα που έχουν επεξεργαστεί με υπέρηχους στις αντίστοιχες συγκεντρώσεις.

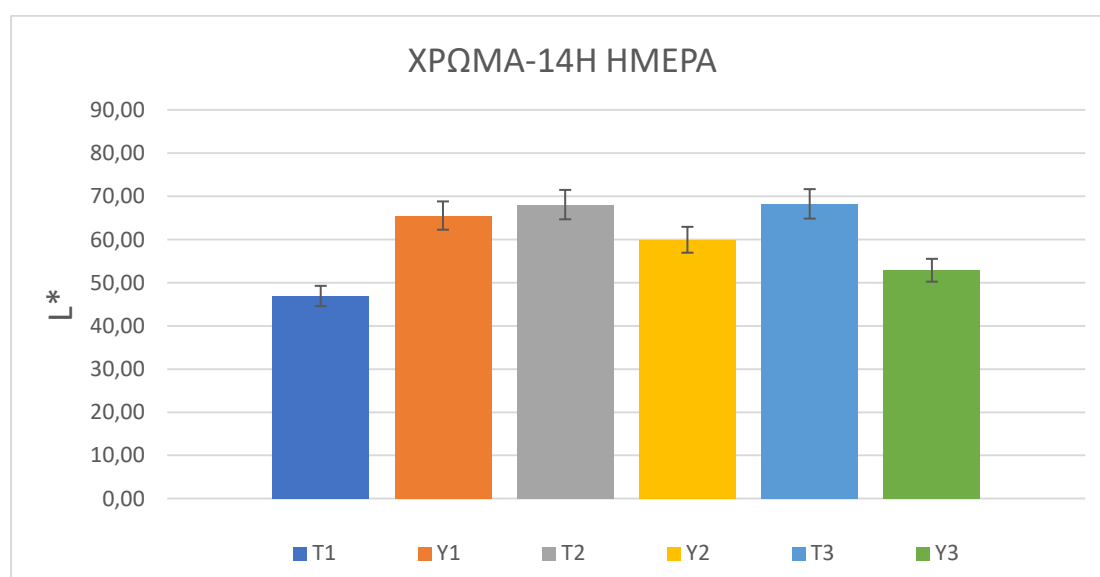


**Διάγραμμα 16.** Μετρήσεις της παραμέτρου  $b^*$  των των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 7η ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w T3, 0.05% w/w Y3).

#### 4.5.3. Αποτελέσματα μετρήσεων χρώματος γιαουρτιού με κρόκο κατά την 14η ημέρα αποθήκευσης

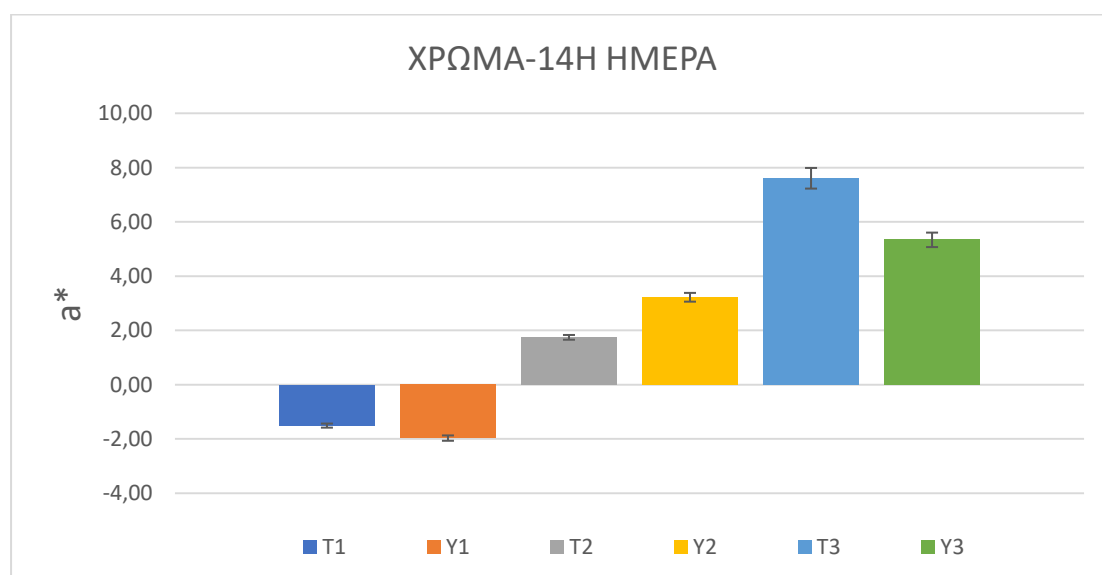
Τα αποτελέσματα από τον προσδιορισμό του χρώματος των διαφορετικών δειγμάτων γιαουρτιού βασίζονται σε τρεις παραμέτρους  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  και φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.

Από το **Διάγραμμα 17** συμπεραίνεται ότι όλα τα γιαούρτια έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά ( $p < 0,05$ ) μεταξύ τους όσον αφορά τη φωτεινότητα ( $L^*$ ). Εξάιρεση αποτελούν τα δείγματα 0.025% w/w T2 και 0.05% w/w T3, που έχουν σχεδόν την ίδια φωτεινότητα μεταξύ τους αλλά πολύ μεγαλύτερη από το αντίστοιχο control τους (0.00% w/w T1). Στις συγκεντρώσεις κρόκου 0.025% w/w και 0.05% w/w, τα δείγματα που έχουν υποστεί υπέρηχους παρουσίασαν χαμηλότερες φωτεινότητες και από το control τους αλλά και από τα αντίστοιχα δείγματα που παρασκευάστηκαν με θέρμανση.



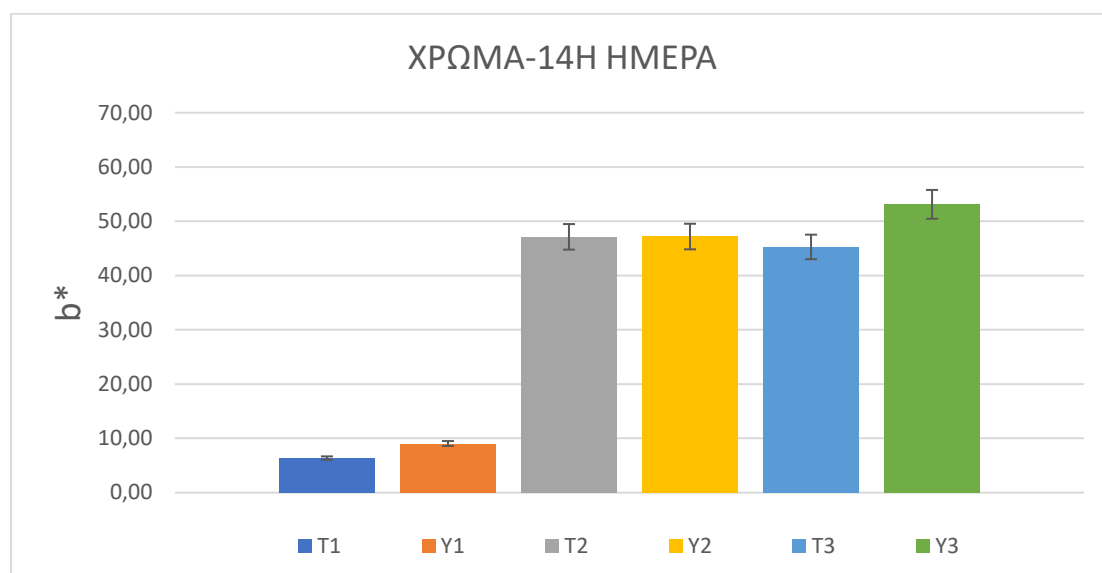
**Διάγραμμα 17.** Μετρήσεις της φωτεινότητας  $L^*$  των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 14<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w T3, 0.05% w/w Y3).

Τα αποτελέσματα της παραμέτρου  $a^*$ , που υποδεικνύει τα χρώματα πράσινο (αρνητικό) και κόκκινο (θετικό), παρουσιάζονται στο **Διάγραμμα 18**, για την 14<sup>η</sup> ημέρα μετρήσεων. Τα δύο control (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1) έχουν αρνητικές τιμές όσον αφορά τη συγκεκριμένη παράμετρο, που σημαίνει ότι τείνουν στο πράσινο. Στη συνέχεια, είναι εμφανή η βαθμιαία αύξηση στις θετικές τιμές της παραμέτρου  $a^*$ , δηλαδή στο κόκκινο, όσο αυξάνεται και η συγκέντρωση. Επίσης, παρατηρείται ότι στα γιαούρτια με συγκέντρωση κρόκου 0.025% w/w, αυτό που έχει παρασκευαστεί με θέρμανση βρίσκεται πιο χαμηλά στην παράμετρο  $a^*$  από αυτό που έχει υποστεί υπέρηχους, ενώ στα γιαούρτια με συγκέντρωση κρόκου 0.05% w/w, συμβαίνει το αντίθετο.



**Διάγραμμα 18.** Μετρήσεις της παραμέτρου  $a^*$  των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 14<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w T3, 0.05% w/w Y3).

Τα αποτελέσματα της παραμέτρου  $b^*$ , που υποδεικνύει το κίτρινο χρώμα όταν οι τιμές είναι θετικές και το μπλε όταν είναι αρνητικές, παρουσιάζονται στο **Διάγραμμα 19**. Τα δύο control (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1) έχουν τιμές πολύ κοντά στο μηδέν, που σημαίνει ότι τείνουν ελαφρώς στο κίτρινο. Στη συνέχεια, είναι εμφανή η μεγάλη αύξηση σε όλα τα υπόλοιπα δείγματα στις τιμές της παραμέτρου  $b^*$ , δηλαδή στο έντονο κίτρινο. Επίσης, παρατηρείται ότι στα γιαούρτια που έχουν υποστεί υπέρηχους, αυτό που περιέχει συγκέντρωση κρόκου 0.05% w/w (0.05% w/w Y2) είναι πιο έντονο κίτρινο από εκείνο που περιέχει συγκέντρωση κρόκου 0.025% w/w (0.025% w/w Y2). Αντίθετα, στα γιαούρτια που έχουν παρασκευαστεί με θέρμανση αυτό που έχει συγκέντρωση κρόκου 0.05% w/w (0.025% w/w T2), βρίσκεται ελαφρώς πιο χαμηλά από το άλλο (0.05% w/w T3).



**Διάγραμμα 19.** Μετρήσεις της παραμέτρου  $b^*$  των των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 14<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w T3, 0.05% w/w Y3).

Το έντονο κίτρινο χρώμα των στιγμάτων του κρόκου και κατά συνέπεια των υδατικών ή αλκοολικών εκχυλισμάτων του οφείλεται στην παρουσία καροτενοειδών, κροκετίνη και κροκίνη. Στην παρούσα μελέτη, η διαφορά στο χρώμα είναι φανερά μεγάλη οπτικά καθώς τα δείγματα συγκέντρωσης 0.025% w/w έχουν κιτρινωπό χρώμα και συγκέντρωσης 0.05% w/w κιτρινό-πορτοκαλί. Όταν ο κρόκος διαλύεται

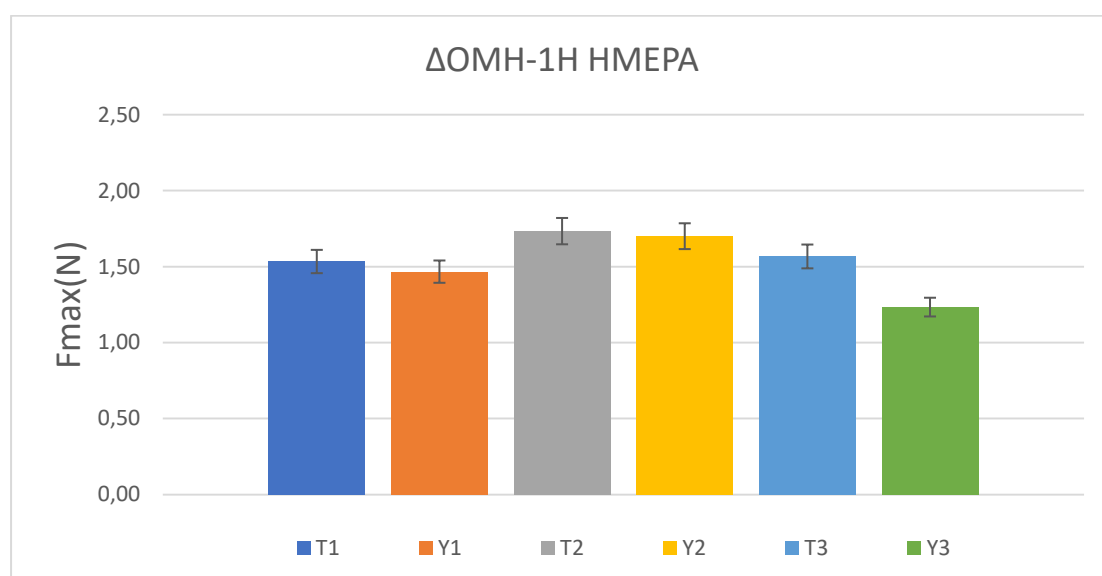
σε κάποιο υγρό δημιουργείται ένα κιτρινό-πορτοκαλί διάλυμα και καθώς αυξάνεται η ποσότητα του κρόκου, μειώνεται η φωτεινότητα του γιαουρτιού. Αυτό συμπεραίνεται στο διάγραμμα της 1<sup>ης</sup> ημέρας αποθήκευσης για τα δείγματα που παρασκευάστηκαν με θέρμανση.

Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τις άλλες δύο μέρες αποθήκευσης (7<sup>η</sup> και 14<sup>η</sup> ημέρα) το  $L^*$  μειώνεται σταδιακά μόνο στο δείγμα control (0.00% w/w), χάνοντας τη φωτεινότητα του. Ενώ, σε εκείνα που περιέχουν κρόκο παρατηρείται διατήρηση και αύξηση της φωτεινότητας. Στα δείγματα που έχουν υποστεί υπέρηχο και οι δύο συγκεντρώσεις κρόκου έχουν μεγαλύτερη φωτεινότητα από το αντίστοιχο control κατά την 1<sup>η</sup> και 7<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης ενώ την 14<sup>η</sup> ημέρα συμβαίνει το αντίθετο. Και στις δυο μεθόδους επεξεργασίας, όσον αφορά στην παράμετρο  $a^*$  και  $b^*$ , η προσθήκη κρόκου αύξησε σημαντικά την ερυθρότητα και το κιτρίνισμα, αντίστοιχα, τα οποία διατηρήθηκαν και κατά την αποθήκευση.

#### 4.6. Μετρήσεις δομής

##### 4.6.1. Αποτελέσματα μετρήσεων δομής γιαουρτιού με κρόκο κατά την 1<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης

Τέλος, στα γιαούρτια μετρήθηκε η δομή και συγκεκριμένα λήφθηκαν αποτελέσματα για την μέγιστη δύναμη παραμόρφωσης της δομής τους ( $F_{max}$ ). Στο **Διάγραμμα 20** φαίνονται τα αποτελέσματα της σκληρότητας των 6 διαφορετικών δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο. Όπως φαίνεται οι διαφορές μεταξύ των δειγμάτων είναι πολύ μικρές. Μόνη εξαίρεση αποτελεί το γιαούρτι που έχει επεξεργαστεί με υπέρηχους και περιέχει 0.05% w/w συγκέντρωση κρόκου (0.05% w/w Y3), στο οποίο παρατηρήθηκε η μικρότερη σκληρότητα. Αντίθετα, η μεγαλύτερη δύναμη ασκήθηκε στο δείγμα 0.025% w/w T2.



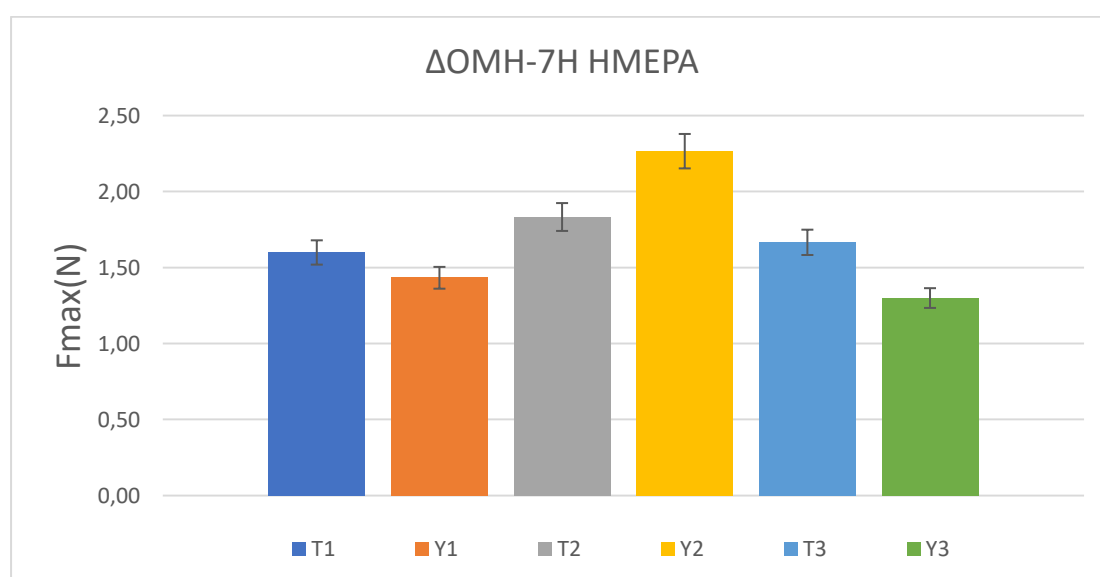
**Διάγραμμα 20.** Μετρήσεις σκληρότητας των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 1<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w T3, 0.05% w/w Y3).



**Εικόνα 1:** Δείγματα γιαουρτιού με κρόκο την 1<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.025% w/w T2, 0.05%, w/w T3, 0.00% w/w Y1, 0.025%, w/w Y2, 0.05% w/w Y3).

#### 4.6.2. Αποτελέσματα μετρήσεων δομής γιαουρτιού με κρόκο κατά την 7<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης

Στο **Διάγραμμα 21** φαίνονται τα αποτελέσματα της σκληρότητας των 6 διαφορετικών δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 7<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης. Συμπεραίνεται ότι όλα τα γιαούρτια έχουν διαφορές, στατιστικά σημαντικές ( $p < 0,05$ ) μεταξύ τους όσον αφορά στη σκληρότητά τους. Τη μικρότερη τιμή σημείωσε το γιαούρτι με περιεκτικότητα σε κρόκο 0.05% w/w (0.05% w/w Y3) που έχει επεξεργαστεί με υπέρηχους, ενώ τη μεγαλύτερη το γιαούρτι με περιεκτικότητα σε κρόκο 0.025% w/w (0.025% w/w Y2). Συγκρίνοντας τα δείγματα που έχουν παρασκευαστεί με θέρμανση (0.00% w/w T1, 0.025% w/w T2, 0.05% w/w T3), αρχικά παρατηρείται αύξηση της σκληρότητας όσο αυξάνεται η συγκέντρωση δηλαδή του control (0.00% w/w T1), συγκριτικά με το γιαούρτι συγκέντρωσης κρόκου 0.025% w/w (0.025% w/w T2). Ενώ στη συνέχεια, καθώς αυξάνεται κι άλλο η συγκέντρωση του κρόκου (0.05% w/w T3), η σκληρότητα μειώνεται. Το ίδιο μοτίβο παρουσιάζουν και τα δείγματα που έχουν υποστεί υπέρηχους.



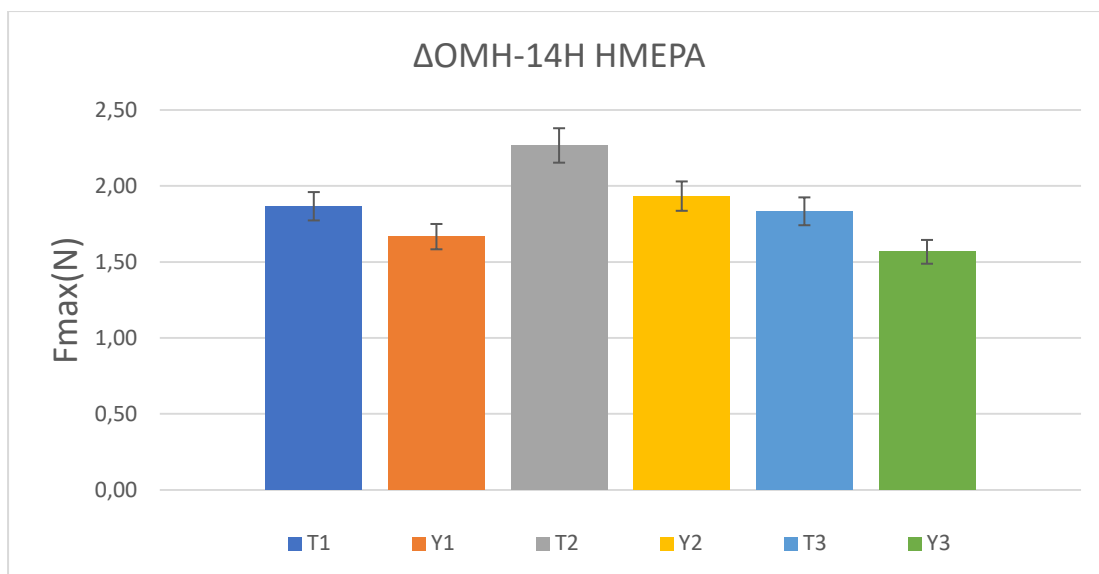
**Διάγραμμα 21.** Μετρήσεις σκληρότητας των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 7<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w T3, 0.05% w/w Y3).



**Εικόνα 2:** Δείγματα γιαουρτιού με κρόκο την 7<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.025% w/w T2, 0.05% w/w T3, 0.00% w/w Y1, 0.025%, w/w Y2, 0.05% w/w Y3).

#### **4.6.3. Αποτελέσματα μετρήσεων δομής γιαουρτιού με κρόκο κατά την 14<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης**

Στο **Διάγραμμα 22** φαίνονται τα αποτελέσματα της σκληρότητας των 6 διαφορετικών δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 14<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης. Από το **Διάγραμμα** συμπεραίνεται ότι όλα τα γιαούρτια έχουν διαφορές στατιστικά σημαντικές ( $p < 0,05$ ) μεταξύ τους όσον αφορά στη σκληρότητά τους. Τη μικρότερη τιμή σημείωσε το δείγμα 0.05% w/w Y3, ενώ τη μεγαλύτερη το δείγμα 0.025% w/w T2. Συγκρίνοντας τα δείγματα που έχουν παρασκευαστεί με θέρμανση (0.00% w/w T1, 0.025% w/w, 0.05% w/w T3), αρχικά παρατηρείται αύξηση της σκληρότητας όσο αυξάνεται η συγκέντρωση δηλαδή του control (0.00% w/w T1) συγκριτικά με το γιαούρτι συγκέντρωσης κρόκου 0.025% w/w (0.025% w/w T2). Ενώ στη συνέχεια, καθώς αυξάνεται κι άλλο η συγκέντρωση του κρόκου (0.05% w/w T3), η σκληρότητα μειώνεται. Το ίδιο μοτίβο τα δείγματα που έχουν υποστεί υπέρηχους (0.00% w/w Y1, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w Y3).



**Διάγραμμα 22.** Μετρήσεις σκληρότητας των έξι δειγμάτων γιαουρτιού με κρόκο την 14<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.00% w/w Y1, 0.025% w/w T2, 0.025% w/w Y2, 0.05% w/w T3, 0.05% w/w Y3).



**Εικόνα 2:** Δείγματα γιαουρτιού με κρόκο την 7<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (0.00% w/w T1, 0.025% w/w T2, 0.05% w/w T3, 0.00% w/w Y1, 0.025%, w/w Y2, 0.05% w/w Y3).

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα δείγματα που χρειάστηκαν μεγαλύτερη δύναμη από τα control για την παραμόρφωση της δομή τους ήταν και τα δύο δείγματα με συγκέντρωση 0.025% w/w. Ενώ λιγότερη δύναμη από όλα χρειάστηκε το δείγμα 0.05% w/w που υπέστη υπέρηχους. Η ίδια εικόνα παρουσιάζεται από την 1<sup>η</sup> μέχρι την 14<sup>η</sup> ημέρα της αποθήκευσης. Έτσι θα μπορούσε να βγει το συμπέρασμα, ότι η προσθήκη κρόκου επηρέασε σε σημαντικό βαθμό τις πρωτεΐνες πήξης και πιο συγκεκριμένα τις καζεΐνες. Η πτώση που παρατηρείται στη σκληρότητα μπορεί να οφείλεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ των φαινολικών ενώσεων του κρόκου και της

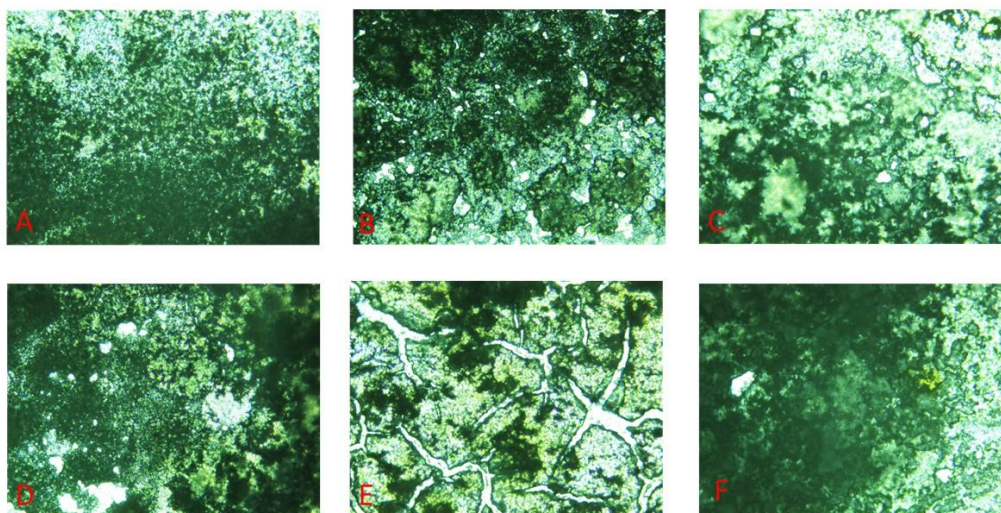
καζεΐνης των πρωτεϊνών. Αυτό προκαλεί μείωση στις τιμές της σκληρότητας του γιαουρτιού και μάλιστα η αποθήκευση των δειγμάτων μπορεί να ενισχύει την αλληλεπίδραση αυτήν.

Σε έρευνες που έχουν διενεργηθεί αναφέρεται ότι η μείωση της περιεκτικότητας σε λίπος στα γιαούρτια (αποβουτυρωμένη σκόνη γάλακτος) μπορεί να δημιουργήσει μια πιο εύθραυστη δομή λόγω του ασθενέστερου πρωτεϊνικού δικτύου του (Ramchandran & Shah, 2009). Στην ίδια έρευνα, μετρήθηκε η δομή σε γιαούρτια εμπλουτισμένα με σκόνη φλούδας φρούτων του πάθους και τα αποβουτυρωμένα γιαούρτια είχαν υψηλότερες τιμές σκληρότητας σε σχέση με τους μάρτυρές τους. Το ίδιο παρατηρείται και στην παρούσα μελέτη για τη συγκέντρωση 0.025% w/w. Όμως, στα γιαούρτια με συγκέντρωση κρόκου 0.05%, w/w παρατηρείται μια πτώση στη σκληρότητα κάτι που μπορεί να συμβαίνει καθώς στο σχηματίζονται μερικές αδύναμες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των φαινολικών ενώσεων του κρόκου και της καζεΐνης των πρωτεϊνών, που οδηγούν στη μείωση της σκληρότητας του γιαουρτιού (Mudgil et al., 2017).

Σύμφωνα με τους Damin et al (2008), τα γιαούρτια που χρειάζονται περισσότερο χρόνο ζύμωσης, η σκληρότητα είναι μεγαλύτερη και το αντίστροφο. Γενικότερα, η δομή να επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η καλλιέργεια, τα συνολικά στερεά, η αλληλεπίδραση των συστατικών των γιαουρτιών μεταξύ τους και η περιεκτικότητα και ο τύπος της πρωτεΐνης (Damin et al., 2009).

#### 4.7. Μικροδομή

Στις παρακάτω φωτογραφίες καταγράφηκαν οι αλλαγές στη μικροδομή των γιαουρτιών εμπλουτισμένα με συγκεντρώσεις 0% w/w, 0,25% w/w, 0,5% w/w, Κρόκου Κοζάνης. Σκοπός της απεικόνισης της μικροδομής είναι η επεξήγηση των τροποποιήσεων των φυσικών και δομικών ιδιοτήτων των γιαουρτιών με την ενσωμάτωση του εκχυλίσματος κρόκου.



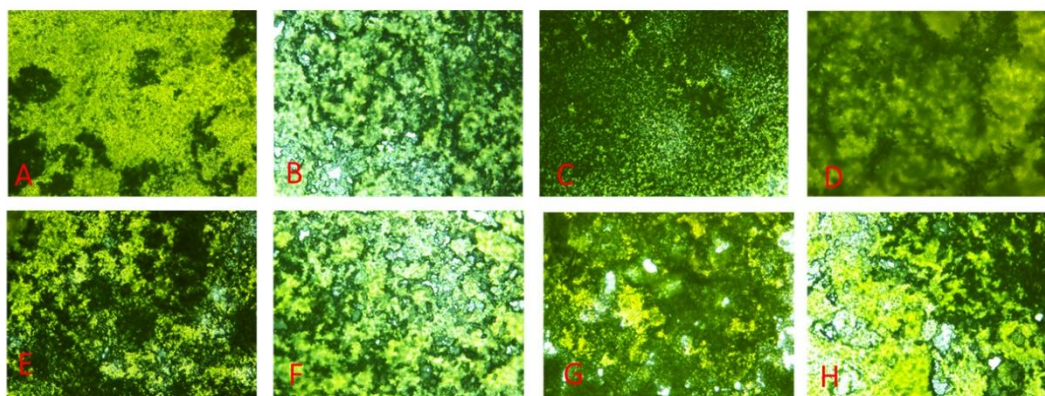
**Εικόνα 3:** Δείγματα γιαουρτιού χωρίς κρόκο παρασκευασμένα με τη μέθοδο της θέρμανσης (A: T1 την 1<sup>η</sup> ημέρα, B: T1 την 7<sup>η</sup> ημέρα, C: T1 την 14<sup>η</sup> ημέρα) και με τη μέθοδο των υπερήχων (D: Y1 την 1<sup>η</sup> ημέρα, E: Y1 την 7<sup>η</sup> ημέρα, F: Y1 την 14<sup>η</sup> ημέρα).

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα της εργασίας, το pH και ικανότητα συγκράτησης νερού δεν επηρέασαν τη μεταβολή της υφής των γιαουρτιών που παρατηρείται στην εικόνα 3, είτε είχαν εφαρμοστεί υπέρηχοι είτε όχι, κατά τη διάρκεια αποθήκευσης του γιαουρτιού.

Συγκρίνοντας τα γιαούρτια που παρασκευάστηκαν με θέρμανση με αυτά που υπέστησαν υπέρηχους, η παράμετρος που σημειώθηκαν διαφορές είναι η οξύτητα, σε όλες τις ημέρες της αποθήκευσης (1<sup>η</sup>, 7<sup>η</sup>, 14<sup>η</sup> ημέρα). Επομένως, παρατηρούνται αλλαγές στην εικόνα των μικροδομών. Είναι φανερό ότι η εικόνα E, δηλαδή το

γιαούρτι που έχει υποστεί υπέρηχους (7<sup>η</sup> ημέρα) έχει πιο μαλακή δομή και από αυτό που δεν έχει υποστεί. Αυτό επιβεβαιώνεται και αυτό από τα αποτελέσματα της δομής, όπου το Y1 έχει μικρότερες τιμές σκληρότητας από το T1.

Την 1<sup>η</sup> ημέρα, παρατηρήθηκε ότι τα γιαούρτια έχουν παραπλήσιες τιμές σκληρότητας. Σε αυτήν την περίπτωση όμως στη μικροδομή παρατηρείται μια διαφορετικού τύπου διαμόρφωση της πηκτής. Τέλος, την 14<sup>η</sup> ημέρα και τα δύο γιαούρτια εμφανίζουν αύξηση της σκληρότητας, συγκριτικά με τις προηγούμενες ημέρες, που σημαίνει ότι υπάρχει διαφορά στη μικροδομή. Καθώς περνάνε οι μέρες αποθήκευσης των γιαουρτιών αλλάζει ο τρόπος δικτύωσης των πρωτεϊνών τους.



**Εικόνα 4:** Δείγματα γιαουρτιού με κρόκο παρασκευασμένα με τη μέθοδο της θέρμανσης (A: T2 την 1<sup>η</sup> ημέρα, B: T2 την 14<sup>η</sup> ημέρα, C: T3 την 1<sup>η</sup> ημέρα, D: T3 την 14<sup>η</sup> ημέρα) και με τη μέθοδο των υπερήχων (E: Y2 την 1<sup>η</sup> ημέρα, F: Y2 την 14<sup>η</sup> ημέρα, G: Y3 την 1<sup>η</sup> ημέρα, H: Y3 την 14<sup>η</sup> ημέρα).

Στην Εικόνα 3 και Εικόνα 4 η μικροδομή εμφανίζει διαφορετικό χρώμα, το οποίο οφείλεται στο γεγονός ότι στα γιαούρτια στην Εικόνα 4 έχει προστεθεί κρόκος Κοζάνης, ο οποίος περιέχει χρωστικές. Η παρουσία καροτενοειδών στον κρόκο, και πιο συγκεκριμένα η κροκετίνη και η κροκίνη οφείλονται για το κίτρινο χρώμα στα γιαούρτια (Ordoudi & Tsimidou, 2006).

Αρχικά, παρατηρείται ότι το γιαούρτι που χρειάστηκε λιγότερο χρόνο επώασης για να φτάσει στο 4,6 pH (T2) έχει σχηματίσει έναν διαφορετικό τύπο πηκτής. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι όσο πιο γρήγορη είναι η επώαση σε ένα

γιαούρτι τόσο πιο έντονα φαινόμενα συναίρεσης μπορεί να παρουσιάσει, καθώς οι πρωτεΐνες πλησιάζουν περισσότερο η μία την άλλη και δημιουργούν μια διαφορετική δομή.

Όσον αφορά το ίδιο δείγμα, το pH και η οξύτητα της 1<sup>ης</sup> και 14<sup>ης</sup> ημέρας δεν επηρέασε τη μεταβολή της υφής των γιαουρτιών που παρατηρείται στην εικόνα 4, συγκριτικά με το γιαούρτι μικρής συγκέντρωσης κρόκου στο οποίο εφαρμόστηκαν υπέρηχοι (Y2). Οι τιμές είναι πολύ κοντινές και την 14<sup>η</sup> ημέρα σχεδόν ίσες στην παράμετρο της οξύτητας. Παρόλα αυτά, οι διαφορές όμως στις εικόνες της μικροδομής παραμένουν. Αυτό μπορεί να οφείλεται στη δομή των γιαουρτιών καθώς παρουσιάζουν διαφορετικές τιμές σκληρότητας μεταξύ τους. Την τελευταία ημέρα της αποθήκευσης το γιαούρτι που παρασκευάστηκε με θέρμανση και περιέχει 0.025% w/w συγκέντρωση κρόκου (T2) παρουσιάζει την πιο ισχυρή δομή από όλες.

Στη συνέχεια, συγκρίνοντας, τις τιμές των προηγούμενων παραμέτρων με τη μικροδομή, των γιαουρτιών με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση κρόκου (T3, Y3), συμπεραίνεται ότι την 1<sup>η</sup> ημέρα το T3 έχει τη χαμηλότερη τιμή οξύτητας και το Y3 τη μεγαλύτερη. Με αυτό τον τρόπο δικαιολογείται και η διαφορά στη μορφή της μικροδομής τους (C, G) καθώς η ύπαρξη ελεύθερων οξέων επηρεάζει σημαντικά τη διαμόρφωση του δικτύου. Το γιαούρτι με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση κρόκου που έχει υποστεί υπέρηχους (Y3) αποτελεί το δείγμα με την πιο χαλαρή δομή και τη μεγαλύτερη οξύτητα από όλα τα υπόλοιπα, την 1<sup>η</sup> ημέρα της αποθήκευσης, η οποία αυξάνεται καθώς περνάνε οι μέρες της αποθήκευσης. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τις τιμές της δομής όπου το Y3 παρουσιάζει τη μικρότερη ικανότητα συγκράτησης νερού δηλαδή τη μεγαλύτερη συναίρεση την 14<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης. Από όλα τα παραπάνω, δικαιολογείται και η διαφορά της μορφής της μικροδομής του γιαουρτιού με την υψηλότερη συγκέντρωση κρόκου και ταυτόχρονη εφαρμογή υπερήχων σε αυτό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έχοντας διερευνήσει την επίδραση της προσθήκης συγκεντρώσεων κρόκου, 0.00% w/w, 0.025% w/w, 0.05%, w/w, και την εφαρμογή υπερήχων κατά την παραγωγή και αποθήκευση γιαουρτιού σε χαρακτηριστικά όπως το pH, η οξύτητα, η ικανότητα συγκράτησης νερού, το χρώμα και η δομή, καταγράφηκαν τα εξής συμπεράσματα:

- Η προσθήκη κρόκου μείωσε τον απαιτούμενο χρόνο για την ολοκλήρωση της ζύμωσης.
- Ο συνδυασμός της προσθήκης κρόκου και της εφαρμογής υπερήχων αύξησε τον χρόνο ζύμωσης.
- Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρήθηκε σταδιακή μείωση pH σε όλα τα δείγματα.
- Η οξύτητα αυξήθηκε σε όλα τα δείγματα κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και κατά την ολοκλήρωση της τα εμπλουτισμένα με κρόκο δείγματα είχαν μεγαλύτερη οξύτητα.
- Η προσθήκη κρόκου αύξησε τις τιμές ικανότητας συγκράτησης νερού την 1<sup>η</sup> και την 7<sup>η</sup> ημέρα της αποθήκευσης. Την 14<sup>η</sup> ημέρα αυτό το φαινόμενο παρατηρήθηκε μόνο στο δείγμα που είχε υποστεί υπέρηχους με συγκέντρωση 0.025% w/w.
- Τα δείγματα, στα οποία προστέθηκαν συγκεντρώσεις κρόκου 0.025% w/w και 0.05% w/w, εμφανίζονται με κιτρινο-πορτοκαλί και πορτοκαλί χρώμα, αντίστοιχα. Αρχικά, παρατηρείται μείωση της φωτεινότητας τους, με τη μέθοδο της θέρμανσης, στη συνέχεια όμως την 7<sup>η</sup> και την 14<sup>η</sup> ημέρα της αποθήκευσης, είναι αυξημένη σε σύγκριση με τα αντίστοιχα control τους. Στα δείγματα που έχουν υποστεί υπέρηχο και οι δύο συγκεντρώσεις κρόκου έχουν μεγαλύτερη φωτεινότητα από το αντίστοιχο control κατά την 1<sup>η</sup> και 7<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης ενώ την 14<sup>η</sup> ημέρα συμβαίνει το αντίθετο. Και στις δυο μεθόδους επεξεργασίας, όσον αφορά στην παράμετρο  $a^*$  και  $b^*$ , η προσθήκη κρόκου αύξησε σημαντικά την ερυθρότητα και το κιτρίνισμα, αντίστοιχα, τα οποία διατηρήθηκαν και κατά την αποθήκευση.
- Οι υψηλότερες τιμές σκληρότητας σημειώθηκαν στα δείγματα συγκέντρωσης κρόκου 0.025% w/w.

- Η χρήση υπερήχων στο γιαούρτι εμπλουτισμένο με κρόκο συγκέντρωσης 0.05% w/w ευνοεί αρκετά το φαινόμενο της συναίρεσης κατά την αποθήκευση.
- Η συνδυαστική επίδραση υπερήχων και η προσθήκη κρόκου συγκέντρωσης 0.05% w/w δημιούργησε διαφορετική μικροδομή στο συγκεκριμένο γιαούρτι από τα υπόλοιπα δείγματα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abesinghe, A. M. N. L., Islam, N., Vidanarachchi, J. K., Prakash, S., Silva, K. F. S. T., & Karim, M. A. (2019). Effects of ultrasound on the fermentation profile of fermented milk products incorporated with lactic acid bacteria. In *International Dairy Journal* (Vol. 90, pp. 1–14). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.10.006>
- Aida, F. M. N. A., Shuhaimi, M., Yazid, M., & Maaruf, A. G. (2009). Mushroom as a potential source of prebiotics: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 20(11–12), 567–575. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2009.07.007>
- Akdeniz, V., & Akalın, A. S. (2019). New approach for yoghurt and ice cream production: High-intensity ultrasound. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 392–398. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.02.046>
- Akhondzadeh, S., & Kamalipour, M. (n.d.). Cardiovascular Effects of Saffron: An Evidence-Based Review.
- Al Jaber, F. M., Alhawarri, M. B., Dewa, A., Zainal, Z., & Zakaria, F. (2024). Anti-obesity, phytochemical profiling and acute toxicity study of ethanolic extract of saffron (*Crocus sativus* L.). *Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine*, 11, 100420. <https://doi.org/10.1016/J.PRMCM.2024.100420>
- Ardabilchi Marand, M., Amjadi, S., Ardabilchi Marand, M., Roufegarinejad, L., & Jafari, S. M. (2020). Fortification of yogurt with flaxseed powder and evaluation of its fatty acid profile, physicochemical, antioxidant, and sensory properties. *Powder Technology*, 359, 76–84. <https://doi.org/10.1016/J.POWTEC.2019.09.082>
- Asaduzzaman, M., Mahomud, M. S., & Haque, M. E. (2021). Heat-Induced Interaction of Milk Proteins: Impact on Yoghurt Structure. In *International Journal of Food Science* (Vol. 2021). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2021/5569917>
- Bandegi, A. R., Rashidy-Pour, A., Vafaei, A. A., & Ghadrdoost, B. (2014). Protective effects of *Crocus Sativus* L. extract and crocin against chronic-stress induced oxidative damage of brain, liver and kidneys in rats. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 4, 493–499. <https://doi.org/10.5681/apb.2014.073>

- Bhat, N. A., Gani, A., Muzaffar, K., & Dar, M. M. (2021). Enhancing the nutraceutical potential of Himalayan cheese (kradi) through saffron fortification. *Food Bioscience*, 44, 101409. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2021.101409>
- Bukhari, S. I., Manzoor, M., & Dhar, M. K. (2018). A comprehensive review of the pharmacological potential of *Crocus sativus* and its bioactive apocarotenoids. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 98, 733–745. <https://doi.org/10.1016/J.BIOPHA.2017.12.090>
- Cameron, M., McMaster, L. D., & Britz, T. J. (2009). Impact of ultrasound on dairy spoilage microbes and milk components. *Dairy Science and Technology*, 89(1), 83–98. <https://doi.org/10.1051/dst/2008037>
- Carrillo-Lopez, L. M., Alarcon-Rojo, A. D., Luna-Rodriguez, L., & Reyes-Villagrana, R. (2017). Modification of food systems by ultrasound. In *Journal of Food Quality* (Vol. 2017). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2017/5794931>
- Cerdá-Bernad, D., Valero-Cases, E., Pastor, J. J., & Frutos, M. J. (2022). Saffron bioactives crocin, crocetin and safranal: effect on oxidative stress and mechanisms of action. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 62, Issue 12, pp. 3232–3249). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1864279>
- Chandrapala, J., Ong, L., Zisu, B., Gras, S. L., Ashokkumar, M., & Kentish, S. E. (2016). The effect of sonication and high pressure homogenisation on the properties of pure cream. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, 298–307. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2015.11.023>
- Chandrapala, J., Zisu, B., Kentish, S., & Ashokkumar, M. (2013). Influence of ultrasound on chemically induced gelation of micellar casein systems. *Journal of Dairy Research*, 80(2), 138–143. <https://doi.org/10.1017/S0022029912000696>
- Chichiriccò, G., Ferrante, C., Menghini, L., Recinella, L., Leone, S., Chiavaroli, A., Brunetti, L., Di Simone, S., Ronci, M., Piccone, P., Lanza, B., Cesa, S., Poma, A., Vecchiotti, G., & Orlando, G. (2019). *Crocus sativus* by-products as sources of bioactive extracts: Pharmacological and toxicological focus on

- anthers. Food and Chemical Toxicology, 126, 7–14.  
<https://doi.org/10.1016/J.FCT.2019.01.040>
- Condón-Abanto, S., Arroyo, C., Álvarez, I., Condón, S., & Lyng, J. G. (2016). Application of ultrasound in combination with heat and pressure for the inactivation of spore forming bacteria isolated from edible crab (*Cancer pagurus*). International Journal of Food Microbiology, 223, 9–16.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.02.001>
- Dabbagh Moghaddam, A., Garavand, F., Razavi, S. H., & Dini Talatappe, H. (2018). Production of saffron-based probiotic beverage by lactic acid bacteria. Journal of Food Measurement and Characterization, 12(4), 2708–2717.  
<https://doi.org/10.1007/s11694-018-9888-z>
- Damin, M. R., Alcântara, M. R., Nunes, A. P., & Oliveira, M. N. (2009). Effects of milk supplementation with skim milk powder, whey protein concentrate and sodium caseinate on acidification kinetics, rheological properties and structure of nonfat stirred yogurt. LWT - Food Science and Technology, 42(10), 1744–1750. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2009.03.019>
- De Monte, C., & Cesa, S. (2021). Use of saffron as a functional food and saffron nutraceuticals. Saffron, 241–273. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821219-6.00007-5>
- Domingues, R. M. A., Sousa, G. D. A., Silva, C. M., Freire, C. S. R., Silvestre, A. J. D., & Neto, C. P. (2011). High value triterpenic compounds from the outer barks of several Eucalyptus species cultivated in Brazil and in Portugal. Industrial Crops and Products, 33(1), 158–164.  
<https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2010.10.006>
- Escribano, J., Alonso, G. L., Coca-Prados, M., & Fernández, J. A. (1996). Crocin, safranal and picrocrocin from saffron (*Crocus sativus* L.) inhibit the growth of human cancer cells in vitro. Cancer Letters, 100(1–2), 23–30.  
[https://doi.org/10.1016/0304-3835\(95\)04067-6](https://doi.org/10.1016/0304-3835(95)04067-6)
- Esmaeelian, M., Jahani, M., Feizy, J., & Einafshar, S. (n.d.). Effects of Ultrasound-Assisted and Direct Solvent Extraction Methods on the Antioxidant and Antibacterial Properties of Saffron (*Crocus sativus* L.) Corm Extract.  
<https://doi.org/10.1007/s12161-020-01855-8/Published>

- Faers, M. A., Choudhury, T. H., Lau, B., McAllister, K., & Luckham, P. F. (2006). Syneresis and rheology of weak colloidal particle gels. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 288(1–3), 170–179. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFA.2006.03.031>
- Gaglio, R., Gentile, C., Bonanno, A., Vintaloro, L., Perrone, A., Mazza, F., Barbaccia, P., Settanni, L., & Di Grigoli, A. (2019). Effect of saffron addition on the microbiological, physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of yoghurt. *International Journal of Dairy Technology*, 72(2), 208–217. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12569>
- Ghaffari, S., & Roshanravan, N. (2019). Saffron; An updated review on biological properties with special focus on cardiovascular effects. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 109, 21–27. <https://doi.org/10.1016/J.BIOPHA.2018.10.031>
- Giaccio, M. (2004). Crocetin from saffron: An active component of an ancient spice. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(3), 155–172. <https://doi.org/10.1080/10408690490441433>
- Gursoy, O., Yilmaz, Y., Gokce, O., & Ertan, K. (2016a). Effect of ultrasound power on physicochemical and rheological properties of yoghurt drink produced with thermosonicated milk. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(4), 235–241. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2015-09-719>
- Gursoy, O., Yilmaz, Y., Gokce, O., & Ertan, K. (2016b). Effect of ultrasound power on physicochemical and rheological properties of yoghurt drink produced with thermosonicated milk. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(4), 235–241. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2015-09-719>
- Hasler, C. M., & Blumberg, J. B. (1999). Introduction. *The Journal of Nutrition*, 129(3), 756S–757S. <https://doi.org/10.1093/JN/129.3.756S>
- Higuera-Barraza, O. A., Del Toro-Sanchez, C. L., Ruiz-Cruz, S., & Márquez-Ríos, E. (2016a). Effects of high-energy ultrasound on the functional properties of proteins. *Ultrasonics Sonochemistry*, 31, 558–562. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2016.02.007>

- Higuera-Barraza, O. A., Del Toro-Sanchez, C. L., Ruiz-Cruz, S., & Márquez-Ríos, E. (2016b). Effects of high-energy ultrasound on the functional properties of proteins. *Ultrasonics Sonochemistry*, 31, 558–562. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2016.02.007>
- Hongyu, W., Hulbert, G. J., & Mount, J. R. (2000a). Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 1(3), 211–218. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(00\)00020-5](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(00)00020-5)
- Hongyu, W., Hulbert, G. J., & Mount, J. R. (2000b). Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 1(3), 211–218. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(00\)00020-5](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(00)00020-5)
- Jeong, C. H., Ryu, H., Zhang, T., Lee, C. H., Seo, H. G., & Han, S. G. (2018). Green tea powder supplementation enhances fermentation and antioxidant activity of set-type yogurt. *Food Science and Biotechnology*, 27(5), 1419–1427. <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0370-9>
- José Bagur, M., Alonso Salinas, G. L., Jiménez-Monreal, A. M., Chaouqi, S., Llorens, S., Martínez-Tomé, M., & Alonso, G. L. (2017). Saffron: An Old Medicinal Plant and a Potential Novel Functional Food. In *Molecules* (Basel, Switzerland) (Vol. 23, Issue 1). NLM (Medline). <https://doi.org/10.3390/molecules23010030>
- Kadkhodae, R., & Hemmati-Kakhki, A. (2007). ULTRASONIC EXTRACTION OF ACTIVE COMPOUNDS FROM SAFFRON. *Acta Horticulturae*, 739, 417–425. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.739.55>
- Körzendörfer, A., Temme, P., Schlücker, E., Hinrichs, J., & Nöbel, S. (2018). Vibration-induced particle formation during yogurt fermentation—Effect of frequency and amplitude. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3866–3877. <https://doi.org/10.3168/JDS.2017-13905>
- Kyriakoudi, A., Chrysanthou, A., Mantzouridou, F., & Tsimidou, M. Z. (2012). Revisiting extraction of bioactive apocarotenoids from *Crocus sativus* L. dry stigmas (saffron). *Analytica Chimica Acta*, 755, 77–85. <https://doi.org/10.1016/J.ACA.2012.10.016>

- Lee, W. J., & Lucey, J. A. (2006). Impact of Gelation Conditions and Structural Breakdown on the Physical and Sensory Properties of Stirred Yogurts. *Journal of Dairy Science*, 89(7), 2374–2385. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(06\)72310-4](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(06)72310-4)
- Liu, Z., Juliano, P., Williams, R. P. W., Niere, J., & Augustin, M. A. (2014). Ultrasound improves the renneting properties of milk. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(6), 2131–2137. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2014.03.034>
- Maqbool, Z., Arshad, M. S., Ali, A., Aziz, A., Khalid, W., Afzal, M. F., Bangar, S. P., Addi, M., Hano, C., & Lorenzo, J. M. (2022). Potential Role of Phytochemical Extract from Saffron in Development of Functional Foods and Protection of Brain-Related Disorders. In *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* (Vol. 2022). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2022/6480590>
- Mason T.J., Chemat F. and Vinatoru M., 2011. The extraction of natural products using ultrasound or microwaves. *Current Organic Chemistry*, 15(2):237–247.
- Mudgil, D., Barak, S., & Khatkar, B. S. (2017). Texture profile analysis of yogurt as influenced by partially hydrolyzed guar gum and process variables. *Journal of Food Science and Technology*, 54(12), 3810–3817. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2779-1>
- Muniandy, P., Shori, A. B., & Baba, A. S. (2017). Comparison of the effect of green, white and black tea on *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus* spp. in yogurt during refrigerated storage. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, 22, 26–30. <https://doi.org/10.1016/J.JAUBAS.2015.11.002>
- Mzabri, I., Addi, M., & Berrichi, A. (2019). Traditional and modern uses of saffron (*Crocus sativus*). In *Cosmetics* (Vol. 6, Issue 4, pp. 1–11). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/COSMETICS6040063>
- Negi, P. S. (2012). Plant extracts for the control of bacterial growth: Efficacy, stability and safety issues for food application. In *International Journal of Food Microbiology* (Vol. 156, Issue 1, pp. 7–17). <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.03.006>

- Ochiai, T., Soeda, S., Ohno, S., Tanaka, H., Shoyama, Y., & Shimeno, H. (2004). Crocin prevents the death of PC-12 cells through sphingomyelinase-ceramide signaling by increasing glutathione synthesis. *Neurochemistry International*, 44(5), 321–330. [https://doi.org/10.1016/S0197-0186\(03\)00174-8](https://doi.org/10.1016/S0197-0186(03)00174-8)
- Ordoudi, S. A., & Tsimidou, M. Z. (2006). Saffron Quality: Effect of Agricultural Practices, Processing and Storage. In *Production Practices and Quality Assessment of Food Crops Volume 1* (pp. 209–260). Kluwer Academic Publishers. [https://doi.org/10.1007/1-4020-2533-5\\_8](https://doi.org/10.1007/1-4020-2533-5_8)
- Pham, T. Q., Cormier, F., Farnworth, E., Van Tong, H., & Van Calsteren, M. R. (2000). Antioxidant properties of crocin from *Gardenia jasminoides* Ellis and study of the reactions of crocin with linoleic acid and crocin with oxygen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5), 1455–1461. <https://doi.org/10.1021/jf991263j>
- Piyasena, P., Mohareb, E., & McKellar, R. C. (2003). Inactivation of microbes using ultrasound: a review. *International Journal of Food Microbiology*, 87(3), 207–216. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00075-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00075-8)
- Popović-Djordjević, J. B., Kostić, A. Ž., & Kiralan, M. (2021). Antioxidant activities of bioactive compounds and various extracts obtained from saffron. *Saffron*, 41–97. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821219-6.00002-6>
- Rahaiee, S., Moini, S., Hashemi, M., & Shojaosadati, S. A. (2015). Evaluation of antioxidant activities of bioactive compounds and various extracts obtained from saffron (*Crocus sativus* L.): a review. In *Journal of Food Science and Technology* (Vol. 52, Issue 4, pp. 1881–1888). Springer India. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1238-x>
- Rahaman, A., Kumari, A., Farooq, M. A., Zeng, X. A., Hassan, S., Khalifa, I., Aadil, R. M., Jahangir Chughtai, M. F., Khaliq, A., Ahmad, N., & Wajid, M. A. (2023). Novel Extraction Techniques: An Effective Way to Retrieve the Bioactive Compounds from Saffron (*Crocus Sativus*). In *Food Reviews International* (Vol. 39, Issue 5, pp. 2655–2683). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1967377>
- Ramchandran, L., & Shah, N. P. (2009). Effect of exopolysaccharides on the proteolytic and angiotensin-I converting enzyme-inhibitory activities and

- textural and rheological properties of low-fat yogurt during refrigerated storage. *Journal of Dairy Science*, 92(3), 895–906. <https://doi.org/10.3168/JDS.2008-1796>
- Riener, J., Noci, F., Cronin, D. A., Morgan, D. J., & Lyng, J. G. (2009). The effect of thermosonication of milk on selected physicochemical and microstructural properties of yoghurt gels during fermentation. *Food Chemistry*, 114(3), 905–911. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2008.10.037>
- Rodriguez-Ruiz, V., Barzegari, A., Zuluaga, M., Zunooni-Vahed, S., Rahbar-Saadat, Y., Letourneur, D., Gueguen, V., & Pavon-Djavid, G. (2016). Potential of aqueous extract of saffron (*Crocus sativus* L.) in blocking the oxidative stress by modulation of signal transduction in human vascular endothelial cells. *Journal of Functional Foods*, 26, 123–134. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2016.07.003>
- Sfakianakis, P., Topakas, E., & Tzia, C. (2015). Comparative Study on High-Intensity Ultrasound and Pressure Milk Homogenization: Effect on the Kinetics of Yogurt Fermentation Process. *Food and Bioprocess Technology*, 8(3), 548–557. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1412-9>
- Sfakianakis, P., & Tzia, C. (2014). Conventional and innovative processing of milk for yogurt manufacture; development of texture and flavor: A review. In *Foods* (Vol. 3, Issue 1, pp. 176–193). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/foods3010176>
- Shahi, T., Assadpour, E., & Jafari, S. M. (2016). Main chemical compounds and pharmacological activities of stigmas and tepals of ‘red gold’; saffron. *Trends in Food Science & Technology*, 58, 69–78. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2016.10.010>
- Siddiqui, M., Saleh, M. M., Basharuddin, S. B. B., Zamri, S. B., Mohd Najib, M. bin, Che Ibrahim, M., binti Mohd Noor, N., Binti Mazha, H., Mohd Hassan, N., & Khatib, A. (2018). Saffron ( *Crocus sativus* L.): As an antidepressant . *Journal of Pharmacy And Bioallied Sciences*, 10(4), 173. [https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs\\_83\\_18](https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_83_18)
- Silva, M., Kadam, M. R., Munasinghe, D., Shanmugam, A., & Chandrapala, J. (2022). Encapsulation of Nutraceuticals in Yoghurt and Beverage Products

- Using the Ultrasound and High-Pressure Processing Technologies. In *Foods* (Vol. 11, Issue 19). MDPI. <https://doi.org/10.3390/foods11192999>
- Soria, A. C., & Villamiel, M. (2010). Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21(7), 323–331. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2010.04.003>
- Tarantilis, P. A., & Polissiou, M. G. (1997). Isolation and Identification of the Aroma Components from Saffron (*Crocus sativus*). <https://pubs.acs.org/sharingguidelines>
- Tarantilis, P. A., Tsoupras, G., & Polissiou, M. (1995). Determination of saffron (*Crocus sativus* L.) components in crude plant extract using high-performance liquid chromatography-UV-visible photodiode-array detection-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 699(1–2), 107–118. [https://doi.org/10.1016/0021-9673\(95\)00044-N](https://doi.org/10.1016/0021-9673(95)00044-N)
- Urbani, E., Blasi, F., Simonetti, M. S., Chiesi, C., & Cossignani, L. (2016). Investigation on secondary metabolite content and antioxidant activity of commercial saffron powder. *European Food Research and Technology*, 242(6), 987–993. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2687-z>
- Van Vliet, T., Lakemond, C. M. M., & Visschers, R. W. (2004). Rheology and structure of milk protein gels. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 9(5), 298–304. <https://doi.org/10.1016/J.COCIS.2004.09.002>
- Vercet, A., Oria, R., Marquina, P., Crelier, S., & Lopez-Buesa, P. (2002a). Rheological properties of yoghurt made with milk submitted to manothermosonication. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(21), 6165–6171. <https://doi.org/10.1021/jf0204654>
- Vercet, A., Oria, R., Marquina, P., Crelier, S., & Lopez-Buesa, P. (2002b). Rheological properties of yoghurt made with milk submitted to manothermosonication. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(21), 6165–6171. <https://doi.org/10.1021/jf0204654>
- Wang, D., Cui, L., Ren, H., Wang, Y., Long, D., & Niu, Y. (2021). Anti-fungal activity and preliminary active components separation from ethanol extracts

- in Saffron (*Crocus sativus* L.) lateral buds. *Industrial Crops and Products*, 173, 114081. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2021.114081>
- Xi, L., Qian, Z., Xu, G., Zheng, S., Sun, S., Wen, N., Sheng, L., Shi, Y., & Zhang, Y. (2007). Beneficial impact of crocetin, a carotenoid from saffron, on insulin sensitivity in fructose-fed rats. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 18(1), 64–72. <https://doi.org/10.1016/J.JNUTBIO.2006.03.010>
- Zhang, T., Jeong, C. H., Cheng, W. N., Bae, H., Seo, H. G., Petriello, M. C., & Han, S. G. (2019). Moringa extract enhances the fermentative, textural, and bioactive properties of yogurt. *LWT*, 101, 276–284. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.11.010>
- Γεωργιάδου, Γ., Φαρμακολογίας, Ε., Καθηγητής, Δ. :, & Σακελλαρίδης, Ν. (2013). «ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ ΤΟΥ CROCUS SATIVUS L. ΕΠΙ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΝΕΥΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΕΠΙΜΥ» ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ. <https://doi.org/10.80.16.13>
- Παπαϊωάννου Γεωργία (2022). Επίδραση καλλιεργειών στα ποιοτικά χαρακτηριστικά αγελαδινού και γίδινου επιδόρπιου γιαουρτιού, Διδακτορική Διατριβή