

«ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΙΑΟΥΡΤΙΟΥ ΜΕ ΙΝΕΣ ΜΗΛΟΥ»

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

των

ΚΑΤΣΩΝΟΠΟΥΛΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ και

ΛΑΒΡΕΝΤΕ ΕΜΙΛΙΑ

Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Σχολή Περιβάλλοντος

ΙΟΝΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ



Αργοστόλι Κεφαλληνίας

Οκτώβριος 2024

«ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΙΑΟΥΡΤΙΟΥ ΜΕ ΙΝΕΣ ΜΗΛΟΥ»

Η πτυχιακή εργασία εγκρίθηκε από:

ΔΗΜΗΤΡΕΛΛΟΥ ΔΗΜΗΤΡΑ

ΣΑΜΑΡΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΣΑΚΑΝΤΑΝΗ ΕΛΕΝΗ

«ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΙΑΟΥΡΤΙΟΥ ΜΕ ΙΝΕΣ ΜΗΛΟΥ»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το γιαούρτι αποτελεί υγιεινό προϊόν που εντάσσεται πλέον στο καθημερινό διαιτολόγιο του καταναλωτή. Ωστόσο υπάρχει και η αποβολή του ορού γάλακτος στην επιφάνειά του, που επηρεάζει την αποδοχή του καθώς και τη θρεπτική του αξία. Αναφορικά με το μήλο, το πλούσιο του περιεχόμενο σε φαινολικά και διαιτητικές ίνες προτάθηκε στην παρούσα εργασία για να ενισχύσει τη λειτουργικότητα του γιαουρτιού. Στην παρούσα έρευνα αναπτύχθηκαν προβιοτικά stirred-type γιαούρτια εμπλουτισμένα με σκόνη ινών μήλου σε 0, 1, 2 και 3% αναλογίες, κατά σειρά C, Y1, Y2 και Y3. Σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα για την ικανότητα συγκράτησης νερού, τη συναίρεση και τα φαινολικά - αντιοξειδωτικά ήταν ικανοποιητικά. Διαπιστώθηκε πως η αύξηση του ποσοστού μήλου είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και τα φαινολικά - αντιοξειδωτικά. Κρίνοντας με βάση την περίοδο αποθήκευσης παρατηρήθηκαν μεταβολές, όχι απαραίτητα σημαντικές, στις παραμέτρους συναίρεση και αντιοξειδωτική ικανότητα.

Το πρώτο σκέλος αφορά τη μεμονωμένη περιγραφή του γιαουρτιού και μήλου, το θεωρητικό υπόβαθρο των παραμέτρων του γιαουρτιού και των φαινολικών - αντιοξειδωτικών αναλύσεων. Ακόμη παρατίθεται σύγκριση με έρευνες με γιαούρτια εμπλουτισμένα με προϊόντα μήλου. Το δεύτερο σκέλος απαρτίζεται από τη μεθοδολογία (την παραγωγή γιαουρτιών και την εκτέλεση φυσικοχημικών και φαινολικών - αντιοξειδωτικών μεθόδων ανάλυσης), την ερμηνεία των αποτελεσμάτων τους, τη σύνοψη και τις μελλοντικές προοπτικές του προϊόντος.

“FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF YOGURTS WITH APPLE FIBERS”

ABSTRACT

Nowadays, consumers include yogurt in their daily diet as a beneficial product. However, it exposes an undesirable property referring to separation of whey on the surface and affects its acceptance as well as its nutritional value. Regarding apple, its phenolic and dietary fiber content was suggested to enhance the functionality of yogurt. In the current research work probiotic stirred-type yogurts enriched with apple fiber powder at a ratio 0, 1, 2, 3% were developed, in the order C, Y1, Y2 and Y3. In general, the results concerning water-holding capacity, syneresis and phenolics - antioxidants values were satisfactory. It was found that the increasing percentage of apple had promising effects on the physicochemical characteristics and phenolics - antioxidants. During storage period, changes were observed, not necessarily significant, mentioning the syneresis and antioxidant capacity.

The first part describes yogurt and apple individually, presents the theoretical background of the parameters of yogurt and phenolic - antioxidant analyses. Additionally, related research with yogurt containing different apple products were listed for comparison reasons. The second part consists of methodology (the production of yogurts and accomplishment of physicochemical and antioxidant methods), interpretation of their results, synopsis and future prospects of the product.

«Δηλώνουμε υπεύθυνα ότι η διπλωματική εργασία είναι εξ'ολοκλήρου δικό μας έργο και ΚΑΝΕΝΑ μέρος της δεν είναι αντιγραμμένο από έντυπες ή ηλεκτρονικές πηγές, μετάφραση από ξενόγλωσσες πηγές και αναπαραγωγή από εργασίες άλλων ερευνητών ή φοιτητών. Όπου έχουμε βασιστεί σε ιδέες ή κείμενα άλλων, έχουμε προσπαθήσει με όλες μας τις δυνάμεις να τα προσδιορίσουμε σαφώς μέσα από την καλή χρήση αναφορών ακολουθώντας την ακαδημαϊκή δεοντολογία και την αποφυγή λογοκλοπής.

Επίσης δηλώνουμε υπεύθυνα ότι κατά τη διάρκεια της συγγραφής της διπλωματικής εργασίας ΔΕΝ χρησιμοποιήσαμε οποιοδήποτε λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης (AI). Σε περίπτωση χρήσης έχουμε αναφέρει τον λόγο χρήσης της, την υπηρεσία τεχνητής νοημοσύνης που χρησιμοποιήσαμε και τη θέση στη διπλωματική εργασία όπου εφαρμόστηκε.»

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Κεφάλαιο	Σελίδα
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ABSTRACT	iv
I. ΓΙΑΟΥΡΤΙ	1
1.1. Γενικά στοιχεία - Ορισμοί.....	1
1.2. Παραγωγή γιαουρτιού	1
1.3. Είδη γιαουρτιού με βάση τον τρόπο παρασκευής	4
1.4. Ιδιότητες γιαουρτιού	5
1.5. Συστατικά γιαουρτιού	6
1.6. Οφέλη στην υγεία και διατροφική αξία γιαουρτιού	7
1.7. Οικονομικά στοιχεία	8
II. <i>Lactocaseibacillus casei</i>	11
III. ΜΗΛΟ και ΙΝΕΣ ΜΗΛΟΥ	13
3.1. Γενικά στοιχεία - Ορισμοί.....	13
3.2. Συστατικά μήλου.....	13
3.3. Παραλαβή και παραγωγή ινών μήλου.....	15
3.4. Οφέλη στην υγεία και διατροφική αξία μήλου	16
3.5. Οικονομικά στοιχεία	18
IV. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ και ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΙΑΟΥΡΤΙΟΥ.....	20
4.1. Φυσικοχημικές ιδιότητες γιαουρτιού	20
4.2. Αντιοξειδωτικά χαρακτηριστικά γιαουρτιού	21
4.3. Έρευνες σχετικά με το γιαούρτι μήλου.....	22
V. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	25

VI. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	26
6.1. Παραγωγή γιαουρτιού	26
6.2. Υλικά & Εξοπλισμός.....	27
6.3. Φυσικοχημικές αναλύσεις	27
6.3.1. Συναίρεση	27
6.3.2. Ικανότητα συγκράτησης νερού.....	28
6.3.3. pH	28
6.4. Προετοιμασία αιθανολικών εκχυλισμάτων γιαουρτιού	29
6.5. Αναλύσεις φαινολικών - αντιοξειδωτικών	29
6.5.1. Παρασκευή διαλυμάτων	29
6.5.2. Ολικό φαινολικό περιεχόμενο με τη μέθοδο Folin - Ciocalteu	30
6.5.3. Μέθοδος DPPH	31
6.5.4. Μέθοδος FRAP.....	31
6.5.5. Μέθοδος CUPRAC.....	32
VII. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	34
7.1. Φυσικοχημικά αποτελέσματα	34
7.2. Αντιοξειδωτικά - φαινολικά αποτελέσματα	38
VIII. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	44
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΓΡΑΦΙΑ.....	46
ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ	46
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ	46

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας	Σελίδα
Πίνακας 1.1. Παράδειγμα διατροφικής αξίας στα 100 g γιαουρτιού.....	8
Πίνακας 3.1. Διατροφική αξία μήλου ανά 100 g	17
Πίνακας 3.2. Οι μεγαλύτερες παραγωγές φρούτων σε παγκόσμια κλίμακα μεταξύ του 2017-2021 (μετρημένες σε τόνους)	18
Πίνακας 4.1. Ερευνητικές εργασίες με την προσθήκη μήλων, προϊόντων τους και άλλων φρούτων σε γιαούρτι	24
Πίνακας 7.1. Αποτελέσματα συναίρεσης στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.....	34
Πίνακας 7.2. Αποτελέσματα ΙΣΝ στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση....	35
Πίνακας 7.3. Αποτελέσματα pH στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση	36
Πίνακας 7.4. Ολικό φαινολικό περιεχόμενο στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.....	38
Πίνακας 7.5. Αποτελέσματα μεθόδου DPPH στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.....	39
Πίνακας 7.6. Αποτελέσματα μεθόδου FRAP στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.....	40
Πίνακας 7.7. Αποτελέσματα μεθόδου CUPRAC στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.....	41

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα - Διάγραμμα	Σελίδα
Διάγραμμα 1.1. Ενδεικτική παραγωγική διαδικασία ενός stirred-type γιαουρτιού.....	4
Γράφημα 1.2. Έσοδα εμπορίου γιαουρτιού παγκοσμίως από το 2018 έως το 2028.....	9
Γράφημα 1.3. Κατανομή παραγωγής γιαουρτιού μεταξύ των χωρών στην Ευρώπη το 2023.....	9
Γράφημα 1.4. Δείκτης εξέλιξης εγχώριας αγοράς γιαουρτιού (2011-2021)	10
Διάγραμμα 3.1. Ενδεικτική παραγωγική διαδικασία ινών μήλου	16
Γράφημα 3.2. Παγκόσμια παραγωγή μήλου 2012-2020 (α) και οι 11 κορυφαίοι παραγωγοί σύμφωνα με τον FAO το 2020 (β).....	19
Γράφημα 3.3. Παγκόσμια ροή πωλήσεων ινών μήλου έως το 2032	19
Γράφημα 6.1. Καμπύλη αναφοράς μεθόδου Folin - Ciocalteu, χρησιμοποιώντας πρότυπα διαλύματα γαλλικού οξέος	30
Γράφημα 6.2. Καμπύλη αναφοράς μεθόδου DPPH, χρησιμοποιώντας πρότυπα διαλύματα Trolox.....	31
Γράφημα 6.3. Καμπύλη αναφοράς μεθόδου FRAP, χρησιμοποιώντας πρότυπα διαλύματα Trolox.....	32
Γράφημα 6.4. Καμπύλη αναφοράς μεθόδου CUPRAC, χρησιμοποιώντας πρότυπα διαλύματα Trolox	33
Γράφημα 7.1. Ραβδόγραμμα με τους μέσους όρους των ποσοστών συναίρεσης στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση	35
Γράφημα 7.2. Ραβδόγραμμα με τους μέσους όρους των ποσοστών ΙΣΝ στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.....	36
Γράφημα 7.3. Ραβδόγραμμα με τους μέσους όρους των ποσοστών pH στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.....	37

Γράφημα 7.4. Ραβδόγραμμα με τους μέσους όρους τιμών mg GAE/kg στη μέθοδο Folin - Ciocalteu στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.....	39
Γράφημα 7.5. Ραβδόγραμμα με τους μέσους όρους τιμών mg TE/kg στη μέθοδο DPPH στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση	40
Γράφημα 7.6. Ραβδόγραμμα με τους μέσους όρους τιμών mg TE/kg στη μέθοδο FRAP στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση	41
Γράφημα 7.7. Ραβδόγραμμα με τους μέσους όρους τιμών mg TE/kg στη μέθοδο CUPRAC στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση	42

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα	Σελίδα
Εικόνα 3.1. Κατανομή μεμονωμένων φαινολικών συστατικών σε διάφορα μέρη του μήλου	14
Εικόνα 6.1. Παραγόμενα δείγματα C, Y1, Y2, Y3 (από αριστερά προς τα δεξιά).....	26
Εικόνα 6.2. Υλικά και δοκιμή συναίρεσης	28
Εικόνα 6.3. Πορεία ΙΣΝ.....	28
Εικόνα 6.4. Προετοιμασία αιθανολικού εκχυλίσματος γιαουρτιού	29
Εικόνα 6.5. Τελικό χρώμα στη μέθοδο Folin - Ciocalteu.....	30
Εικόνα 6.6. Τελικό χρώμα στη μέθοδο FRAP	32
Εικόνα 6.7. Τελικό χρώμα στη μέθοδο CUPRAC	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

ΓΙΑΟΥΡΤΙ

1.1. Γενικά στοιχεία - Ορισμοί

Ένα ζυμούμενο προϊόν το οποίο γίνεται συνεχώς αποδεκτό από το καταναλωτικό κοινό και εντάσσεται στην καθημερινή του διατροφή είναι το γιαούρτι. «Γιαούρτι» χαρακτηρίζεται το γαλακτοκομικό προϊόν το οποίο παράγεται από τη ζύμωση και πήξη του γάλακτος, με τη χρήση υποχρεωτικά των καλλιεργειών - εκκινητών *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* και *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, ώστε το τελικό ζυμωμένο προϊόν να περιέχει τουλάχιστον 10^7 cfu/g προϊόντος μέχρι την ημερομηνία ανάλωσής του (ΚΤΠ, 2016).

Το γιαούρτι έχει αποκτήσει πολλές ονομασίες ανά τον κόσμο όμως η ρίζα της λέξης πηγάζει από την τούρκικη *yogurtmak*, που σημαίνει πυκνώνει (Fisberg & Machado, 2015) ή *jugurt*, που εκφράζει οποιοδήποτε ζυμούμενο προϊόν με όξινη γεύση (Iqbal *et al.*, 2021). Βέβαια, οι απόψεις δίστανται όσον αφορά την προέλευση του γιαουρτιού. Ορισμένοι ισχυρίζονται ότι παράχθηκε αρχικά στην Τουρκία σε αντίθεση με άλλους που θεωρούν στα Βαλκάνια (Chandan *et al.*, 2017). Επιπλέον, οι Τούρκοι φαίνεται να είναι οι πρώτοι που αξιολόγησαν τη φαρμακευτική χρήση του γιαουρτιού για μια ποικιλία ασθενειών και συμπτωμάτων όπως η διάρροια, οι κράμπες και η ανακούφιση του ηλιοκαμένου δέρματος. Η άποψη ενισχύεται από τους Νεολιθικούς ανθρώπους που θεωρούσαν ότι ένιωθαν καλύτερα και πιο δυνατοί (Hersh, 2021). Μάλιστα κυκλοφόρησε στο εμπόριο ως φάρμακο στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Ενώ γνωστοποιήθηκε η ιατρική του χρήση, προτάθηκε και ως επιδόρπιο σε συνδυασμό με φρούτα, κανέλα, μέλι και άλλα γλυκαντικά. Επιτυχής εμπορική ιδέα υπήρξε το γιαούρτι με μαρμελάδες και στη συνέχεια ιδρύθηκε η «Danone» το 1932 στη Γαλλία, η πρώτη βιομηχανία και εργαστήριο παραγωγής γιαουρτιού (Fisberg & Machado, 2015).

1.2. Παραγωγή γιαουρτιού

Αρχικά, παραλαμβάνεται το γάλα στο οποίο διεξάγονται ορισμένοι έλεγχοι (ΕΦΕΤ, 2012). Στη συνέχεια τυποποιείται ως προς την περιεκτικότητα σε λιπαρά και στερεό υπόλειμμα άνευ λίπους (ΣΥΑΛ) (Chandan, 2017).

Προαιρετικά, γίνεται ανάμιξη κρέμας γάλακτος για τη ρύθμιση της περιεκτικότητας σε λιπαρές ουσίες ή προσθήκη πρωτεϊνών γάλακτος για τεχνολογικούς λόγους ρύθμισης του ΣΥΑΛ, του ίδιου είδους ζώου συνδυαστικά με το νωπό γάλα. Χρησιμοποιείται αγελαδινό, πρόβειο, κατσικίσιο, βουβαλίσιο, ανάμικτο προβάτου - κατσίκας (ΚΤΠ, 2016).

Ακολουθεί παστερίωση του γάλακτος στους 85°C για 30 λεπτά ή στους 95°C για 5 λεπτά, αλλά δεν περιορίζεται μόνο σε αυτές τις τιμές (Bankole *et al.*, 2023). Σκοπός της θερμικής επεξεργασίας είναι η θανάτωση παθογόνων μικροοργανισμών και ενδογενών ενζύμων του γάλακτος. Η παστερίωση μετουσιώνει τις πρωτεΐνες ορού γάλακτος που με τη σειρά τους αυξάνουν την ικανότητα συγκράτησης νερού και προλαμβάνουν την αποβολή ορού (Chandan, 2017).

Η θερμοκρασία του γάλακτος μετά την παστερίωση πρέπει να μειωθεί ώστε να δημιουργηθούν κατάλληλες συνθήκες για να αναπτυχθούν οι καλλιέργειες εκκίνησης (Bankole *et al.*, 2023). Το παστεριωμένο γάλα εμβολιάζεται με τους εκκινητές *Lactobacillus bulgaricus* και *Streptococcus thermophilus*, σε αναλογία 1:1 (Yang *et al.*, 2021), με βέλτιστες θερμοκρασίες ανάπτυξης 43-46°C και 42°C αντίστοιχα (Bankole *et al.*, 2023). Προστίθενται σε λυοφιλιωμένη ή κατεψυγμένη μορφή (Κεχαγιάς & Τσάκαλη, 2020). Η έλλειψη ενός από τα παραπάνω βακτήρια έχει αποτέλεσμα το τελικό προϊόν να μην είναι τόσο αποδοτικό (Das *et al.*, 2019). Τα *Lactobacillus* και *Streptococcus* αποτελούν τα κυριότερα γένη των οξυγαλακτικών βακτηρίων αλλιώς LAB (lactic acid bacteria) (Qu *et al.*, 2024). Θεωρούνται προβιοτικά και παρέχουν οφέλη στην υγεία του ανθρώπου (Aleman *et al.*, 2024).

Κατά την επώαση στους 42-43°C, τα LAB εκκίνησης πολλαπλασιάζονται (Κεχαγιάς & Τσάκαλη, 2020). Ο *S. thermophilus* πληθαίνει και δρα αυξάνοντας την οξύτητα, δημιουργώντας πιο κατάλληλες συνθήκες για τον *L. bulgaricus*. Ωστόσο δυσκολεύεται να πρωτεολύσει και χρησιμοποιεί τα ελεύθερα αμινοξέα που βρίσκονται στο γάλα σε αντίθεση με τον *L. bulgaricus* ο οποίος διαθέτει την πρωτεϊνάση για τη διάσπαση των πρωτεϊνών. Ζυμώνουν το γάλα, διασπούν τη λακτόζη και παράγουν γαλακτικό οξύ οδηγώντας στην πτώση του pH (Das *et al.*, 2019). Όσο μειώνεται η αρχική τιμή περίπου 6,6-6,8 (του αγελαδινού γάλακτος), η καζεΐνη αποσταθεροποιείται και μετουσιώνεται στο 5,3-5,2, κατακρημνίζεται στο 4,6 (ισοηλεκτρικό σημείο της πρωτεΐνης καζεΐνης). Εκείνη τη στιγμή το μίγμα πήζει. Ολόκληρη η διαδικασία διαρκεί

2,5-3 ώρες (Κεχαγιάς & Τσάκαλη, 2020). Το πήγμα απαρτίζεται από συσσωματώματα καζεϊνών καθώς και πρωτεϊνών ορού γάλακτος (Arab *et al.*, 2023). Φαίνεται λοιπόν η σημαντικότητα των LAB αφού επιτυγχάνουν την παχύρρευστη υφή, το άρωμα και την όξινη γεύση (Das *et al.*, 2019).

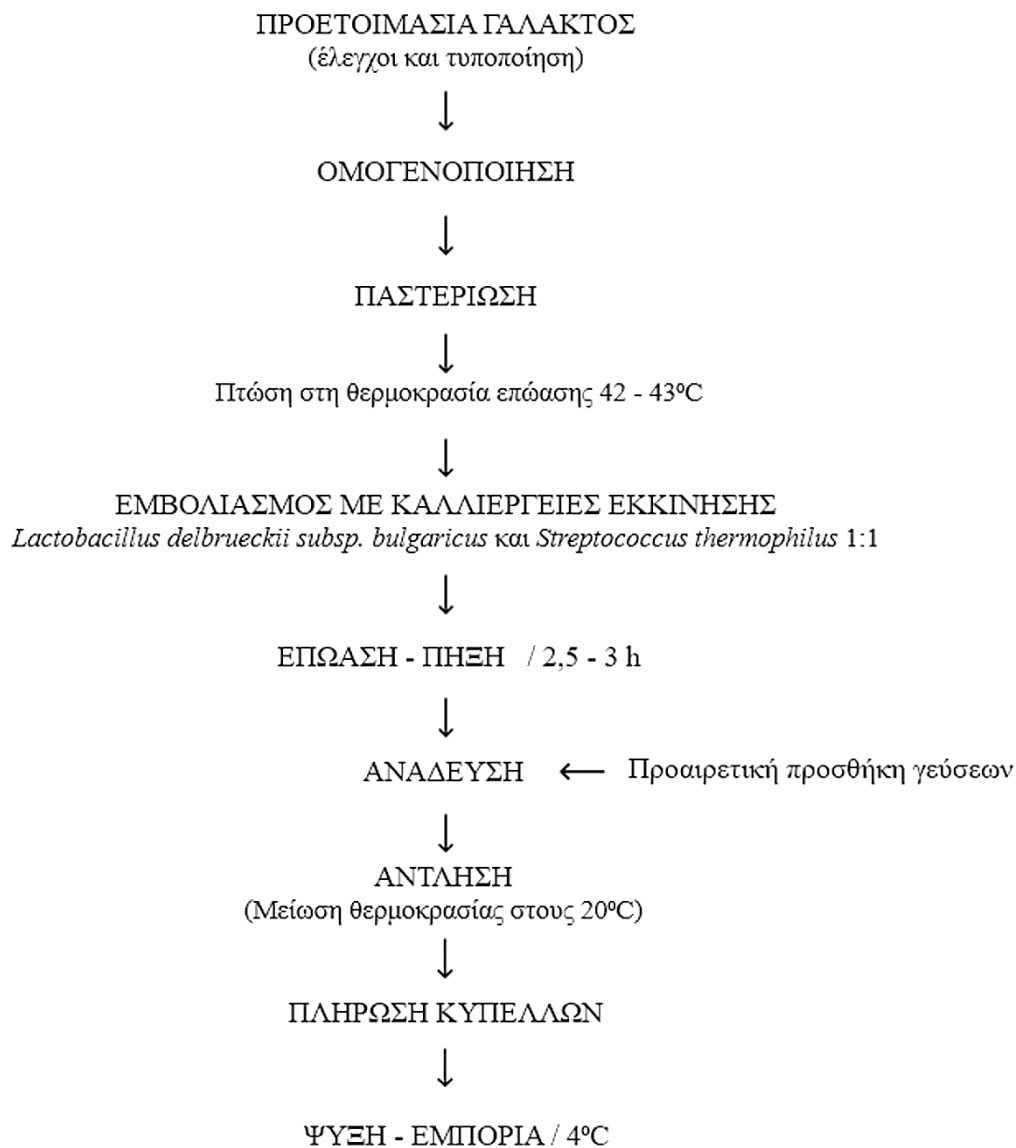
Το τελικό στάδιο είναι η ψύξη. Μόλις πήξει το γιαούρτι, η θερμοκρασία του μειώνεται σταδιακά στους 18-20°C ώστε να ελαττωθεί ο πολλαπλασιασμός των καλλιιεργειών εκκίνησης, η δράση των ενζύμων και το pH να παραμείνει σε ομαλά επίπεδα. Η απότομη ψύξη μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητες αλλαγές στο πήγμα συμπεριλαμβανομένης της εμφάνισης του ορού στην επιφάνειά του και μεταφέρεται στους 4°C (Chandan, 2017). Θα μπορούσε να διατηρηθεί για 12 ώρες ακόμη ώστε να βελτιωθεί η γεύση του όπως εφάρμοσαν οι Yang *et al.* (2021). Κατά προσέγγιση το γιαούρτι έχει διάρκεια ζωής 16-21 ημέρες σε θερμοκρασία ψυγείου (4-6°C) (Arab *et al.*, 2023) ενώ το pH του σταθεροποιείται στο 4,0-4,4 (Deshwal *et al.*, 2021) και κατά τη διάρκεια αποθήκευσής του μειώνεται λόγω της συνέχισης της ζύμωσης της λακτόζης (Rubhani & Iqbal, 2020).

Υπάρχουν διαφορές στις επεξεργασίες που εφαρμόζονται στα διάφορα γιαούρτια. Αντικείμενο της παρούσας έρευνας αποτελεί το stirred-type γιαούρτι επομένως θα αναλυθεί περαιτέρω ο συγκεκριμένος τύπος γιαούρτης.

Τα αρχικά στάδια παρασκευής του ακολουθούνται με τον ίδιο τρόπο όπως προαναφέρθηκε (Chandan, 2017). Μία επιπρόσθετη τεχνική είναι η ομογενοποίηση με την οποία αποτρέπεται ο σχηματισμός κρέμας - πέτσας (δηλαδή τα λιπαρά του γάλακτος). Η ασκούμενη πίεση βοηθάει στην καλύτερη σταθερότητα και ικανότητα συγκράτησης νερού και ενισχύει το λευκό χρώμα (Bankole *et al.*, 2023). Ενώ στο παραδοσιακό γιαούρτι δεν πραγματοποιείται το συγκεκριμένο στάδιο επειδή είναι επιθυμητή η άνοδος του λίπους στην επιφάνεια του γιαουρτιού (Κεχαγιάς & Τσάκαλη, 2020).

Μόλις γίνει εμβολιασμός και ολοκληρωθεί η πήξη στις δεξαμενές, το γιαούρτι υφίσταται ανάδευση και εάν επιθυμείται προστίθενται συστατικά γεύσης, κυρίως προϊόντα από φρούτα (Κεχαγιάς & Τσάκαλη, 2020). Ακολουθεί μεταφορά από τη δεξαμενή επώασης στην δεξαμενή πλήρωσης (άντληση) (Chandan, 2017) αφού έχει προηγηθεί ψύξη στους 20°C. Το τελικό προϊόν συσκευάζεται και αποθηκεύεται στους 4°C. Η ανάδευση και η άντληση μειώνουν την παχύρρευστη δομή και στη συνέχεια

αυξάνεται κατά την αποθήκευση. Η αναδιαμόρφωση του ιξώδους του προϊόντος οφείλεται στο φαινόμενο ανάκτησης δομής (Renan *et al.*, 2009). Η αναδιατάραξη του πήγματος πραγματοποιείται για την καλύτερη ομοιογένεια εις βάρος της συναίρεσης (Atik *et al.*, 2024). Στο Διάγραμμα 1.1 φαίνονται τα στάδια παραγωγής ενός stirred-type γιαουρτιού.



Διάγραμμα 1.1. Ενδεικτική παραγωγική διαδικασία ενός stirred-type γιαουρτιού (Πηγή: Chandan, 2017).

1.3. Είδη γιαουρτιού με βάση τον τρόπο παρασκευής

Set-type αλλιώς στερεό - συνεκτικό. Συγκριτικά με την παραγωγή του stirred-type, η προσθήκη προϊόντος φρούτου πραγματοποιείται κατά την πλήρωση πριν το

μίγμα, στη βάση του κυτέλλου και έπειτα γίνεται η επώαση (Κεχαγιάς & Τσάκαλη, 2020). Το γιαούρτι αυτό μπορεί να συνδυαστεί με ποικίλους τρόπους στον κλάδο της μαγειρικής και να διατεθεί ως επιδόρπιο του εμπορίου (Naik, 2023).

Greek-style ή στραγγιστό χαρακτηρίζεται επειδή μετά τη ζύμωση αφαιρείται ο ορός γάλακτος που σημαίνει ότι το γιαούρτι συμπυκνώνεται και αποκτά παχύρρευστη υφή. Παράλληλα αυξάνεται η περιεκτικότητα σε λιπαρά τα οποία προσδίδουν κρεμώδη αίσθηση και εξομαλύνουν την όξινη γεύση (Chandan, 2017). Αποτελεί πλεονέκτημα στην διατροφή των vegetarian καθώς η πρωτεΐνη διπλασιάζεται σε ποσοστό (Bankole *et al.*, 2023).

Στα πόσιμα γιαούρτια (κεφίρ, ξινόγαλα, αριάνι) χρησιμοποιείται διαφορετικός συνδυασμός καλλιεργείων - εκκινητών (Κεχαγιάς & Τσάκαλη, 2020) και έχουν σύσταση από αραιή έως και πιο παχύρρευστη ομοίως του παραδοσιακού γιαουρτιού (Naik, 2023).

1.4. Ιδιότητες γιαουρτιού

Οι οργανοληπτικές, ρεολογικές, δομικές ιδιότητες και η υφή του γιαουρτιού καθορίζουν την ποιότητά του και μπορούν να γίνουν αντιληπτές εύκολα από τους καταναλωτές (Rashwan *et al.*, 2023). Η διασφάλιση της ποιότητας εξαρτάται από τη διαδικασία ζύμωσης, τον τύπο του γάλακτος, τις καλλιέργειες εκκίνησης και τα προβιοτικά στελέχη, τις συνθήκες συσκευασίας και αποθήκευσης (Fazilah *et al.*, 2018). Ορισμένες παράμετροι όπως η ικανότητα συγκράτησης νερού, η συναίρεση, το pH, η ογκομετρούμενη οξύτητα, το χρώμα, το άρωμα και η γεύση συνεισφέρουν στη γενική εικόνα και αποδοχή του γιαουρτιού (Rashwan *et al.*, 2023).

Τα πρώτα κριτήρια ποιότητας που καθορίζουν το βαθμό προτίμησης των πελατών είναι το χρώμα και το pH. Το pH προσδιορίζει τον πολλαπλασιασμό των μικροοργανισμών ενώ η ογκομετρούμενη οξύτητα είναι πιο αξιόπιστη για το πως τα οργανικά οξέα επηρεάζουν την γεύση (Rashwan *et al.*, 2023). Το χρώμα παίζει σημαντικότερο ρόλο στα γιαούρτια εμπλουτισμένα με φρέσκα φρούτα ή επεξεργασμένα (πολτούς, χυμούς). Ενώ μπορούν να προσφέρουν σημαντικές βιοδραστικές ενώσεις όπως οι πολυφαινόλες, αλλοιώνονται εύκολα ως προς την αποσύνθεση των ενώσεων και την επιμόλυνση από μύκητες κατά την αποθήκευση.

Ωστόσο, γενικότερα συμβάλλουν θετικά στα οργανοληπτικά του γιαουρτιού (Szołtysik *et al.*, 2021).

Δύο άλλα χαρακτηριστικά που συνεισφέρουν στο προφίλ του γιαουρτιού είναι η γεύση και το άρωμα. Οι σημαντικότερες κατηγορίες συστατικών του γιαουρτιού: πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και λίπη καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη γεύση του. Το γαλακτικό οξύ παίζει μεγαλύτερο ρόλο στη διαμόρφωση της γεύσης. Ακόμη αναγνωρίζεται η σημασία των πτητικών ενώσεων και συγκεκριμένα η ακεταλδεΐδη, η αιθανόλη, η ακετόνη, το διακετύλιο και η 2-βουτανόνη εντείνουν τη γεύση. Έχει εντοπιστεί ποικιλία πτητικών ενώσεων η οποία προέρχεται από διάφορες χημικές ομάδες όπως αλκοόλες, αλδεΐδες, κετόνες, οξέα και επηρεάζουν το άρωμα (Das *et al.*, 2019). Η ακεταλδεΐδη έχει διπλή δράση, εκτός από ενισχυτής γεύσης επιδρά και στο άρωμα (Aryana & Olson, 2017).

1.5. Συστατικά γιαουρτιού

Το γιαούρτι συνίσταται από τη βασική ύλη το γάλα, τις καλλιέργειες εκκίνησης, πιθανόν και επιπρόσθετα προβιοτικά, τα εγγενή συστατικά των καλλιεργειών και του γάλακτος.

Γάλα: Νωπό ή θερμικά επεξεργασμένο με δυνατότητα τροποποίησης της σύστασής του για παράδειγμα της λιποπεριεκτικότητας. Δεν επιτρέπεται η χρήση ολικά αφυδατωμένου γάλακτος ή παραγώγων του γάλακτος σε μορφή σκόνης, μόνο στην περίπτωση που απαιτείται αύξηση λιπαρών ή πρωτεϊνών (ΚΤΠ, 2016). Η χρήση γάλακτος σε σκόνη στο γάλα βοηθά στην καλύτερη συνεκτικότητα του γιαουρτιού (Aryana & Olson, 2017). Ακόμη τα γιαούρτια πλούσια σε λιπαρά προσδίδουν πιο συνεκτική, μαλακή, κρεμώδη υφή και χαμηλότερο ιξώδες (Arab *et al.*, 2023). Το λίπος αποτελεί παράγοντα επίδρασης στο pH και καθυστερεί την πτώση του κατά τη ζύμωση (Sfakianakis & Tzia, 2014). Ενισχύουν επίσης και τη γεύση (Chandan, 2017). Τα εγγενή συστατικά του γάλακτος και κατ' επέκταση του γιαουρτιού είναι: πρωτεΐνες γάλακτος, λιπαρά γάλακτος, ένζυμα γάλακτος, ασβέστιο, κάλιο, φώσφορο, βιταμίνες του συμπλέγματος Β (Salehi, 2021), λακτόζη και άλλα μεταλλικά στοιχεία (Chandan, 2017). Στα αντιοξειδωτικά ανήκουν το ουρικό οξύ, τα καροτενοειδή, οι βιταμίνες Α, C, E και διάφορα πεπτίδια (Qureshi *et al.*, 2017).

Καλλιέργειες εκκίνησης: Βασικοί εκκινητές είναι ο *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* και *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* (ΚΤΠ, 2016). Ορισμένοι επιστήμονες αμφισβητούν την επαρκή διάρκεια ζωής των δύο κύριων καλλιιεργειών εκκίνησης στο γαστρεντερικό σωλήνα (Uriot *et al.*, 2017). Για το λόγο αυτό μπορούν να συμπληρωθούν περισσότερες καλλιέργειες είτε εκκίνησης είτε ως πρόσθετα προβιοτικά (Aryana & Olson, 2017). Παραδείγματα αυτών είναι οι *Lactocaseibacillus casei*, *L. rhamnosus*, *L. reuteri*, *L. acidophilus*, *Bifidobacterium animalis ssp. lactis*, *B. bifidum*, *Enterococcus faecalis* (Hill *et al.*, 2017). Μεταξύ αυτών χρειάζεται συμβατότητα με σκοπό την αποδοτικότερη ζύμωση, «επιβίωση» και την παράταση ζωής τους ακόμα και κατά την αποθήκευση (Fazilah *et al.*, 2018). Οι καλλιέργειες συμβάλλουν στον εμπλουτισμό του γιαουρτιού σε αμινοξέα, κυρίως προλίνη και γλυκίνη, καρβονυλικές ενώσεις, ελεύθερα λιπαρά οξέα, βιταμίνη Β και ενδογενή ένζυμα (Sfakianakis & Tzia, 2014). Δεν μπορούν να παραλειφθούν οι αντιμικροβιακές ουσίες, για παράδειγμα βακτηριοσίνες και το υπεροξειδίο του υδρογόνου (Chandan *et al.*, 2017).

1.6. Οφέλη στην υγεία και διατροφική αξία γιαουρτιού

Το γιαούρτι είναι πιο θρεπτικό σε σύγκριση με το γάλα από το οποίο παρασκευάζεται. Λειτουργεί ευεργετικά στη μικροχλωρίδα του εντέρου (Bankole *et al.*, 2023). Ανακουφίζει τα άτομα με δυσανεξία στη λακτόζη λόγω των δύο βασικών εκκινητών που διασπούν τη λακτόζη άρα διευκολύνεται η ενεργότητα της λακτάσης στο λεπτό τους έντερο. Βελτιώνει την παχυσαρκία και την υγεία των ατόμων με διαβήτη τύπου 2. Προλαμβάνει καρδιομεταβολικές ασθένειες: μειώνει τα υψηλά επίπεδα αρτηριακής πίεσης, χοληστερόλης και τριγλυκεριδίων, τον κίνδυνο μεταβολικού συνδρόμου (Chandan *et al.*, 2017). Το γιαούρτι είναι ένα εξαιρετικό υποκατάστατο για σνακ υψηλής ενέργειας τόσο για ενήλικες όσο και για μικρότερης ηλικίας άτομα (Fernandez *et al.*, 2017). Το πλούσιο σώμα του σε μεταλλικά στοιχεία ευνοεί την υγεία των οστών και προλαμβάνει την οστεοπόρωση (Chandan *et al.*, 2017).

Οι Abdi-Moghadam *et al.* (2023) ισχυρίστηκαν πως η θερμιδική αξία ανά μερίδα γιαουρτιού κυμαίνεται από 47 έως 122 kcal. Το γιαούρτι θεωρείται εξαιρετική πηγή πρωτεΐνης, ασβεστίου, φωσφόρου, βιταμινών συμπλέγματος Β, μαγνησίου και ψευδαργύρου (Das *et al.*, 2019). Τα μικρότερα σωματίδια πρωτεΐνης, το αυξημένο διαλυτό άζωτο και τα ελεύθερα αμινοξέα φροντίζουν για την πεπτικότητα του

γιαουρτιού (Chandan *et al.*, 2017). Στον Πίνακα 1.1 αναγράφονται τα περισσότερα συστατικά που εμπεριέχονται σε γιαούρτι απλό πλήρες και η θρεπτική του αξία ανά 100 g.

Πίνακας 1.1. Παράδειγμα διατροφικής αξίας στα 100 g γιαουρτιού (Πηγή: Chandan, 2017).

Θερμίδες και θρεπτικά στοιχεία	Γιαούρτι απλό με πλήρες γάλα	
Ενέργεια	61	kcal/100 g
Υγρασία	87,9	%
Πρωτεΐνη	3,47	g/100 g
Λιπαρά	3,25	g/100 g
Κορεσμένα λιπαρά οξέα	2,096	g/100 g
Μονοακόρεστα λιπαρά οξέα	0,893	g/100 g
Υδατάνθρακες	4,66	g/100 g
Χοληστερόλη	13	mg/100 g
Ασβέστιο	121	mg/100 g
Μαγνήσιο	12	mg/100 g
Φώσφορος	95	mg/100 g
Κάλιο	155	mg/100 g
Νάτριο	46	mg/100 g
Ψευδάργυρος	0,59	mg/100 g
Βιταμίνη C	0,5	mg/100 g
Βιταμίνη B2	0,142	mg/100 g
Βιταμίνη B9	7	μg/100 g
Βιταμίνη B12	0,37	μg/100 g
Βιταμίνη A	99	μg/100 g
Βιταμίνη D	2	IU

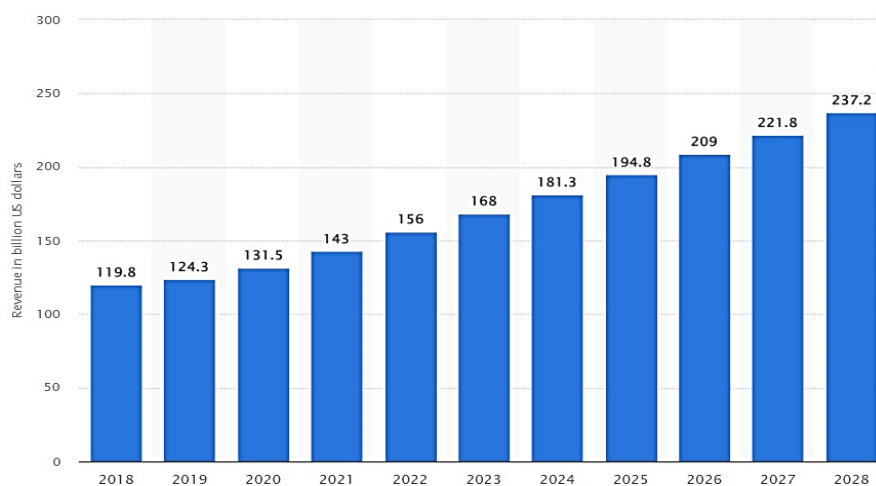
Η εισαγωγή υγιεινών τροφών στην αγορά ώθησε τη βιομηχανία τροφίμων στην παραγωγή λειτουργικών τροφίμων. Το γιαούρτι περιέχει βιοενεργά πεπτίδια και σε αυτό συνυπάρχουν προβιοτικά και πρεβιοτικά που το καθιστούν υψηλά θρεπτικό τρόφιμο και επομένως λειτουργικό (Abdi-Moghadam *et al.*, 2023).

1.7. Οικονομικά στοιχεία

Η γαλακτοβιομηχανία έχει διαθέσει ποικίλες επιλογές γιαουρτιού σεβόμενη τη μοναδικότητα του κάθε ατόμου (Fisberg & Machado, 2015). Πλέον «το 80% του

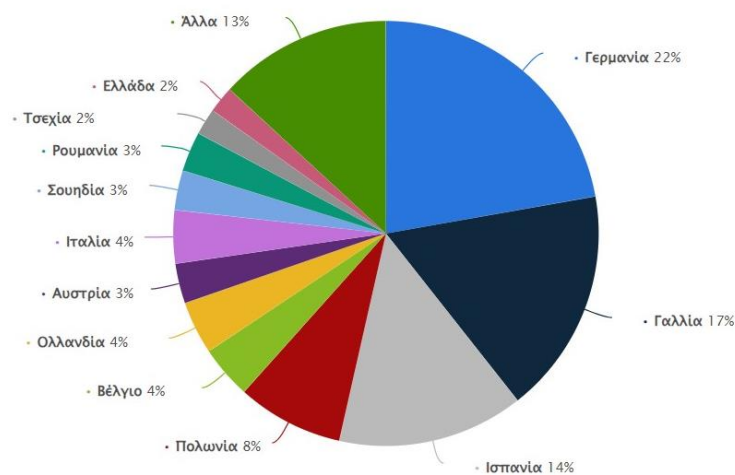
παγκόσμιου πληθυσμού καταναλώνει συχνά γάλα και άλλα γαλακτοκομικά προϊόντα» (International Dairy Federation).

Στο Γράφημα 1.2 φαίνονται τα έσοδα από την αγορά του γιαουρτιού σε παγκόσμιο επίπεδο μεταξύ 2018-2028. Τα υψηλότερα μερίδια αγοράς καταλαμβάνουν τα set-type, stirred-type/Swiss-style και πόσιμα (Gawai *et al.*, 2017). Οι τιμές ακολουθούν αύξουσα σειρά με τα ηνία να αποδίδονται στο frozen yogurt και πόσιμο γιαούρτι, ιδιαίτερα αυτά με γεύσεις (Naik, 2023).



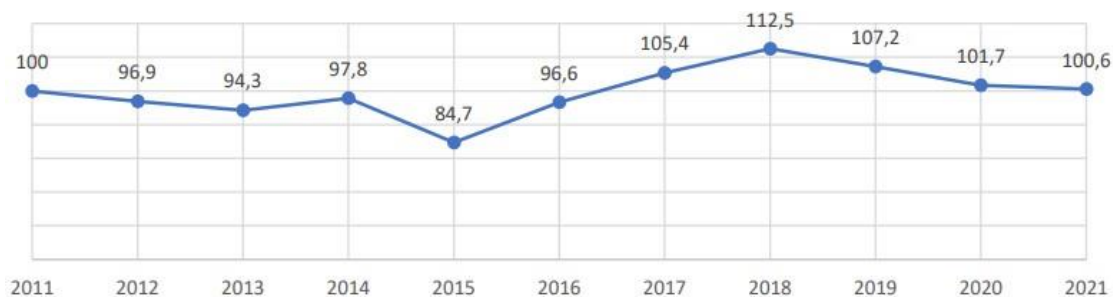
Γράφημα 1.2. Έσοδα εμπορίου γιαουρτιού παγκοσμίως από το 2018 έως το 2028 (Πηγή: Statista).

Η παγκόσμια αγορά γιαουρτιού κινείται στην Βόρεια Αμερική, Ευρώπη, Κίνα, Ινδία και Ιαπωνία (Chandan *et al.*, 2017). Στο Γράφημα 1.3 παρατηρείται η παραγωγή γιαουρτιού ανά ευρωπαϊκή χώρα για το έτος 2023.



Γράφημα 1.3. Κατανομή παραγωγής γιαουρτιού μεταξύ των χωρών στην Ευρώπη το 2023 (Πηγή: Statista).

Στην Ελλάδα βασική πηγή εσόδων κατά 76-78% των γαλακτοκομικών προϊόντων αποτελεί το γιαούρτι που κρίθηκε ως το κύριο εξαγωγίμο προϊόν για το 2020-2021. Στο Γράφημα 1.4 το διάγραμμα δείχνει την εξέλιξη του εμπορίου γιαουρτιού σε όρους ποσότητας έως το 2021 (Icapcrif). Ανά άτομο υπολογίζεται ότι θα καταναλώσει 8,9 κιλά εντός του 2024 (Statista).



Γράφημα 1.4. Δείκτης εξέλιξης εγχώριας αγοράς γιαουρτιού (2011-2021) (Πηγή: Icapcrif).

Μεταξύ των ποικίλων επιλογών γιαουρτιού με γεύσεις το ενδιαφέρον έχει τραβήξει η γεύση μήλου λόγω της φύσεως του συγκεκριμένου φρούτου, της εύκολης διαχείρισης και διάδοσής του, καθώς και της θρεπτικής του αξίας (Guiné *et al.*, 2021) και γενικότερα της ζήτησής του. Σε επόμενο κεφάλαιο θα αναλυθεί περαιτέρω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ II

Lacticaseibacillus casei

Ο *Lacticaseibacillus casei* ATCC 393 είναι προαιρετικός ετεροζυμωτικός γαλακτοβάκιλλος και κατατάσσεται στην ομάδα *Lacticaseibacillus casei* στην οποία ανήκουν και τα είδη *L. paracasei* και *L. rhamnosus*. Ο *L. casei* και *L. paracasei* έχουν πολύ στενή σχέση ως προς την προέλευση και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους και συχνά συγχέονται. Ο *L. casei* έχει την ικανότητα να επιβιώνει σε διάφορα περιβάλλοντα όπως ζυμούμενα γαλακτοκομικά και φυτικά προϊόντα αλλά και να αποικεί στον γαστρεντερικό σωλήνα του ανθρώπου και των ζώων. Αυτό οφείλεται στον μηχανισμό του να χρησιμοποιεί ποικίλα σάκχαρα και να προσαρμόζεται ανάλογα, ιδιότητα που τον χαρακτηρίζει μεταξύ των μικροοργανισμών LAB (Cui & Qu, 2021). Επιπλέον, η ανθεκτικότητά του στο όξινο pH του επιτρέπει τη διέλευση στον γαστρεντερικό σωλήνα (Hill *et al.*, 2018). Οι Deshwal *et al.* (2021) αναφέρουν ότι ο *L. paracasei* αναπτύσσεται βέλτιστα σε pH 5,5-6,0 αλλά αντέχει σε pH χαμηλότερο του 4,0 και η θερμοκρασία που προτιμά κυμαίνεται στους 10-40°C, με βέλτιστη τιμή τους 37°C.

Προβιοτικά ονομάζονται οι ζωντανοί μικροοργανισμοί οι οποίοι όταν χορηγούνται σε επαρκείς ποσότητες προσφέρουν οφέλη στην υγεία. Ο *Lacticaseibacillus casei* ATCC 393 προσδίδει προβιοτικές ιδιότητες και επιλέγεται για τον εμπλουτισμό του σε λειτουργικά τρόφιμα όπως για την ανάπτυξη προβιοτικών γιαουρτιών. Επιπλέον, αξιοποιείται επιτυχώς ως εκκινητής ή συμπληρωματική καλλιέργεια στη βιομηχανία τροφίμων, σε αλλαντικά που έχουν υποστεί ξηρή ζύμωση, ψωμί με προζύμι, ζυμούμενα λαχανικά και ζυμούμενα γαλακτοκομικά προϊόντα, ειδικότερα στο τυρί (Cui & Qu, 2021), φροντίζοντας για την καλύτερη γεύση, υφή και την ενίσχυση των βιοενεργών συστατικών τους (Hill *et al.*, 2018). Συγκεκριμένα, στο γιαούρτι παράγει βιοδραστικά πεπτίδια με αντιοξειδωτική και αντικαρκινική δράση (Abdel-Hamid *et al.*, 2019) και εξωπολυσακχαρίτες οι οποίοι λειτουργούν ως βιοσταθεροποιητές και επηρεάζουν θετικά τη συνέργεια και κατ' επέκταση τα αισθητηριακά χαρακτηριστικά (Ali *et al.*, 2024).

Η ομάδα των *Lacticaseibacillus casei* έχει ευεργετική επίδραση στη μικροχλωρίδα του εντέρου. Ένας πιθανός μηχανισμός είναι η παραγωγή

αντιμικροβιακών ουσιών και ο ανταγωνισμός με παθογόνα. Περιορίζει την εμφάνιση και τη διάρκεια της διάρροιας λόγω πρόσληψης αντιβιοτικών και προλαμβάνει τον καρκίνο του παχέος εντέρου. Εξισορροπεί το σωματικό βάρος, ρυθμίζει το ανοσοποιητικό σύστημα και χαρακτηρίζεται ψυχοβιοτικό (Hill *et al.*, 2018).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ III

ΜΗΛΟ και INES ΜΗΛΟΥ

3.1. Γενικά στοιχεία - Ορισμοί

Το μήλο είναι από τα πιο κοινά φρούτα αφού ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι η προσαρμογή του σε πληθώρα περιοχών και κλιμάτων. Ανήκει στην οικογένεια *Rosaceae*, γένους *Malus* (Janik, 2011) *domestica* Borkh. (Musacchi & Serra, 2018). Σύμφωνα με τον Έλληνα ιστορικό Πλούταρχο «το μήλο συνδυάζει και διεγείρει ταυτόχρονα τις εκλεκτές ιδιότητες όλων των φρούτων»: ευχάριστη όψη, υφή, άρωμα και γεύση. Αποτελεί μία από τις πρώτες καλλιέργειες του ανθρώπου και σχετίζεται με την αγάπη, ομορφιά, τύχη, υγεία, άνεση, ευχαρίστηση, σοφία, αισθησιασμό και γονιμότητα (Janik, 2011). Ηγείται των περισσότερων φρούτων σε δημοτικότητα αφού εντοπίζεται ακόμη και σε σκευάσματα γρήγορου φαγητού καθόλη τη διάρκεια του χρόνου. Εκτός από τη διαθεσιμότητά του ως νωπό (Lakso & Goffinet, 2017), το μήλο διατίθεται στο εμπόριο υπό διάφορα άλλα είδη προϊόντων όπως χυμός, ζυμούμενο, συμπυκνωμένο, αφυδατωμένο, εκχυλίσματα. Παραδείγματα αυτών είναι η μαρμελάδα, το μηλόξυδο, το σνακ μήλου (τσιπς), ο μηλίτης, η σάλτσα μήλου, τα ζαχαρωτά μήλου, το αιθέριο έλαιο, το αλεύρι και η σκόνη από υποπροϊόντα μήλου ακόμα και η απομόνωση βιοδραστικών ενώσεων τους όπως ίνες μήλου και πηκτίνη (Manrich, 2024). Έχει αναδυθεί η ιδέα της αξιοποίησης των αποβλήτων της βιομηχανίας μήλου εστιάζοντας στον πυρήνα μήλου που καταλήγει στο 25-30% απώλειας των νωπών φρούτων. Απαρτίζεται από πούλπα και φλούδες (95%), σπόρους (2-4%) και μίσχους (1%). Τα παράγωγά του προορίζονται για ζωοτροφές, παραγωγή αιθανόλης αλλά γίνεται προσπάθεια εξέλιξης σε προϊόντα προστιθέμενης αξίας (Costa *et al.*, 2022).

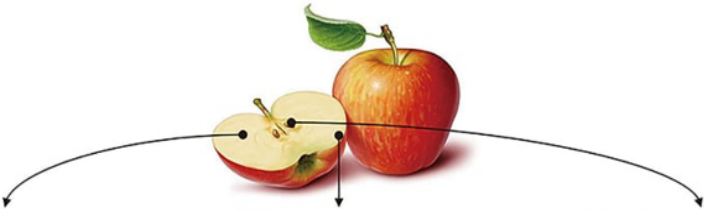
Σύμφωνα με ερευνητές η φράση «ένα μήλο την ημέρα τον γιατρό τον κάνει πέρα» έχει καταστεί αληθής αφού αποδεδειγμένα παρέχει οφέλη στην υγεία (Feng *et al.*, 2021).

3.2. Συστατικά μήλου

Το μήλο συντίθεται από νερό (85%), υδατάνθρακες (14%) στους οποίους εμπεριέχονται φυτικές ίνες και σάκχαρα, κυρίως φρουκτόζη, καθώς και βιταμίνη C, βιταμίνη E και από τα μέταλλα κυρίως το κάλιο (Bondonno *et al.*, 2017).

Οι Ribeiro *et al.* (2021) αποδίδουν τη σημαντικότητα του μήλου σε δύο κύρια συστατικά του, τις διαλυτές πηκτινικές ίνες και τις πολυφαινόλες. Τα φαινολικά είναι μη θρεπτικές βιοδραστικές ενώσεις που εκκρίνονται φυσικά από τα φυτά (Feng *et al.*, 2021). Οι πολυφαινόλες χαρακτηρίζονται ως υψηλού μοριακού βάρους φαινολικά (Szabo *et al.*, 2022). Οι υπάρχουσες φαινολικές ουσίες στο μήλο διακρίνονται σε (α) φλαβονοειδή τεσσάρων υποομάδων: φλαβανο-3-όλες (κατεχίνη, επικατεχίνη και προκυανιδίνες), φλαβονόλες (κερκετίνες), ανθοκυανιδίνες και διυδροχάλκόνες (φλορετίνες). Οι τελευταίες εκτιμώνται ως χαρακτηριστικές ουσίες και ιδανικοί υποψήφιοι βιοδείκτες μετά την πρόσληψη του μήλου και των προϊόντων του και (β) μη φλαβονοειδή κυρίως από φαινολικά οξέα το χλωρογενικό οξύ, υδροξυβενζοϊκό και υδροξυκινναμωνικό οξύ. Το χλωρογενικό οξύ έρχεται δεύτερο σε μεγαλύτερη αντιοξειδωτική ικανότητα. Ορισμένα ακόμη λειτουργικά συστατικά εκτός από τα φαινολικά είναι οι φυτοστερόλες και το β-καροτένιο (Feng *et al.*, 2021).

Στην Εικόνα 3.1 φαίνονται τα φαινολικά συστατικά κατά σειρά σε σάρκα, φλούδα και σπόρους και παρατίθενται παραδείγματά τους και οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις τους.



Ένωση	Σάρκα mg/100g DW	Ένωση	Φλούδα mg/100g DW	Ένωση	Σπόρος mg/100g DW
Χλωρογενικό οξύ	1,4-10,8	Χλωρογενικό οξύ	3,9-18,1	Χλωρογενικό οξύ	15,74-32,90
(+)-Κατεχίνη	0,3-4,9	(+)-Κατεχίνη	1,5-8,3	Πρωτοκατεχουϊκό οξύ	2,43-9,41
(-)-Επικατεχίνη	0,9-4,7	(-)-Επικατεχίνη	1,1-18,5	(+)-Κατεχίνη	2,43-9,41
Προκυανιδίνη B1	0,0-6,8	Προκυανιδίνη B1	0,0-4,8	(-)-Επικατεχίνη	4,11-7,43
Προκυανιδίνη B2	0,9-2,5	Προκυανιδίνη B2	4,4-9,6	Προκυανιδίνη B2	2,25-9,72
Ρουτίνη	0,0	Ρουτίνη	0,9-24,3	Κερκετίνη	2,73-5,51
Φλοριζίνη	0,7-12,3	Φλοριζίνη	0,8-63,8	Φλοριζίνη	282,74-864,42
Ολικές πολυφαινόλες	9,6-41,6	Ολικές πολυφαινόλες	36,39-256,19	Ολικές πολυφαινόλες	313,79-989,82

Εικόνα 3.1. Κατανομή μεμονωμένων φαινολικών συστατικών σε διάφορα μέρη του μήλου (Πηγή: Feng *et al.*, 2021).

Συγκρίνοντας τα βρώσιμα μέρη του μήλου, οι φλούδες περιέχουν το υψηλότερο φαινολικό περιεχόμενο κατά 1,5-9,2 φορές από αυτό της σάρκας. Σημαντικό ρόλο παίζει και το χρώμα του μήλου, οι κόκκινες φλούδες σε σχέση με τις πράσινες και κίτρινες ποικιλίες εμφανίζουν υψηλότερα ποσοστά ανθοκυανινών, φαινολικών οξέων και φλαβονολών. Όσον αφορά τους σπόρους, παρόλο που απορρίπτονται κατέχουν υψηλό ποσοστό φαινολικών (Feng *et al.*, 2021).

Η σύνθεση των φαινολών παραμένει παρόμοια στα μέρη του μήλου, με εξαίρεση τη σάρκα, ακόμη και όταν απορριφθούν (Llavata *et al.*, 2022). Αυτά τα μέρη του μήλου αναφέρονται επίσης ως ουσιαστική πηγή διαιτητικών ινών (Tsoupras *et al.*, 2024). Αποτελούν ικανοποιητική πηγή φυτοχημικών κυρίως φαινολικών οξέων και φλαβονοειδών. Οι ίνες μήλου συντίθενται από υδατάνθρακες, φυτικές ίνες, μικρά ποσοστά πρωτεΐνης, λίπους και ανόργανων στοιχείων (Alsuhaibani, 2015). Ακόμη, εμφανίζουν υψηλά ποσοστά οργανικών οξέων, βιταμινών, πηκτινών και ταννινών (Obidziński *et al.*, 2017).

3.3. Παραλαβή και παραγωγή ινών μήλου

Η παραγωγή μηλίτη και χυμού αποβάλλει πολλά υποπροϊόντα μήλου (Tsoupras *et al.*, 2024). Προηγείται η διαλογή των μήλων, ο καθαρισμός τους με νερό και η εξαγωγή των ποτών - ροφημάτων με συμπίεση των φρούτων (Rana *et al.*, 2022). Τα συμπιεσμένα υπολείμματα διατηρούν ένα ποσοστό υγρασίας πάνω από 66% γεγονός που τα καθιστά ευάλωτα στις αλλοιώσεις (Tsoupras *et al.*, 2024). Για το λόγο αυτό απαιτείται ξήρανση η οποία σκοπεύει στην ελάττωση του περιεχόμενου νερού άρα την αναστολή ενζύμων και μικροοργανισμών (Tulej & Głowacki, 2022). Η ξήρανση με ζεστό αέρα είναι η πιο κοινή τακτική (Llavata *et al.*, 2022). Ακόμη εφαρμόζονται πολυφασικός καθαρισμός, άλεση, μικρονοποίηση και παστερίωση (Obidziński *et al.*, 2017), χωρίς να υφίστανται εξευγενισμό ή λεύκανση (Alsuhaibani, 2015). Το υλικό καθαρίζεται υπό ήπιες συνθήκες ώστε να μειωθούν οι απώλειες ορισμένων συστατικών διαλυτών ινών και βιοδραστικών συστατικών (Figuerola *et al.*, 2005). Η μικρονοποίηση ενισχύει την αντιοξειδωτική ικανότητα λόγω της απελευθέρωσης των φαινολικών ενώσεων ισχυρά συνδεδεμένων στη μήτρα του υποπροϊόντος (Bender *et al.*, 2020). Το τελικό προϊόν είναι οι ίνες μήλου (Alsuhaibani, 2015). Στο Διάγραμμα 3.1 δίνεται ένας ενδεικτικός τρόπος παρασκευής ινών μήλου.

Τα απόβλητα χυμοποίησης μήλου μπορούν να προστεθούν σε αρτοσκευάσματα, κρεατοσκευάσματα, προϊόντα ζαχαροπλαστικής, αλκοολούχα ποτά και γαλακτοκομικά προϊόντα. Ειδικότερα οι ίνες μήλου είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν σε διάφορα είδη γιαουρτιού (Ghinea & Leahu, 2022).

Απόβλητα χυμοποίησης μήλου



Πολυφασικός καθαρισμός



Ξήρανση



Άλεση



Μικρονοποίηση



Παστερίωση



Διάγραμμα 3.1. Ενδεικτική παραγωγική διαδικασία ινών μήλου (Πηγή: Figuerola *et al.*, 2005).

3.4. Οφέλη στην υγεία και διατροφική αξία μήλου

Τα μήλα εμπλουτίζουν τον ανθρώπινο οργανισμό με διαιτητικές ίνες (Hussain *et al.*, 2020). Ως φυτικές αλλιώς διαιτητικές ίνες ορίζονται οι υδατάνθρακες που εντοπίζονται εγγενώς στα φυτά και δεν πέπτονται ούτε απορροφώνται από το ανθρώπινο λεπτό έντερο. Χωρίζονται σε αδιάλυτες και διαλυτές με τη διαφορά στις φυσιολογικές επιδράσεις τους (EFSA, 2010). Διαλυτές ονομάζονται εκείνες που έχουν την ικανότητα να απορροφήσουν νερό και να δημιουργήσουν γέλη (Vallée Marcotte *et al.*, 2022). Η πηκτίνη είναι η βασικότερη διαλυτή ίνα (Bondonno *et al.*, 2017).

Πρεβιοτικό ονομάζεται το υπόστρωμα το οποίο αναπτύσσει ωφέλιμους για την υγεία μικροοργανισμούς. Οι φυτικές ίνες κατατάσσονται στα πρεβιοτικά και ζυμώνονται από το μεγαλύτερο μέρος της μικροχλωρίδας του παχέος εντέρου (Ribeiro *et al.*, 2021). Οι ίνες φρούτων άρα και των μήλων εμφανίζουν πρεβιοτικές ιδιότητες. Μία *in vitro* μελέτη σε ανθρώπινο μικροβίωμα του παχέος εντέρου συμπέρανε ότι η πηκτίνη όντως δρα ως πρεβιοτικό (Dreher, 2018).

Η EFSA συνιστά να καταναλώνονται ημερησίως 25 g διαιτητικών ινών από τους ενήλικες χάρη στα οφέλη στον ανθρώπινο οργανισμό. Παίζουν βασικό ρόλο στην καλή λειτουργία του εντέρου και σε γαστρεντερικά προβλήματα όπως η δυσκοιλιότητα. Ακόμη, διατηρούν τα επίπεδα της γλυκόζης σταθερά, μειώνουν την χοληστερόλη και την αρτηριακή πίεση, εξασφαλίζουν σταθερότητα στο σωματικό βάρος και αντίστοιχα βοηθούν ενάντια στην παχυσαρκία. Ελαττώνουν την πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου του παχέος εντέρου, του διαβήτη τύπου 2 και της καρδιαγγειακής νόσου (EFSA, 2010). Οι διαιτητικές ίνες θα μπορούσαν να αποτελέσουν φυσικό συντηρητικό σε γαλακτοκομικό προϊόν όπως το γιαούρτι και να αυξήσουν τη διάρκεια ζωής του (Khanpit *et al.*, 2021). Η πηκτίνη παρουσιάζει επιπρόσθετα αντιβακτηριακές, αντιφλεγμονώδεις και αντιοξειδωτικές δράσεις (Ribeiro *et al.*, 2021).

Όμοια λειτουργία αποδίδουν τα φαινολικά με έμφαση την αντιοξειδωτική ικανότητα (Feng *et al.*, 2021). Αποτρέπουν τις βλάβες των πνευμόνων από το κάπνισμα, το οξειδωτικό στρες από τη γήρανση και προλαμβάνουν τον διαβήτη τύπου 2, τον καρκίνο, την υπέρταση, το άσθμα, τις λοιμώξεις και τις καρδιαγγειακές παθήσεις (Vallée Marcotte *et al.*, 2022). Σύμφωνα με τους Boyer & Liu (2004) το μήλο καταλαμβάνει τη δεύτερη θέση με υψηλότερα αντιοξειδωτικά μετά το κράνμπερι.

Πίνακας 3.1. Διατροφική αξία μήλου ανά 100 g (Πηγή: Arnold & Gramza-Michalowska, 2024).

Θερμίδες και θρεπτικά στοιχεία	Μήλο	
Ενέργεια	55	kcal/100 g
Νερό	84,90	g/100 g
Πρωτεΐνη	0,3	g/100 g
Λιπαρά	0,2	g/100 g
Υδατάνθρακες	12,10	g/100 g
Διαιτητικές ίνες	2,20	g/100 g
Ασβέστιο	4,13	mg/100 g
Μαγνήσιο	4,49	mg/100 g
Φώσφορος	9,52	mg/100 g
Κάλιο	118	mg/100 g
Νάτριο	0,6	mg/100 g
Βιταμίνη C	8,26	mg/100 g
Βιταμίνη B9	9	μg/100 g
β-καροτένιο	25	μg/100 g

Ένα μεσαίου μεγέθους μήλο προσφέρει περίπου 25 g υδατανθράκων, 1 g πρωτεΐνης και 0-1 g λίπους (Tsoupras *et al.*, 2024). Ο Πίνακας 3.1 αποδίδει τη διατροφική αξία μήλων διαφόρων ποικιλιών ανά 100 g. Επιπρόσθετα, ο Dreher (2018) δηλώνει πως οι αδιάλυτες ίνες βρίσκονται σε μεγαλύτερο ποσοστό από τις διαλυτές, 1,7 και 0,5 g/100 g αντίστοιχα και η πηκτίνη αναφέρεται στα 0,8 g/100 g.

Κύρια χαρακτηριστικά των ινών μήλου αποτελούν η περιεκτικότητα σε ολικές διαιτητικές ίνες άνω του 50%, υγρασία κάτω από 9%, τα χαμηλά λιπίδια και χαμηλή θερμιδική αξία (Figuerola *et al.*, 2005).

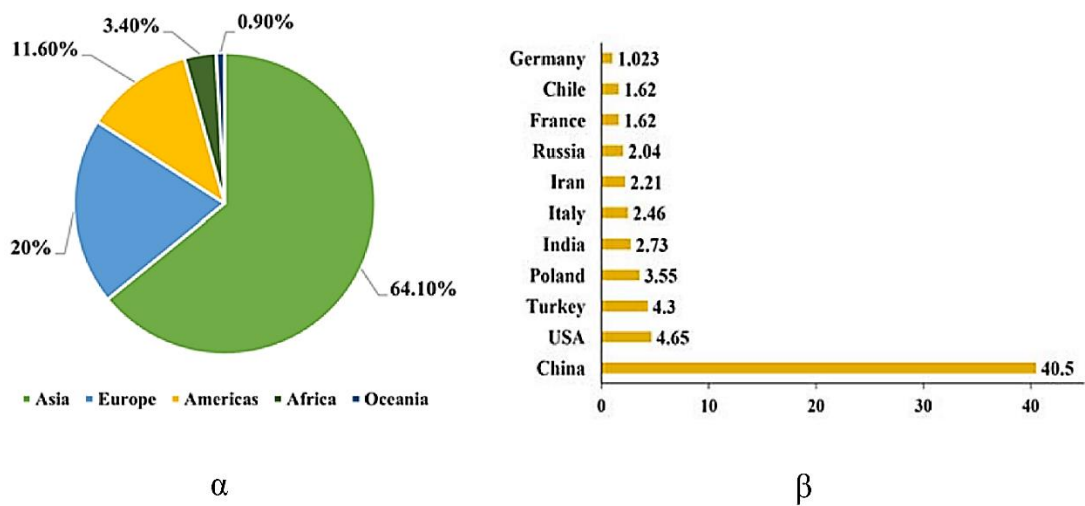
3.5. Οικονομικά στοιχεία

Το μήλο συγκαταλέγεται στα σημαντικότερα της παγκόσμιας συνολικής παραγωγής φρούτων (Guiné *et al.*, 2021) όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.2 βρίσκεται στην 3^η θέση (Karoney *et al.*, 2024).

Πίνακας 3.2. Οι μεγαλύτερες παραγωγές φρούτων σε παγκόσμια κλίμακα μεταξύ του 2017-2021 (μετρημένες σε τόνους) (Πηγή: Karoney *et al.*, 2024).

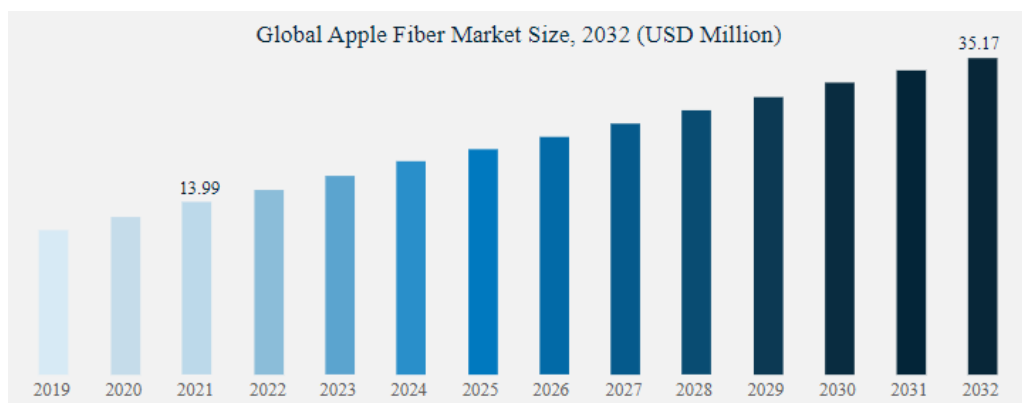
Προϊόν	2018	2019	2020	2021
Μπανάνες	116.775.502	117.677.765	121.397.848	124.978.578
Καρπούζια	100.959.810	101.841.525	101.916.818	101.634.720
Μήλα	85.903.043	87.509.103	90.490.295	93.144.358
Πορτοκάλια	73.276.531	76.216.362	76.566.647	75.567.925
Σταφύλια	80.015.897	77.087.415	76.997.321	73.524.196

Στην παγκόσμια βιομηχανία μήλου τη σκυτάλη κρατά η Ασία και συγκεκριμένα η Κίνα που απέχει κατά πολύ από τις υπόλοιπες χώρες. Η επόμενη μεγαλύτερη συνεισφορά είναι της Ευρώπης με κύριους παραγωγούς την Πολωνία, την Ιταλία, την Γαλλία και την Γερμανία με περίπου 8,6 εκατομμύρια τόνους μήλων το 2020. Πιο αναλυτικά παρουσιάζονται στο Γράφημα 3.2.



Γράφημα 3.2. Παγκόσμια παραγωγή μήλου 2012-2020 (α) και οι 11 κορυφαίοι παραγωγοί σύμφωνα με τον FAO το 2020 (β) (Πηγή: Asma *et al.*, 2023).

Το προϊόν ίνες μήλου αναδύεται και πρόκειται να αυξηθεί σημαντικά έως το 2032, ακολουθώντας την πορεία που απεικονίζεται στο Γράφημα 3.3. Η πρόοδος του οφείλεται στις απαιτήσεις διαφόρων τομέων τροφίμων: συμπληρώματα διατροφής, αρτοποιία και ζαχαροπλαστική, επεξεργασμένα προϊόντα κρέατος, ποτά, σούπες, σάλτσες και ζωοτροφές (<https://www.linkedin.com/pulse/2024-apple-fiber-market-trends-research-report-3lovf>).



Γράφημα 3.3. Παγκόσμια ροή πωλήσεων ινών μήλου έως το 2032 (Πηγή: <https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/apple-fiber-market-102811>).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ και ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΙΑΟΥΡΤΙΟΥ

4.1. Φυσικοχημικές ιδιότητες γιαουρτιού

Η ικανότητα συγκράτησης νερού (ΙΣΝ) ορίζεται ως η ικανότητα του γιαουρτιού να συγκρατεί το δικό του ή το προστιθέμενο νερό έναντι της βαρύτητας ή της εξωτερικής δύναμης συμπεριλαμβανομένης της φυγοκέντρωσης, της θέρμανσης ή της πίεσης (Rashwan *et al.*, 2023). Η φυγοκέντρωση είναι η πιο κοινώς αποδεκτή μέθοδος μέτρησης της ΙΣΝ με την οποία διαχωρίζεται το γιαούρτι σε ορό γάλακτος και στερεά σώματα (Havmand *et al.*, 2022) με βάση την πυκνότητα της υγρής και στερεάς φάσης του (Bassi, 2023). Εφαρμόζονται ποικίλοι χρόνοι και δυνάμεις που επιδρούν σημαντικά στο αποτέλεσμα (Havmand *et al.*, 2022). Όσο μεγαλύτερη η φυγόκεντρος δύναμη τόσο περισσότερο νερό απελευθερώνεται από τη μήτρα του τροφίμου (Boulos *et al.*, 2000). Η ιδιότητα αυτή εξαρτάται από την σύνθεση της πρώτης ύλης, τα πρόσθετα, την καλλιέργεια εκκίνησης και τις συνθήκες επεξεργασίας (Rashwan *et al.*, 2023).

Μία χαρακτηριστική ιδιότητα του γιαουρτιού, η οποία υποβαθμίζει την ποιότητά του είναι η συναίρεση. Αυτή είναι η αποβολή ορού γάλακτος στην επιφάνεια του προϊόντος και συμβαίνει λόγω της διαταραχής του πρωτεϊνικού του δικτύου. Με βάση την οργανοληπτική αξιολόγηση είναι μη επιθυμητή ωστόσο επηρεάζει αρνητικά και τη διατροφική αξία του γιαουρτιού λόγω της απώλειας των υδατοδιαλυτών θρεπτικών συστατικών (Arab *et al.*, 2023). Η εμφάνιση της συναίρεσης μπορεί να οφείλεται σε pH χαμηλότερο του 4,4, σε ανεπαρκή θέρμανση κατά την επεξεργασία του και έλλειψη στερεών συστατικών (ALKaisy & Rahi, 2022), στην κακή σύνθεση και στους ακατάλληλα εμβολιασμένους μικροοργανισμούς. Είναι πιο πιθανό να παρουσιαστεί στα set-type γιαούρτια επειδή εφαρμόζεται ήπια ανάδευση κατά την επεξεργασία τους (Arab *et al.*, 2023). Η μέτρησή της πραγματοποιείται με τη χρήση συνήθως είτε της διήθησης είτε της φυγοκέντρωσης. Η πρώτη χρησιμοποιεί διηθητικό χαρτί σε χοάνη και υπό την επίδραση της βαρύτητας απελευθερώνεται ορός από το γιαούρτι (Amatayakul *et al.*, 2006). Εξυπηρετεί την αξιολόγηση της παραμέτρου λόγω

της απορροφητικότητας του χαρτιού και φαίνεται περισσότερο χρήσιμη για δείγματα ανάλυσης μικρότερου βάρους (Haghighi & Rezaei, 2012).

Η συναίρεση και η ικανότητα συγκράτησης νερού είναι αντιστρόφως ανάλογες κατά την αποθήκευση ενός γιαουρτιού (Arab *et al.*, 2023).

Το pH αλλιώς ενεργός οξύτητα (Tyl & Sadler, 2017) ορίζεται ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της δραστηριότητας ιόντων υδρογόνου. Εκφράζει το μέτρο της οξύτητας ενός τροφίμου. Η μέτρηση του pH γίνεται με pH-μετρο και βασίζεται στη διαφορά ενός σταθερού δυναμικού που παρέχεται από το ηλεκτρόδιο αναφοράς και τη διαφορά του από το μετρούμενο δυναμικό (Westcott, 2012).

4.2. Αντιοξειδωτικά χαρακτηριστικά γιαουρτιού

Αντιοξειδωτικό χαρακτηρίζεται κάθε ουσία η οποία όταν παρευρίσκεται σε χαμηλή συγκέντρωση καθυστερεί σημαντικά ή αποτρέπει την οξείδωση (Benzie & Devaki, 2018) και τείνει να αντισταθμίζει την περίσσεια οξειδωτικών (Özyürek *et al.*, 2011).

Η μέθοδος DPPH αποσκοπεί στον προσδιορισμό της ολικής αντιοξειδωτικής ικανότητας. Το αντιδραστήριο αποτελείται από την ελεύθερη ρίζα DPPH (2,2'-διφαινυλ-1-πικρυλυδραζύλιο) η οποία προσελκύει τα αντιοξειδωτικά να τη δεσμεύσουν ή να την εξουδετερώσουν, με ένα τους ηλεκτρόνιο να ζευγαρώνει με το περιττό ηλεκτρόνιο της ρίζας DPPH. Καλύτερη απορρόφηση επιτυγχάνεται στα 517 nm όταν η ελεύθερη ρίζα έχει μωβ χρώμα. Όσο εξαντλείται η DPPH τόσο αποχρωματίζεται το διάλυμα (σε κίτρινη απόχρωση). Η βαθμονόμηση της καμπύλης αναφοράς πραγματοποιείται με πρότυπα διαλύματα Trolox, ανάλογη ένωση της βιταμίνης E και τα αποτελέσματα εκφράζονται σε μmole ισοδύναμα Trolox/μάζα ή όγκο δείγματος (Plank *et al.*, 2012).

Η μέθοδος FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) αποσκοπεί στην αξιολόγηση της αντιοξειδωτικής δράσης. Βασίζεται σε οξειδοαναγωγική αντίδραση στην οποία το οξειδωτικό άλας τρισθενούς σιδήρου του αντιδραστηρίου ανάγεται από τα αντιοξειδωτικά (αναγωγικές ενώσεις) σε άλας με δισθενή ιόντα σιδήρου. Ο σίδηρος υπάρχει άφθονος στο διάλυμα συνεπώς η ποσότητα των αντιοξειδωτικών καθορίζει την ένταση του χρώματος. Η αλλαγή του χρώματος από κίτρινο σε μπλε αποτελεί σήμα κατατεθέν της εκτέλεσης της αντίδρασης και μεγιστοποιείται σε απορρόφηση 593 nm.

Οι τελικές τιμές εκφράζονται σε ισοδύναμα Trolox με βάση την αντίστοιχη καμπύλη αναφοράς. Σε διαφορετικές περιπτώσεις, αποδίδονται ως ισοδύναμα βιταμίνης C όταν αξιοποιείται ως πρότυπο διάλυμα (Benzie & Devaki, 2018).

Η μέθοδος CUPRAC (CUPric Reducing Antioxidant Capacity) προσδιορίζει την ικανότητα ποικιλίας αντιοξειδωτικών. Το έγχρωμο οξειδωτικό αντιδραστήριο δισθενή χαλκού - νεοκουπροΐνης σε χρώμα ανοιχτό μπλε, συμμετέχει σε μία αντίδραση οξειδοαναγωγής με τα αντιοξειδωτικά ανάλυσης και ανάγεται σε σύμπλοκο μονοσθενή χαλκού - νεοκουπροΐνης πορτοκαλοκίτρινου χρώματος. Αντιπροσωπευτική απορρόφηση λαμβάνεται στα 450 nm. Η πρότυπη καμπύλη αφορά την ουσία Trolox άρα και τα αποτελέσματα συνάδουν στα ισοδύναμα του Trolox (Özyürek *et al.*, 2011).

Η μέθοδος Folin - Ciocalteu αποσκοπεί στον προσδιορισμό του ολικού φαινολικού περιεχομένου ή TPC. Το αντιδραστήριο Folin - Ciocalteu (ετεροπολικό φωσφοβολφραμικό - μολυβδενικό μείγμα) παρουσία του ανθρακικού νατρίου σχηματίζει μπλε σύμπλοκο (Kupina *et al.*, 2018) με την ένωση πολυφαινολών μέσω οξειδοαναγωγικής αντίδρασης. Τα φαινολικά ανάγουν ευκολότερα τις μολυβδαινικές ενώσεις και άρα το μολυβδαίνιο από εξασθενές μετατρέπεται σε πεντασθενές (Pérez *et al.*, 2023). Η ένταση του χρώματος καθορίζεται από την ποσότητα των δραστικών φαινολικών ενώσεων. Οι απορροφήσεις μετρούνται στα 765 nm, συγκρίνονται με πρότυπη καμπύλη γαλλικού οξέος και αποδίδονται ως ισοδύναμα γαλλικού οξέος (Kupina *et al.*, 2018). Ωστόσο, υπάρχει η πιθανότητα να προκύψουν λανθασμένες τιμές εξαιτίας της ικανότητας του αντιδραστηρίου να αλληλοεπιδρά με μη φαινολικούς αναγωγικούς παράγοντες όπως αναγωγικά σάκχαρα και αμινοξέα (Munteanu & Apetrei, 2021).

4.3. Έρευνες σχετικά με το γιαούρτι μήλου

Έχουν γίνει αρκετές ερευνητικές προσπάθειες για την ενσωμάτωση μήλων και προϊόντων τους στην παραγωγική διαδικασία των γιαουρτιών (Πίνακας 3.1). Γιαούρτι έχει εμπλουτιστεί με πούλπα μήλου σε ποσοστά 5, 10 και 15% οδηγώντας σε μείωση της συναίρεσης με αυξανόμενη τη συγκέντρωση της πούλπας μήλου. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρήθηκε σε όλα τα δείγματα αύξηση της συναίρεσης αλλά τα δείγματα με πούλπα μήλου παρουσίαζαν τις μικρότερες τιμές. Σε όλες τις περιπτώσεις η τιμή του pH μειώθηκε με την πάροδο του χρόνου (Saleh *et al.*, 2018). Οι Karaca *et al.* (2019) κατέγραψαν μείωση στις τιμές pH με το πέρας των ημερών και ήταν ελάχιστα

χαμηλότερες από το αντίστοιχο γιαούρτι αναφοράς. Σε γενικές γραμμές τα εμπλουτισμένα με 1% ίνες μήλου κατά τη διάρκεια αποθήκευσής τους και συγκριτικά με το γιαούρτι αναφοράς τους παρουσίασαν βελτίωση της συναίρεσης ενώ δεν ίσχυε το ίδιο για την ικανότητα συγκράτησης νερού. Γιαούρτι με προσθήκη σκόνης αποβλήτων χυμοποίησης μήλου σε ποσοστά 0,1, 0,5, 1% έδειξε στο μεγαλύτερο μέρος του χρόνου αποθήκευσης του γιαουρτιού αναφοράς το pH να μειώνεται ενώ το εμπλουτισμένο αύξησε την οξύτητά του περισσότερο από αυτό της αναφοράς. Η αύξηση του ποσοστού μήλου δε συνέβαλε θετικά στη συναίρεση ωστόσο η ικανότητα συγκράτησης νερού αναφέρθηκε ως καλή (Wang *et al.*, 2019). Σε άλλη μελέτη η οποία πραγματοποιήθηκε με γιαούρτι ενισχυμένο με πούλπα μήλου συγκεντρώσεων 10, 20, 30% σημείωσε ελάττωση στο pH του εμπλουτισμένου μήλου σε σχέση με τον μάρτυρα και μεταξύ των δειγμάτων του. Η συναίρεση μειώθηκε, επίσης, συγκρίνοντας με το γιαούρτι ελέγχου αλλά και αναλόγως της ποσότητας της εμπεριεχόμενης πούλπας μήλου. Η ικανότητα συγκράτησης νερού έδωσε αντιστρόφως ανάλογες τιμές της συναίρεσης (Chakraborty *et al.*, 2019). Οι Wang *et al.* (2020) ανέπτυξαν γιαούρτι που περιείχε 1, 2 και 3% σκόνη αποβλήτων χυμοποίησης μήλου. Η συνέργεια σε όλα τα δείγματα παρουσίασε μείωση καθώς αυξανόταν το ποσοστό του μήλου ενώ δεν ίσχυσε το ίδιο για το pH. Κατά την αποθήκευση όμως το pH μειώθηκε και η συνέργεια είχε αντίθετο αποτέλεσμα. Όσον αφορά το ολικό φαινολικό περιεχόμενο εμφάνισε άνοδο τιμών ανά δείγμα και ημέρα ανάλυσης.

Οι Jovanović *et al.* (2020) πειραματίστηκαν με γιαούρτι εμπλουτισμένο με αλεύρι αποβλήτων χυμοποίησης μήλου σε ποσοστά 1, 3, 5%. Εξήγαγαν αποτελέσματα στα οποία η συναίρεση μειώθηκε όπως και το pH ξεκινώντας από τον μάρτυρα προς το δείγμα με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση. Η προσθήκη του μήλου οφειλόταν στην υψηλή περιεκτικότητα ολικών φαινολικών και η οποία αυξανόταν αναλόγως το ποσοστό του. Σε δοκιμή με γιαούρτι που περιείχε σκόνη αποβλήτων χυμοποίησης μήλου φάνηκε η συναίρεση να μειώθηκε αναλογικά της προστιθέμενης ποσότητας μήλου αλλά δε συνέβη το ίδιο στα μεμονωμένα δείγματα με την πάροδο του χρόνου. Το pH έδωσε ανοδικές τιμές κατά σειρά από το μάρτυρα προς το δείγμα με μεγαλύτερο ποσοστό μήλου και το ίδιο παρατηρήθηκε και στα ολικά φαινολικά και στην αντιοξειδωτική δράση (μέθοδος DPPH) (Munir *et al.*, 2022). Σε γιαούρτι εμπλουτισμένο με σιρόπι συγκεντρώσεων 1,25, 2,50, 3,25 και 5% αποβλήτων χυμοποίησης μήλου ερευνητές παρατήρησαν ότι το pH μειωνόταν ενώ η περιεκτικότητα σε ολικές πολυφαινόλες και

η αντιοξειδωτική ικανότητα (μέθοδοι DPPH, FRAP) αυξήθηκαν με τρόπο εξαρτώμενο από τη συγκέντρωση του μήλου (Kim *et al.*, 2023). Ο Akan (2022) παρασκεύασε γιαούρτι με 5% w/v κατεψυγμένου βατόμουρου αντί για μήλο. Σε γενικές γραμμές το pH όλων των δειγμάτων μειώθηκε και φάνηκε ότι η ποσότητα των φαινολικών και η αντιοξειδωτική δράση με τις μεθόδους DPPH και CUPRAC μειώθηκαν κατά την αποθήκευση.

Πίνακας 4.1. Ερευνητικές εργασίες με την προσθήκη μήλων, προϊόντων τους και άλλων φρούτων σε γιαούρτι.

Υλικό προσθήκης	Επίπεδο προσθήκης	Αναφορά
Πούλπα μήλου	Γιαούρτι με 0, 5, 10 και 15% πούλπα μήλου	Saleh <i>et al.</i> , 2018
Σκόνη ινών μήλου	Γιαούρτι άπαχο, χαμηλών λιπαρών και πλήρες με 0 και 1% σκόνη ινών μήλου	Karaca <i>et al.</i> , 2019
Σκόνη αποβλήτων χυμοποίησης μήλου	Γιαούρτι με 0, 0,1, 0,5 και 1% σκόνη αποβλήτων χυμοποίησης μήλου	Wang <i>et al.</i> , 2019
Πούλπα μήλου	Γιαούρτι με 0, 10, 20 και 30% πούλπα μήλου	Chakraborty <i>et al.</i> , 2019
Σκόνη αποβλήτων χυμοποίησης μήλου	Γιαούρτι με 0, 1, 2, 3% σκόνη αποβλήτων χυμοποίησης μήλου	Wang <i>et al.</i> , 2020
Αλεύρι αποβλήτων χυμοποίησης μήλου	Γιαούρτι με 0, 1, 3 και 5% αλεύρι αποβλήτων χυμοποίησης μήλου	Jovanović <i>et al.</i> , 2020
Σκόνη αποβλήτων χυμοποίησης μήλου	Γιαούρτι με 0, 3, 6 και 9% σκόνη αποβλήτων χυμοποίησης μήλου	Munir <i>et al.</i> , 2022
Κατεψυγμένα βατόμουρα	Γιαούρτι με 0 και 5% κατεψυγμένο βατόμουρο	Akan <i>et al.</i> , 2022
Σιρόπι αποβλήτων χυμοποίησης μήλου	Γιαούρτι με 0, 1,25, 2,50, 3,25 και 5% σιρόπι αποβλήτων χυμοποίησης μήλου	Kim <i>et al.</i> , 2023

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία διερευνά την παρασκευή λειτουργικού stirred-type γιαουρτιού με την προσθήκη σκόνης ινών μήλου σε διαφορετικές αναλογίες κατά τη διάρκεια ζωής του προϊόντος, προκειμένου να αξιολογηθεί η επίδραση της προσθήκης αυτών στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, το φαιολικό περιεχόμενο και την αντιοξειδωτική δράση του γιαουρτιού, με σημείο αναφοράς το γιαούρτι άνευ φρούτου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

6.1. Παραγωγή γιαουρτιού

Ποσότητα 1 L αγελαδινού φρέσκου γάλακτος (3,7% λιπαρά) τοποθετήθηκε σε αποστειρωμένο ποτήρι ζέσεως 2 L και τα ποτήρια καλύφθηκαν με αλουμινόχαρτο. Ζυγίστηκαν 30 g σκόνης αποβουτυρωμένου γάλακτος, προστέθηκαν στο γάλα και πραγματοποιήθηκε ανάμειξη με οικιακό blender. Στη συνέχεια, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο με θερμοκρασία 80°C για 30 min αφού προστέθηκε ακόμη η αντίστοιχη ποσότητα ινών μήλου (0% - C, 1% - Y1, 2% - Y2, 3% - Y3). Μετά το πέρας των 30 min απομακρύνθηκαν από το υδατόλουτρο και ψύχθηκαν έως ότου η θερμοκρασία να προσεγγίσει τους 42°C. Η θερμοκρασία ελεγχόταν τακτικά με θερμόμετρο. Στη συνέχεια παρασκευάστηκε διάλυμα 0,1% καλλιέργειας CH-1 Hansen (*Streptococcus thermophilus* και *Lactobacillus bulgaricus*), προστέθηκε η κατάλληλη ποσότητα (σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή) στο γάλα, πραγματοποιήθηκε ανάδευση και τα δείγματα αφέθηκαν στο υδατόλουτρο στους 42°C ώστε να διατηρηθεί η θερμοκρασία τους. Πριν την προσθήκη της καλλιέργειας CH-1 (30 min) προστέθηκε και καλλιέργεια του μικροοργανισμού *Lactocaseibacillus casei* ATCC 393 (4 g/L). Μέτρηση των τιμών του pH πραγματοποιήθηκε σε τακτά χρονικά διαστήματα μέχρι να φτάσει την επιθυμητή τιμή η οποία ήταν 4,6-4,65. Ύστερα τα δείγματα ψύχθηκαν στους 15-20°C και έγινε ανάμειξη για περίπου 1 λεπτό. Τέλος το μίγμα διαμοιράστηκε σε αποστειρωμένα βαζάκια των 150 g και τοποθετήθηκαν στους 4°C. Η ανάλυση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σε κάθε γιαούρτι μετά από 1, 7, 14, 21 και 28 μέρες αποθήκευσης. Η πειραματική πορεία πραγματοποιήθηκε τουλάχιστον δύο φορές. Στην Εικόνα 6.1 φαίνονται τα παρασκευασμένα γιαούρτια.



Εικόνα 6.1. Παραγόμενα δείγματα C, Y1, Y2, Y3 (από αριστερά προς τα δεξιά) (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

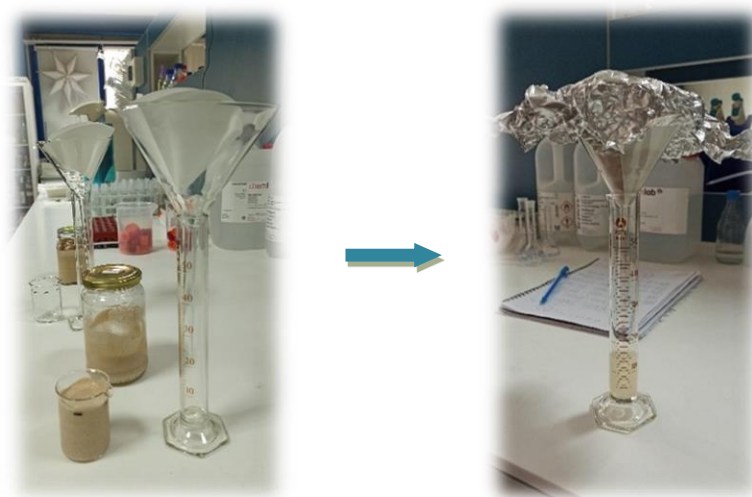
6.2. Υλικά & Εξοπλισμός

- Φίλτρο Whatman No. 1
- Ογκομετρικός κύλινδρος
- Χωνί
- Πλαστικοί σωλήνες falcon των 15 mL
- Ζυγός Precision Balance 572 KERN με ακρίβεια ζύγισης 0,001 g
- Φυγόκεντρος Universal 32R, Hettich
- pH-μετρο HI 9025 microcomputer pH meter, HANNA instruments
- Vortex mixer RX³, Velp Scientifica
- Συσκευή ανάδευσης Rocker 25 S2025, Labnet
- Σπάτουλες εργαστηρίου
- Ποτήρια ζέσεως των 25, 50 mL
- Ογκομετρικές φιάλες των 25, 50, 200 mL
- Βαθμονομημένα σιφώνια των 5, 10, 25 mL
- Αυτόματη πιπέτα
- Ρύγχη πιπέτας (τιπς)
- Ζυγός AB104-S Analytical Balance Mettler Toledo με ακρίβεια ζύγισης 0,0001g
- Υδατόλουτρο WB7 Memmert
- Πλαστικές κυψελίδες για φασματοσκοπία
- Φασματοφωτόμετρο Thermo Helios Omega UV-VIS

6.3. Φυσικοχημικές αναλύσεις

6.3.1. Συναίρεση

Δείγμα άθικτου γιαουρτιού 50 g τοποθετήθηκε σε διηθητικό χαρτί Whatman No. 1 σε χωνί υπό ψύξη στους 4°C. Ο όγκος του ορού γάλακτος συλλέχθηκε σε ποτήρι ζέσεως μετά από 5 ώρες στράγγισης, μετρήθηκε και πολλαπλασιάστηκε επί 2 ώστε το αποτέλεσμα να εκφραστεί σε ποσοστό επί τοις εκατό (Dimitrellou *et al.*, 2020). Πραγματοποιήθηκαν τουλάχιστον δύο ξεχωριστές αναλύσεις σε κάθε δείγμα. Συνοπτικά η διαδικασία φαίνεται στην Εικόνα 6.2.



Εικόνα 6.2. Υλικά και δοκιμή συναίρεσης (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

6.3.2. Ικανότητα συγκράτησης νερού

Δείγμα γιαουρτιού (10 g) φυγοκεντρήθηκε για 10 min σε $5000 \times g$ στους 20°C . Το υπερκείμενο ζυγίστηκε και υπολογίστηκε η ικανότητα συγκράτησης νερού σύμφωνα με τον τύπο $\text{ISN (\%)} = [(g \text{ αρχικού γιαουρτιού} - g \text{ υπερκείμενου}) / g \text{ αρχικού γιαουρτιού}] * 100$ (Dimitrellou *et al.*, 2020). Πραγματοποιήθηκαν τουλάχιστον δύο ξεχωριστές αναλύσεις σε κάθε δείγμα. Συνοπτικά η διαδικασία φαίνεται στην Εικόνα 6.3.



Εικόνα 6.3. Πορεία ISN (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

6.3.3. pH

Μετρήθηκε με φορητό, ηλεκτρονικό pH-μετρο, χρησιμοποιώντας ηλεκτρόδιο κατάλληλο για γαλακτοκομικά προϊόντα. Πριν την χρήση του βαθμονομήθηκε με

ρυθμιστικά διαλύματα τιμών pH 4 και 7. Πραγματοποιήθηκαν τουλάχιστον δύο ξεχωριστές αναλύσεις σε κάθε δείγμα.

6.4. Προετοιμασία αιθανολικών εκχυλισμάτων γιαουρτιού

Η μέθοδος διεξήχθη σύμφωνα με τους Zahid *et al.* (2022) με ορισμένες τροποποιήσεις. Δείγμα γιαουρτιού (2,5 g) ομογενοποιήθηκε με 7,5 mL 70% αιθανόλης και αναδεύτηκαν για 1 min σε vortex. Πραγματοποιήθηκε ολονύκτια (περίπου 18 ώρες) ανακίνηση σε συσκευή ανάδευσης στα 110 rpm υπό ψύξη στους 4°C και ακολούθησε φυγοκέντρωση στα $5500 \times g$, 4°C, 20 min. Το υπερκείμενο στη συνέχεια διατηρείται στους -20°C μέχρι την ανάλυση. Συνοπτικά η διαδικασία φαίνεται στην Εικόνα 6.4.



Εικόνα 6.4. Προετοιμασία αιθανολικού εκχυλίσματος γιαουρτιού (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

6.5. Αναλύσεις φαινολικών - αντιοξειδωτικών

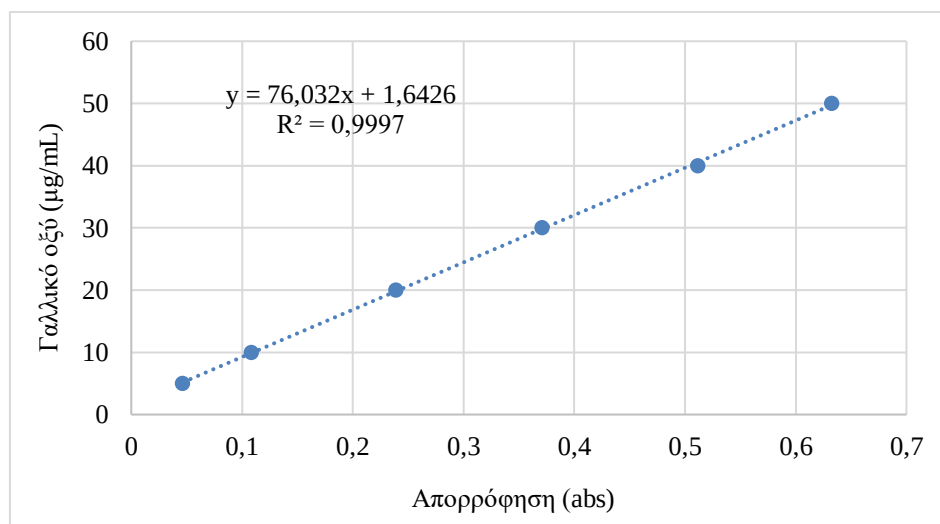
6.5.1. Παρασκευή διαλυμάτων

Παρασκευάστηκαν τα παρακάτω διαλύματα: Folin 1:3 (σε ultra pure νερό) και διάλυμα ανθρακικού νατρίου 10%, DPPH 0,1 mM, διάλυμα χλωριούχου χαλκού 10 mM, διάλυμα νεοκουπροΐνης 7,5 mM και ρυθμιστικό διάλυμα οξικού αμμωνίου 1 M pH 7,0. Το αντιδραστήριο FRAP παρασκευάστηκε από τα παρακάτω διαλύματα σε αναλογία 10A:1B:1Γ, πριν από κάθε χρήση. Συγκεκριμένα, (διάλυμα Α) ρυθμιστικό διάλυμα οξικού νατρίου 0,3 M (τριένυδρο οξικό νάτριο σε ultra pure νερό και οξικό

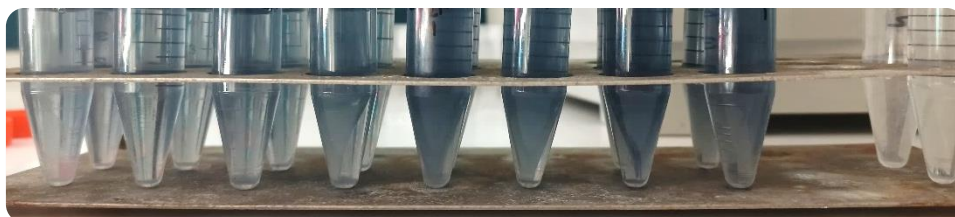
οξύ) με τιμή pH 3,6, (διάλυμα Β) διάλυμα TPTZ 0,01 M και (διάλυμα Γ) διάλυμα χλωριούχου σιδήρου 0,02 M.

6.5.2. Ολικό φαινολικό περιεχόμενο με τη μέθοδο Folin - Ciocalteu

Η διαδικασία βασίστηκε στη μεθοδολογία των Zahid *et al.* (2022) με ορισμένες τροποποιήσεις. Συγκεκριμένα, σε 600 μL από το εκχύλισμα του δείγματος ή το πρότυπο διάλυμα, προστέθηκαν 400 μL από το διάλυμα Folin 1:3 και τοποθετήθηκαν στο σκοτάδι για 15 min. Συμπληρώθηκαν με 3000 μL ultra pure νερό, 400 μL διάλυμα ανθρακικού νατρίου και στη συνέχεια μεταφέρθηκαν στο σκοτάδι για 60 min. Η αλλαγή του χρώματος φαίνεται στην Εικόνα 6.5. Φασματοφωτομετρήθηκαν στα 765 nm αφού πρώτα έγινε μηδενισμός με τυφλό διάλυμα καθαρής αιθανόλης. Οι τιμές εκφράστηκαν σε mg ισοδύναμα γαλλικού οξέος ανά kg δείγματος, χρησιμοποιώντας πρότυπη καμπύλη γαλλικού οξέος (5-50 $\mu\text{g/mL}$, αιθανολικό διάλυμα) όπως φαίνεται στο Γράφημα 6.1. Πραγματοποιήθηκαν τουλάχιστον δύο ξεχωριστές αναλύσεις σε κάθε δείγμα.



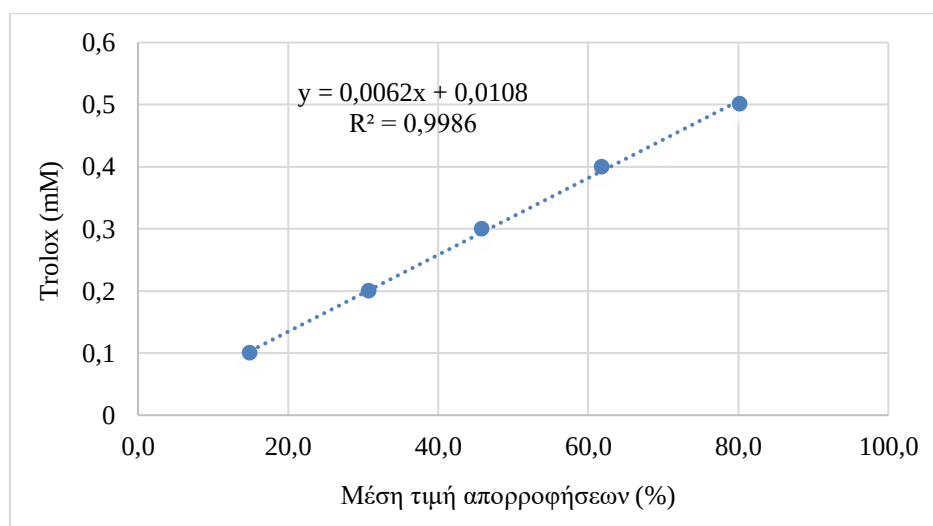
Γράφημα 6.1. Καμπύλη αναφοράς μεθόδου Folin - Ciocalteu, χρησιμοποιώντας πρότυπα διαλύματα γαλλικού οξέος.



Εικόνα 6.5. Τελικό χρώμα στη μέθοδο Folin - Ciocalteu (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

6.5.3. Μέθοδος DPPH

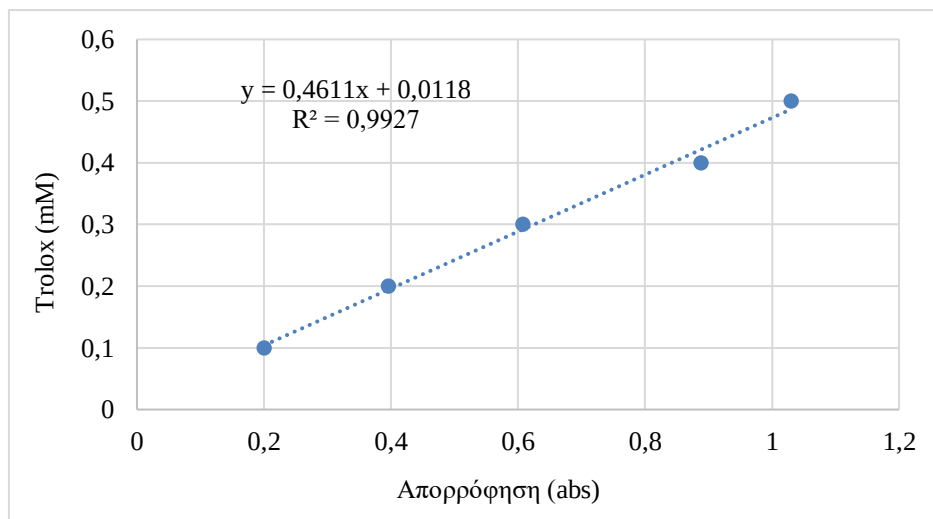
Η δοκιμασία βασίστηκε στη μεθοδολογία των Plank *et al.* (2012) με ορισμένες τροποποιήσεις. Συγκεκριμένα, αναμείχθηκαν 300 μL από το εκχύλισμα δείγματος ή το πρότυπο διάλυμα και 4200 μL από το διάλυμα DPPH, αφέθηκαν σε σκοτεινό μέρος για 30 min και φασματοφωτομετρήθηκαν στα 517 nm. Ο μηδενισμός έγινε με καθαρή μεθανόλη, καταγράφηκε η τιμή του τυφλού και οι τιμές εκφράστηκαν σε mg ισοδύναμα Trolox ανά kg δείγματος, χρησιμοποιώντας πρότυπη καμπύλη Trolox (0,1-0,5 mM, αιθανολικό διάλυμα) όπως φαίνεται στο Γράφημα 6.2. Πραγματοποιήθηκαν τουλάχιστον δύο ξεχωριστές αναλύσεις για το κάθε δείγμα.



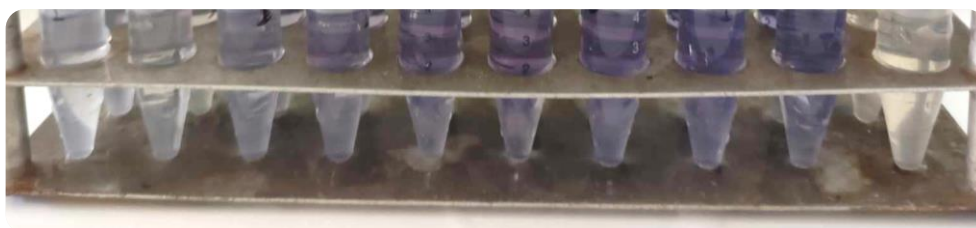
Γράφημα 6.2. Καμπύλη αναφοράς μεθόδου DPPH, χρησιμοποιώντας πρότυπα διαλύματα Trolox.

6.5.4. Μέθοδος FRAP

Η διαδικασία βασίστηκε στη μεθοδολογία των Benzie & Devaki (2018) με ορισμένες τροποποιήσεις. Συγκεκριμένα, το διάλυμα FRAP ετοιμάστηκε και παρέμεινε στο υδατόλουτρο στους 37°C. Μετά από 4 min, 3600 μL από το διάλυμα αναμείχθηκαν με 200 μL από το εκχύλισμα δείγματος ή το πρότυπο διάλυμα και επανατοποθετήθηκαν στο υδατόλουτρο για 30 min. Η αλλαγή του χρώματος φαίνεται στην Εικόνα 6.6. Το φασματοφωτόμετρο ρυθμίστηκε στα 593 nm και μηδενίστηκε με τυφλό διάλυμα καθαρής αιθανόλης. Οι απορροφήσεις εκφράστηκαν σε mg ισοδύναμα Trolox ανά kg δείγματος, χρησιμοποιώντας πρότυπη καμπύλη Trolox (0,1-0,5 mM, αιθανολικό διάλυμα) όπως φαίνεται στο Γράφημα 6.3. Πραγματοποιήθηκαν τουλάχιστον δύο ξεχωριστές αναλύσεις σε κάθε δείγμα.



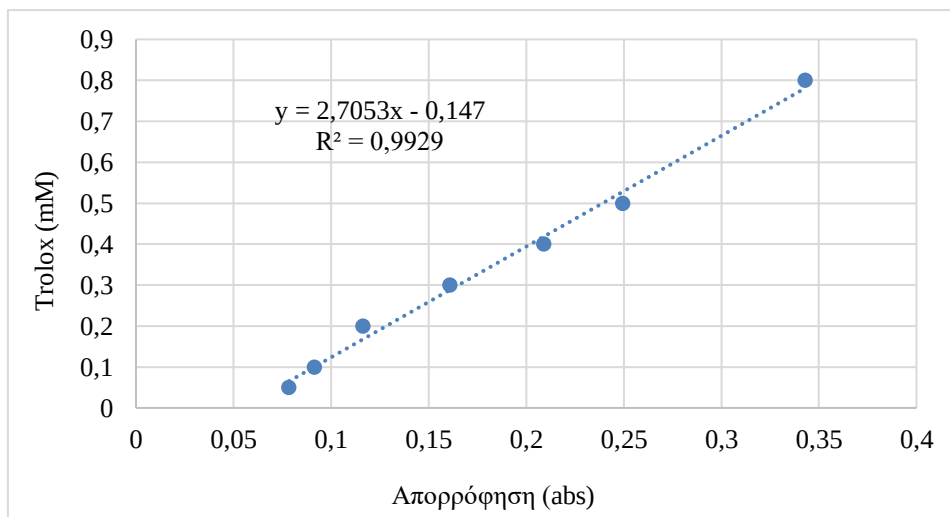
Γράφημα 6.3. Καμπύλη αναφοράς μεθόδου FRAP, χρησιμοποιώντας πρότυπα διαλύματα Trolox.



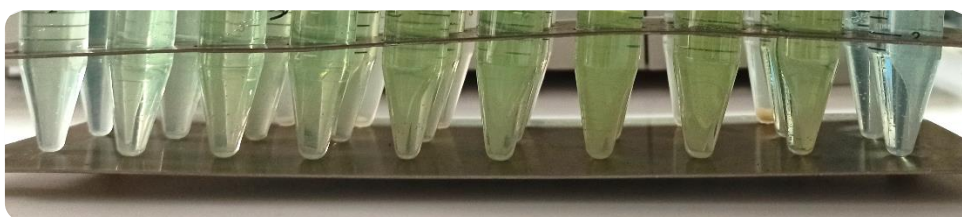
Εικόνα 6.6. Τελικό χρώμα στη μέθοδο FRAP (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

6.5.5. Μέθοδος CUPRAC

Η διαδικασία βασίστηκε στη μεθοδολογία των Özyürek *et al.* (2011) με ορισμένες τροποποιήσεις. Συγκεκριμένα, προστέθηκαν 1 mL από το διάλυμα χλωριούχου χαλκού, 1 mL από το διάλυμα νεοκουπροΐνης, 1 mL από το διάλυμα οξικού αμμωνίου, 100 μ L από το εκχύλισμα δείγματος ή το πρότυπο διάλυμα και 1 mL από ultra pure νερό. Μετά από 30 min στο σκοτάδι, οι απορροφήσεις καταγράφηκαν στα 450 nm αφού το φασματοφωτόμετρο είχε μηδενιστεί με το τυφλό δείγμα καθαρής αιθανόλης. Η αλλαγή του χρώματος φαίνεται στην Εικόνα 6.7. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε mg ισοδύναμα Trolox ανά kg δείγματος, χρησιμοποιώντας πρότυπη καμπύλη Trolox (0,05-0,8 mM, αιθανολικό διάλυμα) όπως φαίνεται στο Γράφημα 6.4. Πραγματοποιήθηκαν τουλάχιστον δύο ξεχωριστές αναλύσεις σε κάθε δείγμα.



Γράφημα 6.4. Καμπύλη αναφοράς μεθόδου CUPRAC, χρησιμοποιώντας πρότυπα διαλύματα Trolox.



Εικόνα 6.7. Τελικό χρώμα στη μέθοδο CUPRAC (Πηγή: Προσωπικό αρχείο).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VII

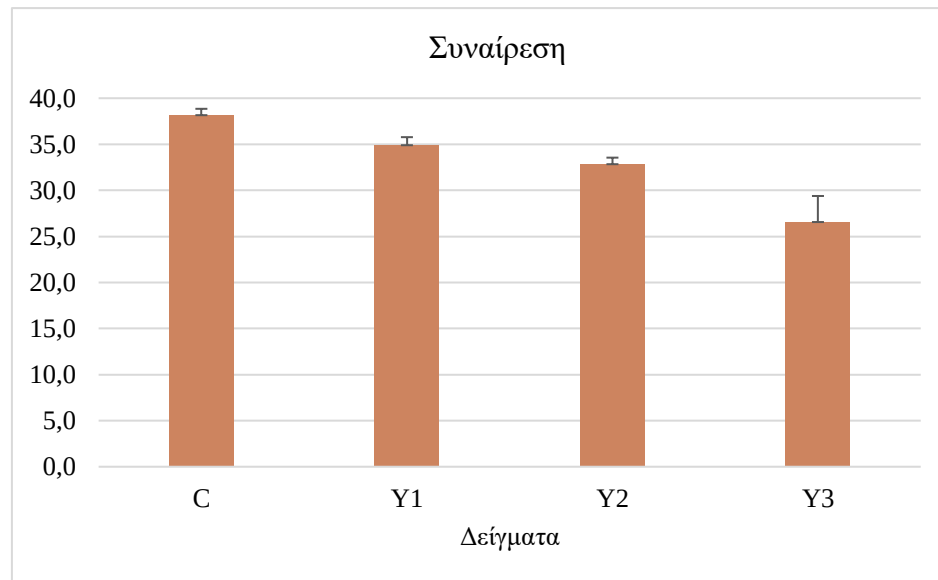
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

7.1. Φυσικοχημικά αποτελέσματα

Οι τελικές τιμές των μετρήσεων αποδόθηκαν συγκεντρωμένες σε πίνακες. Η συναίρεση αποτέλεσε την πρώτη παράμετρο που αξιολογήθηκε. Με την πάροδο των ημερών αποθήκευσης κάθε δείγμα εμφάνισε μειωμένη συναίρεση, ενώ φάνηκε να υπάρχει διαφορά από την 1^η μέρα στα γιαούρτια όσο το ποσοστό ινών μήλου αυξανόταν. Καθ' όλη τη διάρκεια της αποθήκευσής του, το δείγμα Y2 είχε τις περισσότερες αυξομειώσεις ωστόσο οι διακυμάνσεις των τιμών ήταν παραπλήσιες και πιθανόν να απέρριψε μικρότερο όγκο ορού σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα. Το Y3, παρόλο που έδειξε καθοδική πορεία σε γενικές γραμμές, είχε έντονη μεταβολή στα ποσοστά την πρώτη και την τελευταία εβδομάδα. Την 28^η μέρα φάνηκε να αποβάλλει περισσότερο ορό. Το C και το Y1 παρουσίασαν παρόμοιες συμπεριφορές. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 7.1. Το Γράφημα 7.1 επιδεικνύει τη βελτίωση της συναίρεσης καθώς η περιεκτικότητα σε ίνες μήλου αυξάνεται, παρόλα αυτά το Y3 γιαούρτι έχει τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση.

Πίνακας 7.1. Αποτελέσματα συναίρεσης στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.

ΣΥΝΑΙΡΕΣΗ %				
ΜΕΡΑ	ΔΕΙΓΜΑΤΑ			
ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	C	Y1	Y2	Y3
1	39,2 ± 0,5	36,1 ± 0,6	33,2 ± 0,8	31,5 ± 0,9
7	37,3 ± 0,4	34,4 ± 0,6	33,8 ± 0,6	25,6 ± 0,8
14	38,3 ± 0,4	35,3 ± 0,4	32,2 ± 0,7	24,8 ± 0,9
21	38,1 ± 0,2	34,9 ± 0,4	32,9 ± 0,8	24,7 ± 0,8
28	37,9 ± 0,4	33,8 ± 0,5	32,1 ± 0,5	26,2 ± 0,7

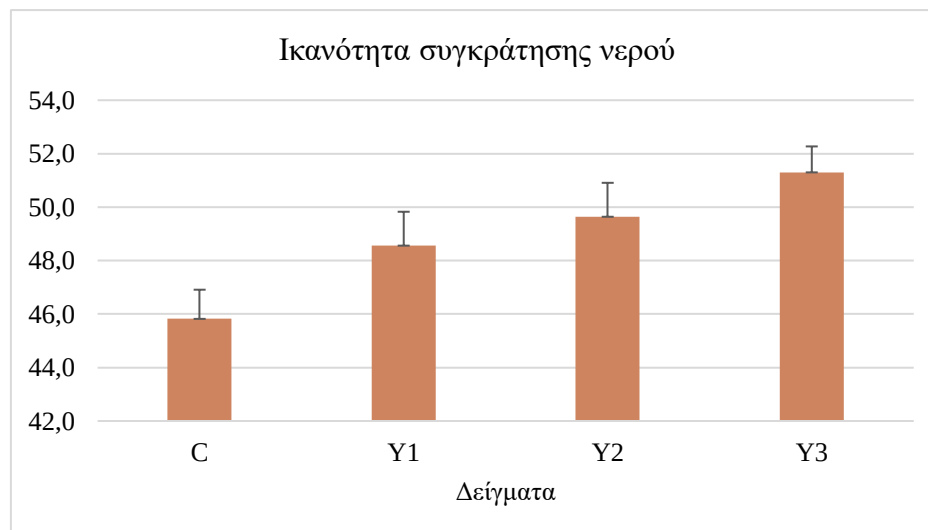


Γράφημα 7.1. Ραβδόγραμμα με τους μέσους όρους των ποσοστών συναίρεσης στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.

Όσον αφορά την ικανότητα συγκράτησης νερού αναμένονται τα αντιστρόφως ανάλογα αποτελέσματα της συναίρεσης. Με βάση τον Πίνακα 7.2, τα ποσοστά αυξάνονται ανά δείγμα και ημέρα ανάλυσης. Την 1^η εβδομάδα, το Y3, συγκριτικά με το C, εμφάνισε παρόμοια διαφορά στις τιμές παρόλο που έχει το μεγαλύτερο ποσοστό ινών μήλου. Στο Γράφημα 7.2 αποτυπώνεται η αυξητική σειρά των μέσων όρων των τιμών του Πίνακα 7.2 και οι μέσοι όροι των τυπικών αποκλίσεων.

Πίνακας 7.2. Αποτελέσματα ΙΣΝ στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.

ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ %				
ΜΕΡΑ	ΔΕΙΓΜΑΤΑ			
ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	C	Y1	Y2	Y3
1	44,1 ± 1,1	46,5 ± 1,1	47,6 ± 0,9	49,8 ± 1,1
7	45,5 ± 0,9	48,5 ± 0,7	49,5 ± 1,2	51,1 ± 0,9
14	46,1 ± 1,2	48,6 ± 0,5	49,7 ± 0,8	51,3 ± 0,6
21	46,5 ± 1,1	49,5 ± 0,6	50,6 ± 0,7	52,0 ± 0,5
28	46,9 ± 0,5	49,7 ± 0,5	50,8 ± 0,6	52,3 ± 0,9

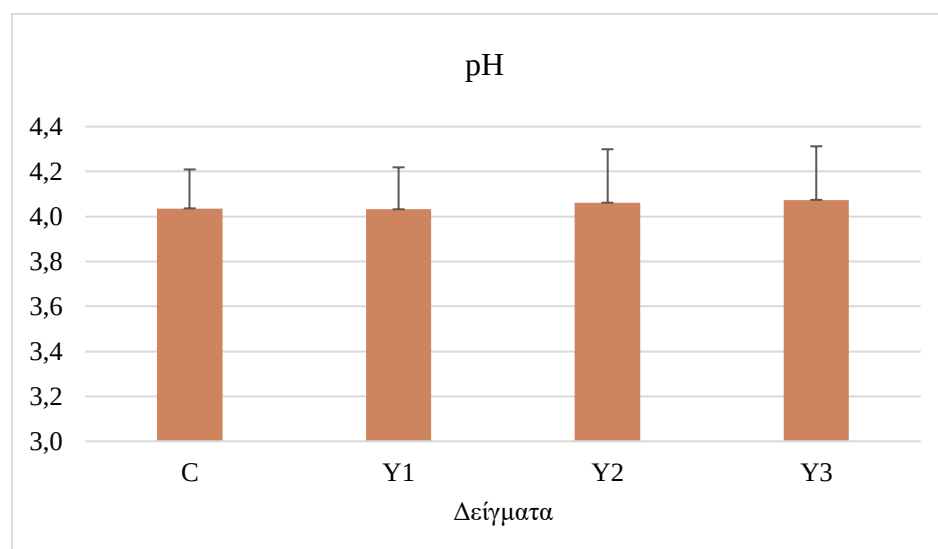


Γράφημα 7.2. Ραβδόγραμμα με τους μέσους όρους των ποσοστών ΙΣΝ στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.

Στο pH παρατηρήθηκε μείωση στα δείγματα ανά ημέρα. Όσο για το pH κάθε δείγματος την 1^η και 7^η μέρα γενικά παρατηρήθηκε αύξηση. Ενώ από την 21^η μέρα και έπειτα έδειξε να πέφτει η τιμή του. Την 14^η μέρα το Y1 έδωσε τιμή 4,05 και το Y2 4,01. Επιπλέον, σύμφωνα με τον Πίνακα 7.3 τις τρεις πρώτες εβδομάδες η πτώση του pH ήταν έντονη σε όλα τα δείγματα. Ειδικότερα για το Y3 σε σχέση με το C, παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη μεταβολή των τιμών κατά τη μετάβαση στην 4^η βδομάδα. Οι μέσοι όροι των τιμών ανά δείγμα φαίνεται να ταιριάζουν ανά δυάδες C - Y1 και Y2 - Y3, έχοντας συνολικά τον ίδιο μέσο όρο τυπικής απόκλισης όπως παρουσιάζεται στο Γράφημα 7.3.

Πίνακας 7.3. Αποτελέσματα τιμών pH στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.

pH				
ΜΕΡΑ	ΔΕΙΓΜΑΤΑ			
	ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ			
	C	Y1	Y2	Y3
1	4,30 ± 0,07	4,30 ± 0,08	4,40 ± 0,09	4,40 ± 0,05
7	4,10 ± 0,05	4,10 ± 0,05	4,20 ± 0,08	4,20 ± 0,02
14	4,01 ± 0,04	4,05 ± 0,04	4,01 ± 0,08	4,08 ± 0,05
21	3,89 ± 0,05	3,86 ± 0,05	3,84 ± 0,08	3,85 ± 0,06
28	3,88 ± 0,06	3,85 ± 0,06	3,86 ± 0,08	3,84 ± 0,02



Γράφημα 7.3. Ραβδόγραμμα με τους μέσους όρους των ποσοστών pH στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.

Οι μετρήσεις του pH συσχετίστηκαν με έρευνα των Munir *et al.* (2022) στην οποία παρατηρήθηκε παρόμοια πορεία τιμών T_{0-3} : 4,48 - 4,56, όπου T_0 το γιαούρτι ελέγχου και T_3 το γιαούρτι με 9% σκόνη αποβλήτων χυμοποίησης μήλου. Ισχυρίστηκαν ότι η οξύτητα του γιαουρτιού μειώθηκε λόγω του παράγοντα αραίωσης. Διαφορετική εικόνα σχημάτισαν οι Jovanović *et al.* (2020), οι οποίοι θεωρούν ότι το όξινο προφίλ των γιαουρτιών μπορεί να οφείλεται στην περιεκτικότητα του μήλου σε φυσικά οξέα αφού παρατήρησαν ελάττωση των τιμών από γιαούρτι 0%: 6,57 σε 5%: 5,70. Οι Saleh *et al.* (2018) συμφωνούν με την προηγούμενη άποψη και όσον αφορά τον χρόνο αποθήκευσης αναφέρουν ως υπαίτια την ανάπτυξη και δράση μικροοργανισμών για την μείωση του pH. Οι ίδιοι αξιολόγησαν τη συναίρεση και διατύπωσαν ότι η αύξηση στερεών σωμάτων και ινών στα γιαούρτια βελτίωσαν τη συναίρεση, όπου το γιαούρτι αναφοράς είχε 29,10 (mL/100g) και το γιαούρτι με 15% 25,50 (mL/100g) (0 μέρα αποθήκευσης). Οι Karaca *et al.* (2019) έρχονται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα που αφορούν τη συναίρεση κατά τη διάρκεια αποθήκευσης των δειγμάτων. Το πλήρες γιαούρτι ελέγχου (C3) και το πλήρες γιαούρτι με 1% ίνες μήλου (A3) σημείωσαν μειωμένη συναίρεση ωστόσο το δεύτερο διαφοροποίησε το ποσοστό του σε 11,89% την ημέρα 14, αντίστοιχη ενέργεια υπήρξε στο δείγμα Y1 στην τρέχουσα εργασία. Ακόμη, τα δύο δείγματα συσχετίστηκαν στη μετάβαση 1^{ης} και 7^{ης} μέρας λόγω απότομης μείωσης. Οι Wang *et al.* (2019) ανέφεραν μία γενική φθίνουσα τάση συναίρεσης

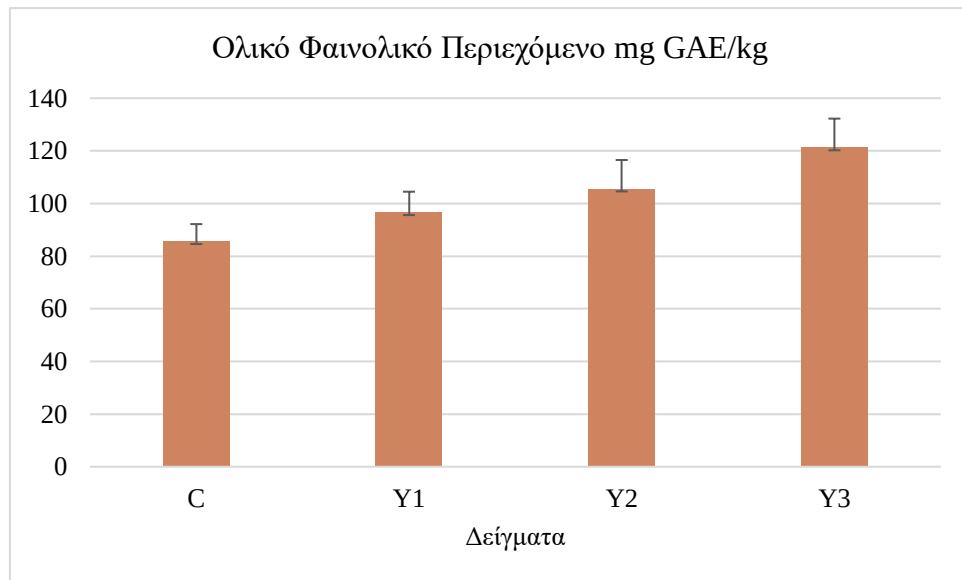
αναλόγως της αυξανόμενης προσθήκης μήλου στα γιαούρτια, 28,9 - 25,7 - 29,2 - 28,6 γιαούρτι ελέγχου - 0,1% - 0,5% - 1% αντίστοιχα (την 1^η μέρα). Υποστηρίζουν πως οι διακυμάνσεις δημιουργούνται εξαιτίας της σύστασης των αποβλήτων μήλου. Οι περιεχόμενες αδιάλυτες ίνες επιδρούν στο σώμα του γιαουρτιού διαταράσσοντας τη συναίρεση. Οι Wang *et al.* (2020) είχαν ανοδική πορεία στη συναίρεση κατά την αποθήκευση για παράδειγμα το γιαούρτι με 3% σκόνη υποπροϊόντος μήλου είχε τιμές 9,3 με 16,3, την 1^η και 28^η μέρα αντίστοιχα. Όσο για την ικανότητα συγκράτησης νερού οι μετρήσεις των Chakraborty *et al.* (2019) ακολουθούν ανοδική πορεία όπως και στον Πίνακα 7.2.

7.2. Αντιοξειδωτικά - φαινολικά αποτελέσματα

Οι τελικοί υπολογισμοί αποδόθηκαν ως mg GAE ή TE/kg, συγκεντρωμένοι σε πίνακες. Στον Πίνακα 7.4 παρατηρείται ότι οι τιμές του ολικού φαινολικού περιεχομένου αυξήθηκαν με τρόπο εξαρτώμενο από το προστιθέμενο μήλο στο γιαούρτι. Το ίδιο συνέβη σε όλα τα δείγματα για το χρονικό διάστημα που αποθηκεύτηκαν. Στο Γράφημα 6.4 αποτυπώνεται η αυξητική σειρά των μέσων όρων των τιμών του Πίνακα 7.4.

Πίνακας 7.4. Ολικό φαινολικό περιεχόμενο στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.

ΟΛΙΚΟ ΦΑΙΝΟΛΙΚΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ mg GAE/kg				
ΜΕΡΑ	ΔΕΙΓΜΑΤΑ			
ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ				
	C	Y1	Y2	Y3
1	75 ± 3	86 ± 1	92 ± 2	105 ± 1
7	85 ± 2	91 ± 1	99 ± 1	115 ± 3
14	86 ± 1	99 ± 3	105 ± 2	125 ± 2
21	90 ± 4	102 ± 7	112 ± 4	130 ± 2
28	92 ± 1	105 ± 3	120 ± 2	131 ± 7

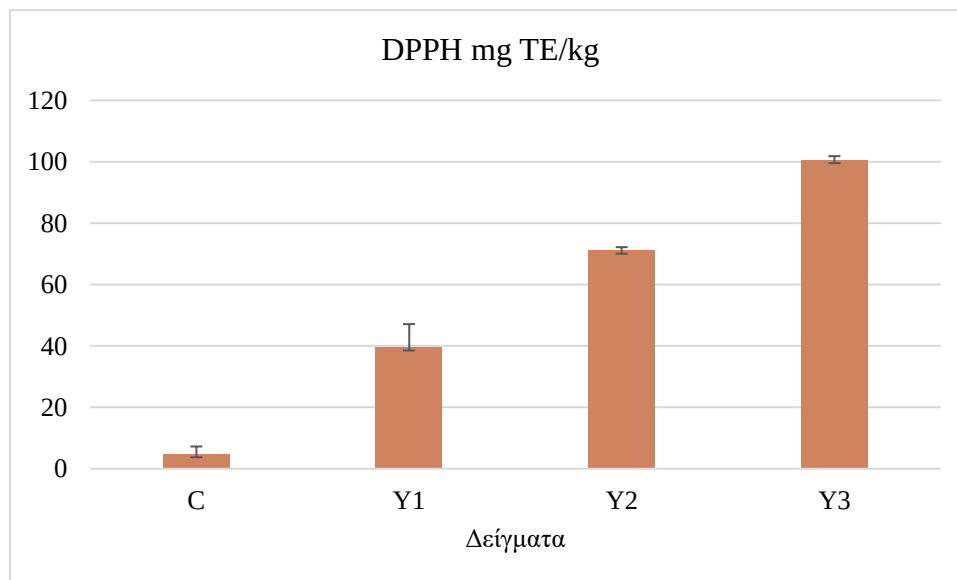


Γράφημα 7.4. Ραβδόγραμμα με τους μέσους όρους των τιμών mg GAE/kg στη μέθοδο Folin - Ciocalteu στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.

Στη μέθοδο DPPH, η αυξανόμενη προσθήκη ινών μήλου φάνηκε να ενισχύει την αντιοξειδωτική ικανότητα με μεγάλη διαφορά από το γιαούρτι ελέγχου. Πιο κατανοητή γίνεται στο Γράφημα 7.5, του οποίου οι τιμές κυμαίνονταν σε μικρότερες του 8 ενώ το Y3 στα 99 mg. Όσο για τη διάρκεια της αποθήκευσής τους, σε γενικές γραμμές εμφάνισαν αύξηση των τιμών με την πάροδο των ημερών. Το Y2 ξεχώρισε για τη σταθερότητα των τιμών του. Στο Γράφημα 7.5 αποτυπώνεται η αυξητική σειρά των μέσων όρων των τιμών του Πίνακα 7.5.

Πίνακας 7.5. Αποτελέσματα μεθόδου DPPH στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ DPPH mg TE/kg				
ΜΕΡΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	ΔΕΙΓΜΑΤΑ			
	C	Y1	Y2	Y3
1	5 ± 4	33 ± 9	72 ± 5	99 ± 1
7	4 ± 3	35 ± 4	72 ± 1	100 ± 2
14	2 ± 1	40 ± 2	70 ± 5	101 ± 6
21	8 ± 7	50 ± 8	70 ± 7	102 ± 5
28	6 ± 4	45 ± 7	71 ± 6	105 ± 6

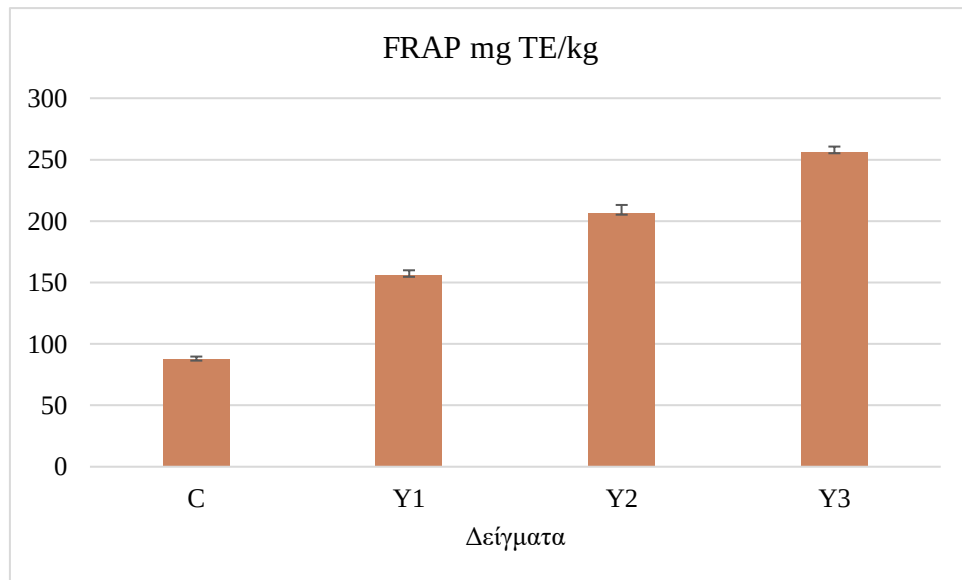


Γράφημα 7.5. Ραβδόγραμμα με τους μέσους όρους των τιμών mg TE/kg στη μέθοδο DPPH στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.

Η FRAP μέθοδος έδειξε αύξηση στα αντιοξειδωτικά κατά σειρά μεγαλύτερου ποσοστού ινών μήλου. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε κάθε δείγμα παρουσιάστηκαν μη σημαντικές αυξομειώσεις στις τιμές. Στο Γράφημα 7.6 αποτυπώνεται η αυξητική σειρά των μέσων όρων των τιμών του Πίνακα 7.6.

Πίνακας 7.6. Αποτελέσματα μεθόδου FRAP στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ FRAP mg TE/kg				
ΜΕΡΑ	ΔΕΙΓΜΑΤΑ			
ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	C	Y1	Y2	Y3
1	85 ± 7	150 ± 4	199 ± 4	250 ± 8
7	90 ± 5	152 ± 5	201 ± 6	260 ± 5
14	88 ± 6	160 ± 6	216 ± 8	255 ± 2
21	89 ± 5	158 ± 6	205 ± 8	261 ± 6
28	85 ± 5	158 ± 6	210 ± 7	255 ± 6

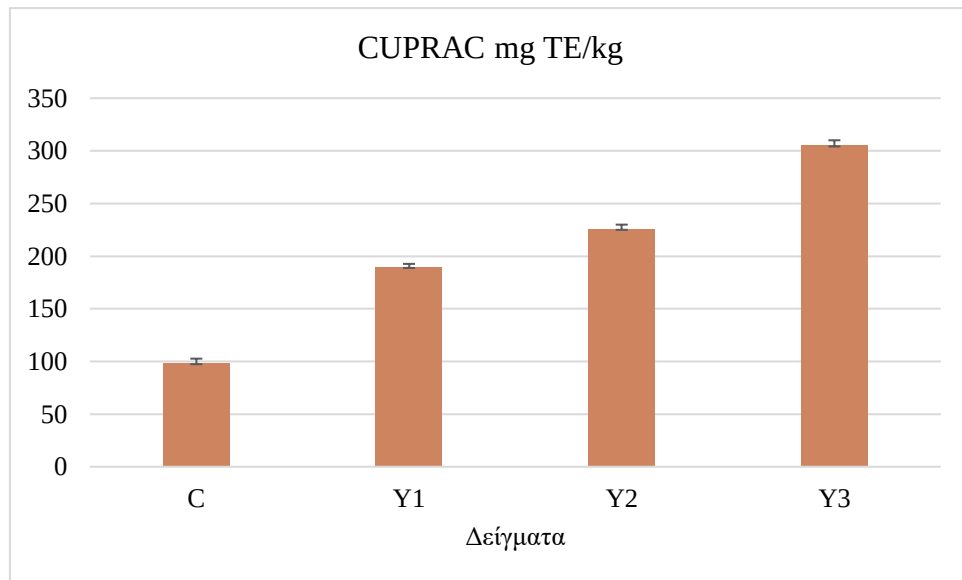


Γράφημα 7.6. Ραβδόγραμμα με τους μέσους όρους των τιμών mg TE/kg στη μέθοδο FRAP στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.

Παρόμοια συμπεράσματα με τα προηγούμενα έδωσε η μέθοδος CUPRAC όπως δηλώνονται στον Πίνακα 7.7. Υπήρξε αύξηση ανά δείγμα και ημέρα ανάλυσης παρόλες τις ενδιάμεσες διακυμάνσεις. Συγκεκριμένα, την 14^η και 28^η μέρα οι αριθμοί ήταν ίδιοι στα δείγματα C, Y1 και Y2. Στο Γράφημα 7.7 αποτυπώνονται οι μέσοι όροι των τιμών του Πίνακα 7.7.

Πίνακας 7.7. Αποτελέσματα μεθόδου CUPRAC στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ CUPRAC mg TE/kg				
ΜΕΡΑ	ΔΕΙΓΜΑΤΑ			
ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	C	Y1	Y2	Y3
1	91 ± 5	185 ± 8	224 ± 10	299 ± 10
7	99 ± 2	190 ± 9	221 ± 9	305 ± 5
14	100 ± 5	192 ± 9	230 ± 9	302 ± 5
21	102 ± 5	190 ± 10	225 ± 5	310 ± 2
28	100 ± 6	192 ± 9	230 ± 8	310 ± 8



Γράφημα 7.7. Ραβδόγραμμα με τους μέσους όρους των τιμών mg TE/kg στη μέθοδο CUPRAC στα δείγματα γιαουρτιού κατά την αποθήκευση.

Οι Wang *et al.* (2020) χρησιμοποίησαν μεθανολικά εκχυλίσματα στις αναλύσεις τους και σημείωσαν αύξηση του ολικού φαινολικού περιεχομένου με την άνοδο του ποσοστού μήλου, όσο και κατά την αποθήκευση. Για παράδειγμα το γιαούρτι με 3% μήλο απέδωσε τις τιμές 74,9 - 86,3 - 91,3 την 1^η - 7^η - 28^η μέρα αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα οφείλονται στη συνεχή εκχύλιση πολυφαινολών με την πάροδο του χρόνου λόγω αλλαγών στο pH. Επιπλέον, η χρήση οργανικού διαλύτη κατά την εκχύλιση του δείγματος ενισχύει τον αυξημένο αριθμό των πολυφαινολών. Το δείγμα ελέγχου όπως και στην παρούσα εργασία ανέδειξε πολυφαινόλες λόγω της δυνατότητας του αντιδραστηρίου Folin - Ciocalteu να ανιχνεύει αναγωγικά σάκχαρα όπως η γλυκόζη που προκύπτει από την υδρόλυση της λακτόζης στο διάστημα αποθήκευσης. Οι Jovanovic *et al.* (2020) πραγματοποίησαν αναλύσεις με υδατικά εκχυλίσματα και κατέγραψαν 41,7 mg/L για το γιαούρτι ελέγχου και 56,3 mg/L για το γιαούρτι με 1% αλεύρι αποβλήτων χυμοποίησης μήλου, όπου παρατηρήθηκε γενική αύξηση στα αποτελέσματα των μεθόδων Folin, DPPH και FRAP όσο το γιαούρτι εμπλουτιζόταν με μήλο. Θεώρησαν ότι οι πολυφαινόλες που εμπεριέχονται στο μήλο εντείνουν την αντιοξειδωτική δράση των γιαουρτιών. Οι Kim *et al.* (2023) συμφώνησαν και υποστήριξαν ότι η ανοδική τάση εξαρτήθηκε από το ανάλογο ποσοστό μήλου. Πιθανόν ο λόγος σχετίζεται με τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας όπου η αντιοξειδωτική ικανότητα συνδέεται αναλογικά της ποσότητας των φαινολικών με την πάροδο των ημερών ανά δείγμα. Συνεπώς, προκαλεί εντύπωση η μηδαμινή αντιοξειδωτική δράση

στο γιαούρτι ελέγχου με τη μέθοδο DPPH. Η μέθοδος CUPRAC δε βρέθηκε να αξιοποιείται σε μελέτες με αντικείμενο το γιαούρτι μήλου ωστόσο μπορεί να συσχετιστεί με εμπλουτισμούς διάφορων φρούτων. Για παράδειγμα οι Korjar *et al.* (2022) αναφέρουν ότι τα μούρα προσεγγίζουν την περιεκτικότητα των ινών μήλου σε βιοδραστικές ενώσεις όπως φαινολικά οξέα και φλαβονοειδή. Ο Akan (2022) που διεξήγαγε έρευνα με το γιαούρτι με βατόμουρο, σημείωσε αύξηση στην τιμή του μεταξύ του γιαουρτιού αναφοράς και του γιαουρτιού βατόμουρου. Ωστόσο, μέχρι την 21^η μέρα του πειράματος οι τιμές φθίνουν και ισχυρίστηκε πως η μείωση του pH ενισχύει τη δημιουργία συμπλόκων πρωτεϊνών με φαινολικές ουσίες. Αντιθέτως, οι τιμές CUPRAC στην τρέχουσα μελέτη αυξήθηκαν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VIII

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ανακεφαλαιώνοντας, από την παρούσα μελέτη διαπιστώθηκε η επίδραση των ινών μήλου στο γιαούρτι. Μεμονωμένα τα τρόφιμα περιέχουν εκ φύσεως βιοενεργά συστατικά ενώ το μήλο συνδυαστικά με το γιαούρτι θα μπορούσε να ενισχύσει το λειτουργικό τους χαρακτήρα. Μέσα από τις αναλύσεις έγινε αντιληπτό το βελτιωμένο αντιοξειδωτικό προφίλ χάρης στην προσθήκη σκόνης ινών μήλου. Φαίνεται να υπάρχει ανοδική τάση της αντιοξειδωτικής ικανότητας όσο το προστιθέμενο ποσοστό του μήλου αυξάνεται. Οι φυτικές ίνες αποτελούν άλλη μία ομάδα συστατικών που εμπεριέχονται στα μήλα και συνεισφέρουν στην καλύτερη εικόνα του γιαουρτιού. Η απορροφητικότητά τους βελτιώνει την συναίρεση και την ικανότητα συγκράτησης νερού αλλά μπορούν να προκαλέσουν παράλληλα διαταραχές στη δομή του γιαουρτιού. Η επίπτωσή του στο pH είναι διφορούμενη. Ορισμένοι αποδίδουν στον όξινο χαρακτήρα του γιαουρτιού λόγω των οξέων του μήλου ενώ έχει διατυπωθεί και η άποψη πως η χαμηλή οξύτητα οφείλεται στον παράγοντα αραίωσης.

Το Y3 έδειξε να έχει τις υψηλότερες τιμές σε φαινολικά και αντιοξειδωτικά όπως και τα φυσικοχημικά του χαρακτηριστικά με εξαίρεση την αποβολή ορού. Στη συνέχεια, το Y2 παρουσίασε καλύτερες τιμές στην ικανότητα συγκράτησης νερού, στα φαινολικά και στα αντιοξειδωτικά του. Το Y1 έδειξε παρόμοια συμπεριφορά με το Y2. Γενικά, το δείγμα ελέγχου επιβεβαίωσε την επωφελή σχέση μήλου - γιαουρτιού για τη δημιουργία ενός λειτουργικού προϊόντος.

Ένα γιαούρτι εμπλουτισμένο με ίνες μήλου θα είχε πολύπλευρο θετικό αντίκτυπο τόσο για τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά όσο και για τη διατροφική του αξία εξασφαλίζοντας στον καταναλωτή ποικιλία βασικών και επιπρόσθετων βιολειτουργικών ομάδων συστατικών. Προσφέρει πρωτεΐνη, φαινολικά-αντιοξειδωτικά και φυτικές ίνες. Οι ίνες μήλου παρέχουν χαμηλές θερμίδες. Ακόμη η EFSA (2010) έχει αναγνωρίσει τα οφέλη των διαιτητικών ινών στον ανθρώπινο οργανισμό επομένως μελλοντικά θα άξιζε να μελετηθεί η ονομασία του προϊόντος ως πηγή φυτικών ινών και να αναγράφεται στην ετικέτα. Ο αντίστοιχος διατροφικός ισχυρισμός του Ευρωπαϊκού Κανονισμού αριθ. 1924/2006, αποκαλεί ένα τρόφιμο ως

πηγή φυτικών ινών μόνο όταν το προϊόν περιέχει τουλάχιστον 3 g φυτικών ινών ανά 100 g ή τουλάχιστον 1,5 g φυτικών ινών ανά 100 kcal. Ενώ θεωρείται πλούσιο σε φυτικές ίνες μόνο όταν το προϊόν περιέχει τουλάχιστον 6 g φυτικών ινών ανά 100 g ή τουλάχιστον 3 g φυτικών ινών ανά 100 kcal. Ωστόσο πρέπει να ληφθούν υπόψη των φυσικοχημικά χαρακτηριστικά για την καλύτερη εξέλιξη - αποδοχή του προϊόντος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

- 1) Κεχαγιάς Χ. & Τσάκαλη Ε. (2020). *Επιστήμη και Τεχνολογία Γάλακτος και Γαλακτοκομικών Προϊόντων* (2^η έκδ.). Αθήνα: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών
- 2) Κώδικας τροφίμων και ποτών, άρθρο 80, Σεπτέμβριος 2016
- 3) Κώδικας τροφίμων και ποτών, άρθρο 82, Αύγουστος 2016

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- 1) Abdel-Hamid, M., Romeih, E., Gamba, R. R., Nagai, E., Suzuki, T., Koyanagi, T., & Enomoto, T. (2019). The biological activity of fermented milk produced by *Lactobacillus casei* ATCC 393 during cold storage. *International Dairy Journal*, 91, 1-8.
- 2) Abdi-Moghadam, Z., Darroudi, M., Mahmoudzadeh, M., Mohtashami, M., Jamal, A. M., Shamloo, E., & Rezaei, Z. (2023). Functional yogurt, enriched and probiotic: A focus on human health. *Clinical Nutrition ESPEN*.
- 3) Ahmad, I., Hao, M., Li, Y., Zhang, J., Ding, Y., & Lyu, F. (2022). Fortification of yogurt with bioactive functional foods and ingredients and associated challenges-A review. *Trends in food science & technology*, 129, 558-580.
- 4) Akan, E. (2022). Effect of blackberry and oat bran addition on *Lactobacillus acidophilus* viability and antioxidant activity of probiotic yogurt.
- 5) Aleman, R. S., Delarca, F., Sarmientos, M., Marcia, J., Yaday, A., & Kayanush, A. (2024). Impact of Novel Functional Ingredients on *Lactobacillus casei* Viability. *Bacteria*, 3(1), 30-41.
- 6) Ali, M. S., Darwish, A. A., Hassan, M. A., Hekal, S. A., E. Abdel-Mobdy, A., & Bakry, A. M. (2024). Utilisation of *Lacticaseibacillus casei* ATCC 393-derived exopolysaccharide for camel milk yoghurt production and its potential anticancer and hepatoprotective properties. *International Journal of Dairy Technology*.
- 7) ALKaisy, Q. H., & Rahi, A. K. (2022). Desirable physical and rheological properties of yogurt produced with a traditional starter compared to different commercial starters. *Journal of Hygienic Engineering & Design*, 41.

- 8) Alsuhaibani, A. M. (2015). Biochemical and biological study of biscuit fortified with apple powder. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 4(04), 984-990.
- 9) Amatayakul, T., Sherkat, F., & Shah, N. P. (2006). Syneresis in set yogurt as affected by EPS starter cultures and levels of solids. *International Journal of dairy technology*, 59(3), 216-221.
- 10) Arab, M., Yousefi, M., Khanniri, E., Azari, M., Ghasemzadeh-Mohammadi, V., & Mollakhalili-Meybodi, N. (2023). A comprehensive review on yogurt syneresis: Effect of processing conditions and added additives. *Journal of Food Science and Technology*, 60(6), 1656-1665.
- 11) Arnold, M., & Gramza-Michalowska, A. (2024). Recent Development on the Chemical Composition and Phenolic Extraction Methods of Apple (*Malus domestica*)—A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 17(9), 2519-2560.
- 12) Aryana, K. J., & Olson, D. W. (2017). A 100-Year Review: Yogurt and other cultured dairy products. *Journal of dairy science*, 100(12), 9987-10013.
- 13) Asma, U., Morozova, K., Ferrentino, G., & Scampicchio, M. (2023). Apples and apple by-products: antioxidant properties and food applications. *Antioxidants*, 12(7), 1456.
- 14) Atik, D. S., Öztürk, H. Y., & Akýn, N. (2024). Perspectives on the yogurt rheology. *International Journal of Biological Macromolecules*, 130428
- 15) Bankole, A. O., Ironi, E. A., Awoyale, W., & Ajani, E. O. (2023). Application of natural and modified additives in yogurt formulation: Types, production, and rheological and nutraceutical benefits. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1257439.
- 16) Bassi, A. S. (2023). Engineering principles of bioseparations. In *Coulson and Richardson's Chemical Engineering* (pp. 757-779). Butterworth-Heinemann.
- 17) Bender, A. B. B., Speroni, C. S., Moro, K. I. B., Morisso, F. D. P., dos Santos, D. R., da Silva, L. P., & Penna, N. G. (2020). Effects of micronization on dietary fiber composition, physicochemical properties, phenolic compounds, and antioxidant capacity of grape pomace and its dietary fiber concentrate. *Lwt*, 117, 108652.
- 18) Benzie, I. F., & Devaki, M. (2018). The ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay for non-enzymatic antioxidant capacity: concepts, procedures, limitations and applications. *Measurement of antioxidant activity & capacity: Recent trends and applications*, 77-106.

- 19) Bondonno, N. P., Bondonno, C. P., Ward, N. C., Hodgson, J. M., & Croft, K. D. (2017). The cardiovascular health benefits of apples: Whole fruit vs. isolated compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 69, 243-256.
- 20) Boulos, N. N., Greenfield, H., & Wills, R. B. (2000). Water holding capacity of selected soluble and insoluble dietary fibre. *International Journal of Food Properties*, 3(2), 217-231.
- 21) Boyer, J., & Liu, R. H. (2004). Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition journal*, 3, 1-15.
- 22) Chakraborty, C., Mukherjee, S., & Biswas, S. (2019). Evaluation of Rheological, Physicochemical, and Sensory properties of Apple fortified Yoghurt. *Indian Journal of Dairy Science*, 72(1).
- 23) Chandan, R. C. (2017). An overview of yogurt production and composition. *Yogurt in health and disease prevention*, 31-47.
- 24) Chandan, R. C., Gandhi, A., & Shah, N. P. (2017). Yogurt: Historical background, health benefits, and global trade. In *Yogurt in health and disease prevention* (pp. 3-29). Academic Press.
- 25) Costa, J. M., Ampese, L. C., Ziero, H. D. D., Sganzerla, W. G., & Forster-Carneiro, T. (2022). Apple pomace biorefinery: Integrated approaches for the production of bioenergy, biochemicals, and value-added products—An updated review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(5), 108358.
- 26) Cui, Y., & Qu, X. (2021). Genetic mechanisms of prebiotic carbohydrate metabolism in lactic acid bacteria: Emphasis on *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus paracasei* as flexible, diverse and outstanding prebiotic carbohydrate starters. *Trends in Food Science & Technology*, 115, 486-499.
- 27) Das, K., Choudhary, R., & Thompson-Witrick, K. A. (2019). Effects of new technology on the current manufacturing process of yogurt-to increase the overall marketability of yogurt. *Lwt*, 108, 69-80.
- 28) Deshwal, G. K., Tiwari, S., Kumar, A., Raman, R. K., & Kadyan, S. (2021). Review on factors affecting and control of post-acidification in yoghurt and related products. *Trends in food science & technology*, 109, 499-512.
- 29) Dimitrellou, D., Solomakou, N., Kokkinomagoulos, E., & Kandyliis, P. (2020). Yogurts supplemented with juices from grapes and berries. *Foods*, 9(9), 1158.
- 30) Dreher, M. L. (2018). Whole fruits and fruit fiber emerging health effects. *Nutrients*, 10(12), 1833.

- 31) EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA). (2010). Scientific opinion on dietary reference values for carbohydrates and dietary fibre. *EFSA Journal*, 8(3), 1462.
- 32) Fazilah, N. F., Ariff, A. B., Khayat, M. E., Rios-Solis, L., & Halim, M. (2018). Influence of probiotics, prebiotics, synbiotics and bioactive phytochemicals on the formulation of functional yogurt. *Journal of functional foods*, 48, 387-399.
- 33) Feng, S., Yi, J., Li, X., Wu, X., Zhao, Y., Ma, Y., & Bi, J. (2021). Systematic review of phenolic compounds in apple fruits: Compositions, distribution, absorption, metabolism, and processing stability. *Journal of agricultural and food chemistry*, 69(1), 7-27.
- 34) Fernandez, M. A., Fisberg, M., & Marette, A. (2017). Role of Yogurt in the Nutrition and Health of Children and Adolescents. In *Yogurt in Health and Disease Prevention* (pp. 491-505). Academic Press.
- 35) Figuerola, F., Hurtado, M. L., Estévez, A. M., Chiffelle, I., & Asenjo, F. (2005). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food chemistry*, 91(3), 395-401.
- 36) Fisberg, M., & Machado, R. (2015). History of yogurt and current patterns of consumption. *Nutrition reviews*, 73(suppl_1), 4-7.
- 37) Gawai, K. M., Mudgal, S. P., & Prajapati, J. B. (2017). Stabilizers, colorants, and exopolysaccharides in yogurt. In *Yogurt in health and disease prevention* (pp. 49-68). Academic Press.
- 38) Ghinea, C., & Leahu, A. (2022). Valorisation of apple (*Malus domestica*) wastes. In *Mediterranean Fruits Bio-Wastes: Chemistry, Functionality and Technological Applications* (pp. 325-348). Cham: Springer International Publishing.
- 39) Guiné, R. P., Barroca, M. J., Coldea, T. E., Bartkiene, E., & Anjos, O. (2021). Apple fermented products: An overview of technology, properties and health effects. *Processes*, 9(2), 223.
- 40) Haghighi, M., & Rezaei, K. (2012). General Analytical Schemes for the Characterization of Pectin-Based Edible Gelled Systems. *The Scientific World Journal*, 2012(1), 967407.
- 41) Havmand, P. U., Zachariassen, L. G., Ipsen, R., & Poulsen, V. K. (2022). Measurement of water-holding capacity in fermented milk using near-infrared

- spectroscopy combined with chemometric methods. *Journal of Dairy Research*, 89(2), 194-200.
- 42) Hersh, J. (2021). *Yoghurt: A Global History*. Reaktion Books
 - 43) Hill, D., Ross, R. P., Arendt, E., & Stanton, C. (2017). Microbiology of yogurt and bio-yogurts containing probiotics and prebiotics. In *Yogurt in health and disease prevention* (pp. 69-85). Academic Press.
 - 44) Hussain, S., Jöudu, I., & Bhat, R. (2020). Dietary fiber from underutilized plant resources—A positive approach for valorization of fruit and vegetable wastes. *Sustainability*, 12(13), 5401.
 - 45) International Dairy Federation <https://fil-idf.org/dairys-global-impact/>
 - 46) Iqbal, F., Rehman, M. A. U., & Ashfaq, M. (2021). Incorporation of vegetables in yoghurt as a source of dietary fibre: A review. *World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences*, 8(2), 008-013.
 - 47) Janik, E. (2011). *Apple: A global history*. Reaktion Books.
 - 48) Jovanović, M., Petrović, M., Miočinović, J., Zlatanović, S., Laličić Petronijević, J., Mitić-Ćulafić, D., & Gorjanović, S. (2020). Bioactivity and sensory properties of probiotic yogurt fortified with apple pomace flour. *Foods*, 9(6), 763.
 - 49) Karaca, O. B., Saydam, İ. B., & Güven, M. (2019). Physical, chemical, and sensory attributes of low-fat, full-fat, and fat-free probiotic set yogurts fortified with fiber-rich persimmon and apple powders. *Journal of Food processing and Preservation*, 43(6), e13926.
 - 50) Karoney, E. M., Molelekoa, T., Bill, M., Siyoum, N., & Korsten, L. (2024). Global research network analysis of fresh produce postharvest technology: Innovative trends for loss reduction. *Postharvest Biology and Technology*, 208, 112642.
 - 51) Khanpit, V. V., Tajane, S. P., & Mandavgane, S. A. (2021). Dietary fibers from fruit and vegetable waste: methods of extraction and processes of value addition. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-20.
 - 52) Kim, J., Kim, M., & Choi, I. (2023). Physicochemical characteristics, antioxidant properties and consumer acceptance of Greek yogurt fortified with apple pomace syrup. *Foods*, 12(9), 1856.
 - 53) Kopjar, M., Āorkoviā, I., Buljeta, I., Šimunoviā, J., & Pichler, A. (2022). Fortification of pectin/blackberry hydrogels with apple fibers: Effect on

- phenolics, antioxidant activity and inhibition of α -glucosidase. *Antioxidants*, 11(8), 1459.
- 54) Kupina, S., Fields, C., Roman, M. C., & Brunelle, S. L. (2018). Determination of total phenolic content using the Folin-C assay: single-laboratory validation, first action 2017.13. *Journal of AOAC International*, 101(5), 1466-1472.
 - 55) Lakso, A. N., & Goffinet, M. C. (2017). Advances in understanding apple fruit development. *Achieving sustainable cultivation of apples*, 127-158.
 - 56) Llavata, B., Picinelli, A., Simal, S., & Carcel, J. A. (2022). Cider apple pomace as a source of nutrients: Evaluation of the polyphenolic profile, antioxidant and fiber properties after drying process at different temperatures. *Food Chemistry: X*, 15, 100403.
 - 57) Manrich, A. (2024). Apple Industry: Wastes and Possibilities. *Int J Agri Res Env Sci*, 5(1), 1-10.
 - 58) Munir, A., Anwar, A., Sarfraz, A., Qin, H., & Boran, H. (2022). Effect of Freeze-Drying on Apple Pomace and Pomegranate Peel Powders Used as a Source of Bioactive Ingredients for the Development of Functional Yogurt. *Journal of Food Quality*, 2022.
 - 59) Munteanu, I. G., & Apetrei, C. (2021). Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. *International journal of molecular sciences*, 22(7), 3380.
 - 60) Musacchi, S., & Serra, S. (2018). Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. *Scientia Horticulturae*, 234, 409-430.
 - 61) Naik, A. (2023). Production Cost Analysis and Marketing of Fermented Foods: Yoghurt. In *Food Microbiology Based Entrepreneurship: Making Money From Microbes* (pp. 215-231). Singapore: Springer Nature Singapore.
 - 62) Obidziński, S., Dołżyńska, M., & Lewicka, S. (2017). Analysis of physical properties of dietary fiber from apple waste.
 - 63) Özyürek, M., Güçlü, K., & Apak, R. (2011). The main and modified CUPRAC methods of antioxidant measurement. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 30(4), 652-664.
 - 64) Özyürek, M., Güçlü, K., Tütem, E., Başkan, K. S., Erçağ, E., Çelik, S. E., ... & Apak, R. (2011). A comprehensive review of CUPRAC methodology. *Analytical methods*, 3(11), 2439-2453.

- 65) Pérez, M., Dominguez-López, I., & Lamuela-Raventós, R. M. (2023). The chemistry behind the folin–ciocalteu method for the estimation of (poly) phenol content in food: Total phenolic intake in a mediterranean dietary pattern. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(46), 17543-17553.
- 66) Plank, D. W., Szpylka, J., Sapirstein, H., Woollard, D., Zapf, C. M., Lee, V., ... & Collaborators: Begelman A Camire M DeRito C DeVries JW Dougherty MP Hanson M Liu R Marquard M Ser A Stringer M. (2012). Determination of antioxidant activity in foods and beverages by reaction with 2, 2'-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH): Collaborative study first action 2012.04. *Journal of AOAC International*, 95(6), 1562-1569.
- 67) Qu, T., Wang, P., Zhao, X., Liang, L., Ge, Y., & Chen, Y. (2024). Metagenomics reveals differences in the composition of bacterial antimicrobial resistance and antibiotic resistance genes in pasteurized yogurt and probiotic bacteria yogurt from China. *Journal of Dairy Science*, 107(6), 3451-3467.
- 68) Qureshi, T. M., Nadeem, M., Ahmad, M. M., Hussain, S., Rehman, S., & Shaukat, A. (2017). Antioxidant potential of natural fruit flavored yogurt-a review. *Pak. J. Agric. Res*, 55, 85-99.
- 69) Rana, S., Kapoor, S., Rana, A., Dhaliwal, Y. S., & Bhushan, S. (2022). Industrial Apple Pomace as a Bioresource for Food and Agro Industries. In *Sustainable Agriculture Reviews 56: Bioconversion of Food and Agricultural Waste into Value-Added Materials* (pp. 39-65). Cham: Springer International Publishing.
- 70) Rashwan, A. K., Osman, A. I., & Chen, W. (2023). Natural nutraceuticals for enhancing yogurt properties: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(3), 1907-1931.
- 71) Renan, M., Guyomarc'h, F., Arnoult-Delest, V., Pâquet, D., Brulé, G., & Famelart, M. H. (2009). Rheological properties of stirred yoghurt as affected by gel pH on stirring, storage temperature and pH changes after stirring. *International Dairy Journal*, 19(3), 142-148.
- 72) Ribeiro, J. A., dos Santos Pereira, E., de Oliveira Raphaelli, C., Radünz, M., Camargo, T. M., da Rocha Concenço, F. I. G., ... & Nora, L. (2022). Application of prebiotics in apple products and potential health benefits. *Journal of Food Science and Technology*, 1-14.
- 73) Rubbani, U., & Iqbal, A. (2020). Evaluation of isolated Lactobacillus strains as Probiotics in yogurt preparation. *Advancements in Life Sciences*, 7(2), 79-85.

- 74) Saleh, I., Abdelwahed, E. M., Rabie, A. M. H., & El-Ella, A. (2018). Fortification of probiotic stirred yoghurt by addition of apple and mango pulps. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 45(2), 625-635.
- 75) Salehi, F. (2021). Quality, physicochemical, and textural properties of dairy products containing fruits and vegetables: A review. *Food Science & Nutrition*, 9(8), 4666-4686.
- 76) Sfakianakis, P., & Tzia, C. (2014). Conventional and innovative processing of milk for yogurt manufacture; development of texture and flavor: A review. *Foods*, 3(1), 176-193.
- 77) Statista <https://www.statista.com/statistics/870893/global-yogurt-market-value-forecast/>
- 78) Statista <https://www.statista.com/statistics/1190860/yogurt-production-share-by-leading-european-country/>
- 79) Statista <https://www.statista.com/outlook/cmo/food/dairy-products-eggs/yogurt/greece>
- 80) Szabo, K., Mitrea, L., Călinoiu, L. F., Teleky, B. E., Martău, G. A., Plamada, D., ... & Vodnar, D. C. (2022). Natural polyphenol recovery from apple-, cereal-, and tomato-processing by-products and related health-promoting properties. *Molecules*, 27(22), 7977.
- 81) Szołtysik, M., Kucharska, A. Z., Dąbrowska, A., Zięba, T., Bobak, Ł., & Chrzanowska, J. (2021). Effect of two combined functional additives on yoghurt properties. *Foods*, 10(6), 1159.
- 82) Tsoupras, A., Gkika, D. A., Markopoulos, T., Curran, R., Scallan, C., Karali, M., & Kyzas, G. Z. (2024). Apple products (apple juice and cider) and by-products (apple pomace): Bioactive compounds and biological properties. In *Natural Products in Beverages: Botany, Phytochemistry, Pharmacology and Processing* (pp. 1-42). Cham: Springer International Publishing.
- 83) Tulej, W., & Głowacki, S. (2022). Modeling of the drying process of apple pomace. *Applied Sciences*, 12(3), 1434.
- 84) Tyl, C., & Sadler, G. D. (2017). pH and titratable acidity. *Food analysis*, 389-406.
- 85) Uriot, O., Denis, S., Junjua, M., Roussel, Y., Dary-Mourot, A., & Blanquet-Diot, S. (2017). *Streptococcus thermophilus*: from yogurt starter to a new promising probiotic candidate?. *Journal of Functional Foods*, 37, 74-89.

- 86) Vallée Marcotte, B., Verheyde, M., Pomerleau, S., Doyen, A., & Couillard, C. (2022). Health benefits of apple juice consumption: A review of interventional trials on humans. *Nutrients*, 14(4), 821.
- 87) Wang, X., Kristo, E., & LaPointe, G. (2019). The effect of apple pomace on the texture, rheology and microstructure of set type yogurt. *Food Hydrocolloids*, 91, 83-91.
- 88) Wang, X., Kristo, E., & LaPointe, G. (2020). Adding apple pomace as a functional ingredient in stirred-type yogurt and yogurt drinks. *Food Hydrocolloids*, 100, 105453.
- 89) Westcott, C. (2012). *pH measurements*. Elsevier.
- 90) Yang, S., Yan, D., Zou, Y., Mu, D., Li, X., Shi, H., ... & Wu, J. (2021). Fermentation temperature affects yogurt quality: A metabolomics study. *Food Bioscience*, 42, 101104.
- 91) Zahid, H. F., Ranadheera, C. S., Fang, Z., & Ajlouni, S. (2022). Functional and healthy yogurts fortified with probiotics and fruit peel powders. *Fermentation*, 8(9), 469.
- 92) https://dir.icapcrif.com/mailimages/PublishingServer/PR_ICAP-CRIF/2022/PR_ICAP-CRIF_%CE%93%CE%B1%CE%BB%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%BF%CE%BA%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AC%20%CE%A0%CF%81%CE%BF%CF%8A%CF%8C%CE%BD%CF%84%CE%B1/PR_ICAP%20CRIF_%CE%93%CE%91%CE%9B%CE%91%CE%9A%CE%A4%CE%9F%CE%9A%CE%9F%CE%9C%CE%99%CE%9A%CE%91%20%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%99%CE%9F%CE%9D%CE%A4%CE%91.pdf
- 93) <https://www.linkedin.com/pulse/2024-apple-fiber-market-trends-research-report-3lovf>
- 94) <https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/apple-fiber-market-102811>