ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ IV: ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΥ ΓΙΑΟΥΡΤΙΟΥ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗ ΖΥΜΩΣΗ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΟΥΒΕΛΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΤΖΙΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

ΑΘΗΝΑ, 2020

Ευχαριστίες

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια της σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, κυρία Τζιά Κωνσταντίνα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και για την καθοδήγηση, την υποστήριξη και τη βοήθεια της καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της. Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό του εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων Ε.Μ.Π. για τη βοήθεια που μου προσέφεραν και ειδικότερα, τους υποψήφιους διδάκτορες Γεωργία Φρακολάκη και Τρύφωνα Κεκέ, οι οποίοι έκαναν πιο ευχάριστη τη διεξαγωγή των πειραμάτων και με τη στήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές τους με βοήθησαν να ολοκληρώσω την εργασία. Επιπρόσθετα, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον υποψήφιο διδάκτορα Γιώργο Δημόπουλο για την πολύτιμη βοήθειά του στη διεξαγωγή μέρους των πειραμάτων, όπως και στη Σοφία Χρανιώτη και στο προσωπικό του Ινστιτούτου Τεχνολογίας Αγροτικών Προϊόντων της Αθήνας για την παραχώρηση της συσκευής υπερυψηλής πίεσης και για την καθοδήγησή τους στην εκπόνηση των πειραμάτων. Τέλος, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, που είναι πάντα στο πλευρό μου, στην αδερφή μου Σταυρούλα και στους φίλους μου, οι οποίοι αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής μου και με βοήθησαν ιδιαίτερα όχι μόνο στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας και των σπουδών μου, αλλά και στη δημιουργία πολύ όμορφων αναμνήσεων κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στο ΕΜΠ.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Τα πειράματα εκτελέστηκαν κατά τη διάρκεια του χειμερινού και του εαρινού εξαμήνου του ακαδημαϊκού έτους 2019-2020. Ο σκοπός της εργασίας ήταν η παρασκευή συνεκτικού γιαουρτιού και η μελέτη της επίδρασης διαφόρων παραγόντων στις παραμέτρους της ζύμωσης και στις ιδιότητές του. Αρχικά, εξετάστηκε η επίδραση του είδους του γάλακτος (πλήρες: 3.5% κ.β. περιεκτικότητα σε λιπαρά/ημιαποβουτυρωμένο: 1.5% κ.β. περιεκτικότητα σε λιπαρά) και της διαφορετικής θερμικής κατεργασίας στην οποία αυτό υποβαλλόταν (95°C-5 min/83°C-20 min). Έπειτα, μελετήθηκε η επίδραση της εφαρμογής υπερήχων (High Intensity Ultrasound, US, 37 kHz-10 min), της προσθήκης προβιοτικών βακτηρίων, της εφαρμογής υπερυψηλής πίεσης (Ultra-High Pressure, UHP) στο γάλα (πριν τη θερμική του κατεργασία) με δύο διαφορετικές τιμές πίεσης (200 MPa-5 min/600 MPa-5 min) και τέλος, της εφαρμογής παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (Pulsed Electric Field, PEF, n=100 παλμοί, τ=15 μs, f=20 Hz, E=1.8$\frac{kV}{cm}$) στο γάλα (πριν τη θερμική του κατεργασία). Η εξέλιξη της ζύμωσης παρακολουθείτο μέσω της μεταβολής του pH και του ιξώδους του πήγματος με το χρόνο και θεωρείτο ολοκληρωμένη, μόλις το pH αποκτούσε τιμή ίση με 4.5. Εξετάστηκε η επίδραση των προαναφερθέντων παραγόντων στο ρυθμό μείωσης του pH, στη λανθάνουσα φάση του pH, στο ρυθμό αύξησης του ιξώδους και στη λανθάνουσα φάση του ιξώδους, όπως προέκυψαν έπειτα από προσαρμογή των δεδομένων pH και ιξώδους στο μοντέλο Gompertz τεσσάρων παραμέτρων. Επίσης, μελετήθηκε η επίδραση των παραγόντων αυτών στο χρόνο ζύμωσης και στο ιξώδες του γιαουρτιού μόλις η ζύμωση είχε ολοκληρωθεί (σε θερμοκρασία 45°C). Στα τελικά προϊόντα γιαουρτιού, έπειτα από αποθήκευσή τους στους 4°C για 24h, μελετήθηκαν οι εξής ιδιότητες: το ιξώδες, η ικανότητα συγκράτησης ύδατος στο πήγμα και οι αντικειμενικές παράμετροι υφής, δηλαδή η σκληρότητα, η συνεκτικότητα και η προσκολλησιμότητα.

Ο ρυθμός μείωσης του pH ήταν μεγαλύτερος (κατά απόλυτη τιμή) στα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες γάλα. Επίσης, τα γιαούρτια στα οποία είχε εφαρμοστεί ήπια θερμική κατεργασία (83°C-20 min) εμφάνισαν μεγαλύτερο ρυθμό μείωσης του pH σε σχέση με εκείνα στα οποία είχε εφαρμοστεί έντονη θερμική κατεργασία (95°C-5 min). Η λανθάνουσα φάση του pH είχε μικρότερη διάρκεια όταν η ζύμωση γινόταν χρησιμοποιώντας πλήρες γάλα. Συγκεκριμένα, στα γιαούρτια από πλήρες γάλα ήταν συντομότερη κατά 75 min (στα πειράματα με ήπια θερμική κατεργασία) και κατά 63 min (στα πειράματα με έντονη θερμική κατεργασία), σε σχέση με τα γιαούρτια από ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Το είδος του γάλακτος επηρέασε και τη διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του ιξώδους, καθώς στα γιαούρτια από πλήρες γάλα η διάρκεια αυτής

ήταν μειωμένη κατά 87 min (ήπια θερμική κατεργασία) και κατά 91 min (έντονη θερμική κατεργασία) σε σχέση με εκείνη των γιαουρτιών με χαμηλότερα λιπαρά. Όσον αφορά το ιξώδες στο τέλος της ζύμωσης, αυτό αυξήθηκε κατά 1500 cP (ήπια θερμική κατεργασία) και 1532 cP (έντονη θερμική κατεργασία) όταν χρησιμοποιήθηκε πλήρες γάλα, ενώ αυξήθηκε με την αύξηση της έντασης της θερμικής κατεργασίας κατά 1458 cP (πλήρες γάλα) και 1426 cP (ημιαποβουτυρωμένο γάλα). Τέλος, η ικανότητα συγκράτησης ύδατος αυξήθηκε κατά 7% όταν χρησιμοποιήθηκε πλήρες γάλα, ενώ παρουσίασε αύξηση 6% όταν εφαρμόστηκε έντονη θερμική κατεργασία.

Η προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων οδήγησε σε μείωση του χρόνου ζύμωσης κατά 30 min τόσο στα γιαούρτια από πλήρες γάλα, όσο και σε εκείνα από ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Επίσης, το ιξώδες μετά την ολοκλήρωση της ζύμωσης ήταν αυξημένο στα γιαούρτια με προβιοτικά βακτήρια κατά 952 cP (πλήρες γάλα) και 838 cP (ημιαποβουτυρωμένο γάλα), ενώ σημειώθηκε αύξηση και στο τελικό ιξώδες τους (μετά από 24h αποθήκευσης στους 4°C) κατά 8169 cP και 7567 cP αντίστοιχα. Η προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων μείωσε την προσκολλησιμότητα του γιαουρτιού κατά 0.135 N·s στα γιαούρτια από πλήρες γάλα και κατά 0.119 N·s σε εκείνα από ημιαποβουτυρωμένο γάλα.

Με την εφαρμογή υπερήχων επετεύχθη σημαντικά υψηλότερο ιξώδες. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρήθηκε στο ιξώδες των γιαουρτιών στα οποία εφαρμόστηκαν υπέρηχοι κατά τη ζύμωση. Ειδικότερα, με την ολοκλήρωση της ζύμωσης το ιξώδες ήταν αυξημένο στα γιαούρτια πλήρους γάλακτος κατά: 69 cP (εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση), 4722 cP (εφαρμογή υπερήχων κατά τη ζύμωση) και 1052 cP (εφαρμογή υπερήχων μετά τη ζύμωση). Για τα γιαούρτια από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, η αντίστοιχη αύξηση ήταν 492 cP, 4169 cP και 568 cP. Ανάλογη αύξηση σημειώθηκε και στο τελικό ιξώδες των γιαουρτιών (μετά από 24h αποθήκευσής τους στους 4°C). Στα πειράματα όπου χρησιμοποιήθηκε πλήρες γάλα παρουσιάστηκε αύξηση κατά: 13162 cP (εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση), 19814 cP (εφαρμογή υπερήχων κατά τη ζύμωση) και 3114 cP (εφαρμογή υπερήχων μετά τη ζύμωση). Για τα γιαούρτια από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, η αντίστοιχη αύξηση ήταν 4502 cP, 16827 cP και 6044 cP. Η εφαρμογή υπερήχων κατά τη ζύμωση οδήγησε στις μεγαλύτερες τιμές ιξώδους, όμως προκάλεσε ελαφρώς μειωμένη ικανότητα συγκράτησης ύδατος, πιθανώς λόγω διατάραξης στο πήγμα. Επίσης, μια αρνητική επίπτωση της μεθόδου των υπερήχων ήταν η αύξηση του χρόνου ζύμωσης. Στα γιαούρτια από πλήρες γάλα σημειώθηκε αύξηση κατά 70 min (US πριν τη ζύμωση), 160 min (US κατά τη ζύμωση) και 15 min (US μετά τη ζύμωση). Στα γιαούρτια από ημιαποβουτυρωμένο γάλα οι αντίστοιχες αυξήσεις στο χρόνο ήταν 80 min, 150 min και 160 min. Συμπερασματικά, η καλύτερη μέθοδος από τη σειρά πειραμάτων με υπερήχους ήταν η εφαρμογή τους πριν τη ζύμωση, καθώς παρουσίασε σημαντική αύξηση του ιξώδους, μικρότερη αύξηση του χρόνου ζύμωσης σε σχέση με αυτή

που παρατηρήθηκε όταν οι υπέρηχοι εφαρμόστηκαν κατά τη ζύμωση και σχεδόν αμετάβλητη ικανότητα συγκράτησης ύδατος.

Η εφαρμογή της υπερυψηλής πίεσης στο γάλα οδήγησε σε γιαούρτια με υψηλότερο τελικό ιξώδες. Με κατεργασία του γάλακτος στα 200 MPa, η συγκεκριμένη ιδιότητα παρουσίασε αύξηση κατά 21318 cP (πλήρες γάλα) και 14305 cP (ημιαποβουτυρωμένο γάλα), ενώ όταν εφαρμόστηκε πίεση τιμής 600 MPa η αντίστοιχη αύξηση ήταν 23902 cP (πλήρες γάλα) και 13116 cP (ημιαποβουτυρωμένο γάλα). Επιπλέον, η υπερυψηλή πίεση προκάλεσε μείωση της προσκολλησιμότητας των γιαουρτιών. Συγκεκριμένα, με εφαρμογή πίεσης 200 MPa παρατηρήθηκε μείωση κατά 0.207 N·s (πλήρες γάλα) και κατά 0.135 N·s (ημιαποβουτυρωμένο γάλα), ενώ όταν εφαρμόστηκε πίεση 600 MPa, η προσκολλησιμότητα αντίστοιχα μειώθηκε κατά 0.229 N·s και 0.143 N·s.

Τέλος, τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία οδήγησαν σε θετικά αποτελέσματα σχετικά με το χρόνο ζύμωσης. Στα γιαούρτια από πλήρες γάλα ο χρόνος μειώθηκε κατά 90 min, ενώ σε εκείνα από ημιαποβουτυρωμένο γάλα υπήρξε μείωση κατά 105 min. Επίσης, αυξήθηκε ο ρυθμός μεταβολής του pH κατά τη ζύμωση και των δύο ειδών γιαουρτιού, ενώ μειώθηκε η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του. Δεν παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση στις υπόλοιπες ιδιότητες του γιαουρτιού.

Abstract

The present thesis was conducted in in the laboratory of Food Chemistry and Technology of the National Technical University of Athens. The experiments were performed during the spring semester and the winter semester of the academic year 2019-2020. The purpose of this work was the preparation of set yogurt and the study of the effects of several factors on the fermentation parameters and on the properties of the final product. Initially, the effect of the milk type (whole: 3.5% fat content/semi-skimmed: 1.5% fat content) and the different heat treatment (95°C-5 min/83°C-20 min) to which it was subjected, were studied. Then, the effects of the application of High Intensity Ultrasound (US, 37 kHz-10 min), of the addition of probiotic bacteria, of the application, of ultra-high pressure (UHP) using two different values (200 MPa-5 min / 600 MPa-5 min) before milk's heat treatment and of the application of pulsed electric fields (PEF, n=100 pulses, τ=15 μs, f=20 Hz, E=1.8kV/cm), before milk's heat treatment, were studied. The fermentation process was monitored through the change of pH and viscosity of the gel over time and was considered complete as soon as the pH reached a value equal to 4.5. The effect of the above factors on pH's reduction rate, the latent phase of pH, the rate of increase of viscosity and the latent phase of viscosity were examined. These parameters were calculated by the Gompertz 4-parameter model. Also, the effects of the mentioned factors on the fermentation time and on the viscosity of the yoghurt as soon as the fermentation was completed (at a temperature of 45°C) were studied. In the final yogurt products, after storage at 45°C for 24h, the following properties were studied: viscosity, gel's water holding capacity and objective texture parameters (hardness, consistency and adhesion).

The rate of decrease of pH was higher (by absolute value) in yogurts produced from whole milk. Also, yogurts that had been mildly heat treated (83°C-20 min) showed a higher rate of pH reduction than those that had been subjected to intense heat treatment (95°C-5 min). The latent phase of pH was shorter when fermentation was performed using whole milk. Specifically, in whole milk yogurts it was shorter by 75 min (in experiments with mild heat treatment) and by 63 min (in experiments with intense heat treatment), compared to yogurts produced with semi-skimmed milk. The type of milk also affected the duration of viscosity's latent phase. In whole milk yogurts its duration was reduced by 87 min (mild heat treatment) and by 91 min (intense heat treatment) compared to that of yogurts with lower fat content. As for the viscosity at the end of the fermentation, it increased by 1500 cP (mild heat treatment) and 1532 cP (intense heat treatment) when whole milk was used, while it improved by increasing the intensity of heat treatment by 1458 cP (whole milk) and by 1426 cP (semi-skimmed milk). Finally, the gel's water holding capacity increased by 7% when whole milk was used and by 6% when intense heat treatment was applied.

The addition of probiotic bacteria resulted in a 30 min reduction of the fermentation time in both whole and semi-skimmed milk yogurts. Also, the viscosity after the completion of fermentation was increased in yogurts with probiotic bacteria by 952 cP (whole milk) and by 838 cP (semi-skimmed milk). Moreover, there was observed improvement in their final viscosity (after 24h storage at 4°C) by 8169 cP and 7567 cP respectively. The addition of probiotic bacteria also affected the adhesion of yogurt by increasing it by 0.135 N·s in whole milk yogurts and by 0.119 N·s in semi-skimmed milk yogurts.

With the application of ultrasound, a much higher viscosity was achieved. The largest increase was observed in the viscosity of yogurts to which ultrasound was applied during fermentation. In particular, as soon as the fermentation was completed, the viscosity was increased in whole milk yogurts by: 69 cP (US before fermentation), 4722 cP (US during fermentation) and 1052 cP (US after fermentation). For semi-skimmed milk yogurts, the gel's viscosity was increased by 492 cP, 4169 cP and 568 cP respectively. An increase was also noted in the final viscosity of yogurts (after 24h storage at 4°C). In experiments using whole milk, there was an increase of: 13162 cP (US before fermentation), 19814 cP (US during fermentation) and 3114 cP (US after fermentation). For yogurts produced from semi-skimmed milk, the corresponding increases were 4502 cP, 16827 cP and 6044 cP. The application of ultrasound during fermentation led to higher viscosity values, but caused a slightly reduced water holding capacity, possibly due to disturbances in the gel. Also, a negative effect of the ultrasound method is that it increases the fermentation time. In whole milk yogurts there was noted an increase by 70 min (US before fermentation), by 160 min (US during fermentation) and by 15 min (US after fermentation). In yogurts from semi-skimmed milk the corresponding increases in fermentation time were 80 min, 150 min and 160 min. In conclusion, the best ultrasound method was the application before fermentation, as it produced a significant increase in viscosity, a smaller increase in fermentation time than observed when ultrasound was applied during fermentation and a virtually unchanged water holding capacity.

The application of ultra-high pressure resulted in yogurts with a higher final viscosity. By processing the milk at 200 MPa, this property increased by 21318 cP (whole milk) and by 14305 cP (semi-skimmed milk), while at a pressure of 600 MPa, the corresponding increase was 23902 cP and 13116 cP. In addition, the ultra-high pressure caused a decrease in the adhesion of the yogurts. By applying 200 MPa, a decrease of 0.207 (whole milk) N·s and 0.135 N·s (semi-skimmed milk) was observed and after application of 600 MPa the adhesion decreased by 0.229 N·s and 0.143 N·s, respectively.

At last, the application of pulsed electric field led to positive results regarding the fermentation time. In yogurts produced from whole milk the fermentation lasted 90 min less, while in those from semi-skimmed milk there was a reduction in the fermentation time by

105 min. Also, pH's reduction rate increased and the duration of its latent phase decreased for both types of yogurt. No significant effects were observed on the other properties of yogurt.

Περιεχόμενα

1 Θεωρητικό Μέρος 18
1.1 Εισαγωγή 18
1.2 Ιστορική Αναδρομή 19
1.3 Ορισμοί 20
1.4 Σύσταση του γάλακτος 21
1.4.1 Νερό 22
1.4.2 Πρωτεΐνες 22
1.4.3 Λιπαρά 24
1.4.4 Υδατάνθρακες 26
1.4.5 Μεταλλικά/Ανόργανα Στοιχεία 27
1.4.6 Ένζυμα 27
1.4.7 Βιταμίνες 27
1.5 Παραγωγική Διαδικασία Γιαουρτιού 29
1.5.1 Παραδοσιακή μέθοδος 29
1.5.2 Παραλαβή - Αποθήκευση - Επεξεργασία νωπού γάλακτος 31
1.5.3 Τυποποίηση Λιπαρών 31
1.5.4 Τυποποίηση Στερεών Υπολειμμάτων Άνευ Λίπους (Σ.Υ.Α.Λ.) 32
1.5.5 Βρασμός 32
1.5.6 Προσθήκη σκόνης γάλακτος 33
1.5.7 Προσθήκη σκόνης βουτυρογάλακτος 33
1.5.8 Προσθήκη Σκόνης/Συμπυκνώματος Ορού Γάλακτος 34
1.5.9 Προσθήκη στερεών καζεϊνών 35
1.5.10 Εξάτμιση υπό κενό 35
1.5.11 Προσθήκη σταθεροποιητών 36
1.5.12 Προσθήκη γλυκαντικών 38
1.5.13 Προσθήκη συντηρητικών 40
1.5.14 Ομογενοποίηση 40
1.5.15 Θερμική Κατεργασία 41

1.5.16 Εμβολιασμός – Ζύμωση 44
1.5.17 Γαλακτικά βακτήρια 45
1.5.18 Σχηματισμός πήγματος 49
1.5.19 Μοντέλο Gompertz 50
1.5.20 Ψύξη 51
1.5.21 Προσθήκη φρούτων/αρωματικών/βελτιωτικών γεύσης 52
1.5.22 Συσκευασία 53
1.6 Είδη γιαουρτιού 54
1.6.1 Συνεκτικό (set) γιαούρτι 54
1.6.2 Αναμεμιγμένο (stirred) γιαούρτι 55
1.6.3 Στραγγιστό (strained) γιαούρτι 56
1.6.4 Άλλα προϊόντα γιαουρτιού 56
1.7 Θρεπτική αξία γιαουρτιού 57
1.7.1 Υδατάνθρακες 58
1.7.2 Πρωτεΐνες 59
1.7.3 Λιπαρά 60
1.7.4 Βιταμίνες και ανόργανα συστατικά 60
1.7.5 Γιαούρτι και οφέλη για την υγεία 62
1.8 Φυσικές ιδιότητες γιαουρτιού 63
1.8.1 Συνεκτικότητα 64
1.8.2 Ιξώδες αναμεμιγμένου γιαουρτιού 65
1.8.3 Συναίρεση 66
1.9 Χρήση καινοτόμων μεθόδων στην παραγωγή γιαουρτιού 67
1.9.1 Εφαρμογή υπερήχων (High Intensity Ultrasound) 67
1.9.2 Εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης (Ultra-High Pressure, UHP) 69
1.9.3 Εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (Pulsed Electric Field, PEF) 71
1.9.4 Μικρορευστοποίηση (Microfluidization) 72
1.9.5 Προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων 75
2 Πειραματικό Μέρος 77

2.1 Σκοπός 77
2.2 Υλικά και μέθοδοι 78
2.2.1 Πρώτες ύλες 78
2.2.2 Όργανα και συσκευές 78
2.3 Πειραματική διαδικασία 79
2.3.1 Παραγωγή γιαουρτιού 79
2.3.2 Εφαρμογή υπερήχων 79
2.3.3 Προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων 80
2.3.4 Εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης 80
2.3.5 Εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων 81
2.4 Δειγματοληψία και αναλύσεις 81
2.4.1 Προσδιορισμός pH 81
2.4.2 Προσδιορισμός ιξώδους 81
2.4.3 Προσδιορισμός ικανότητας συγκράτησης ύδατος του γιαουρτιού 82
2.4.4 Ανάλυση υφής 82
2.5 Σχεδιασμός πειραμάτων 84
3 Αποτελέσματα – επεξεργασία 86
3.1 Εισαγωγή 86
3.2 Μελέτη επίδρασης είδους γάλακτος και θερμικής του κατεργασίας 86
3.2.1 Χρόνος ζύμωσης 86
3.2.2 Μεταβολή pH και ιξώδους κατά τη διάρκεια της ζύμωσης 88
3.2.3 Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH και λανθάνουσα φάση pH 91
3.2.4 Μέγιστος ρυθμός μεταβολής ιξώδους και λανθάνουσα φάση ιξώδους 93
3.2.5 Ιξώδες στους 45°C 95
3.2.6 Ιξώδες 24h (στους 4°C) 96
3.2.7 Ικανότητα συγκράτησης ύδατος 97
3.2.8 Ανάλυση αντικειμενικής υφής Σκληρότητα, Συνεκτικότητα, Προσκολλησιμότητα 98
3.3 Εφαρμογή υπερήχων (US) 101

3.3.1 Χρόνος ζύμωσης γιαουρτιών με εφαρμογή US 101

3.3.2 Μεταβολή pH και ιξώδους κατά τη διάρκεια της ζύμωσης γιαουρτιών με εφαρμογή US 102

3.3.3 Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH και λανθάνουσα φάση pH των γιαουρτιών με εφαρμογή US 106

3.3.4 Μέγιστος ρυθμός μεταβολής ιξώδους και λανθάνουσα φάση ιξώδους γιαουρτιών με εφαρμογή US 108

3.3.5 Ιξώδες στους 45°C γιαουρτιών με εφαρμογή US 111

3.3.6 Ιξώδες 24h (στους 4°C) γιαουρτιών με εφαρμογή US 112

3.3.7 Ικανότητα συγκράτησης ύδατος γιαουρτιών με εφαρμογή US 113

3.3.8 Ανάλυση αντικειμενικής υφής γιαουρτιών με εφαρμογή US: Σκληρότητα, Συνεκτικότητα, Προσκολλησιμότητα 115

3.4 Γιαούρτι με προβιοτικά βακτήρια 119

3.4.1 Χρόνος ζύμωσης γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια 119

3.4.2 Μεταβολή pH και ιξώδους κατά τη διάρκεια της ζύμωσης γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια 120

3.4.3 Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH και λανθάνουσα φάση pH των γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια 121

3.4.4 Μέγιστος ρυθμός μεταβολής ιξώδους και λανθάνουσα φάση ιξώδους των γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια 123

3.4.5 Ιξώδες στους 45°C γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια 124

3.4.6 Ιξώδες 24h (στους 4°C) γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια 125

3.4.7 Ικανότητα συγκράτησης ύδατος γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια 126

3.4.8 Ανάλυση αντικειμενικής υφής γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια: Σκληρότητα, Συνεκτικότητα, Προσκολλησιμότητα 127

3.5 Εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης (UHP) 130

3.5.1 Χρόνος ζύμωσης γιαουρτιών με εφαρμογή UHP 130

3.5.2 Μεταβολή pH κατά τη διάρκεια της ζύμωσης γιαουρτιών με εφαρμογή UHP 131

3.5.3 Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH και λανθάνουσα φάση pH των γιαουρτιών με εφαρμογή UHP 134

3.5.4 Ιξώδες στους 45°C γιαουρτιών με εφαρμογή UHP 135
3.5.5 Ιξώδες 24h (στους 4°C) γιαουρτιών με εφαρμογή UHP 136
3.5.6 Ικανότητα συγκράτησης ύδατος γιαουρτιών με εφαρμογή UHP 138
3.5.7 Ανάλυση αντικειμενικής υφής γιαουρτιών με εφαρμογή UHP: Σκληρότητα, Συνεκτικότητα, Προσκολλησιμότητα 139
3.6 Εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF) 142
3.6.1 Χρόνος ζύμωσης γιαουρτιών με εφαρμογή PEF 142
3.6.2 Μεταβολή pH κατά τη διάρκεια της ζύμωσης γιαουρτιών με εφαρμογή PEF143
3.6.3 Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH και λανθάνουσα φάση pH των γιαουρτιών με εφαρμογή PEF 145
3.6.4 Ιξώδες στους 45°C γιαουρτιών με εφαρμογή PEF 146
3.6.5 Ιξώδες 24h (στους 4°C) γιαουρτιών με εφαρμογή PEF 147
3.6.6 Ικανότητα συγκράτησης ύδατος γιαουρτιών με εφαρμογή PEF 148
3.6.7 Ανάλυση αντικειμενικής υφής γιαουρτιών με εφαρμογή PEF: Σκληρότητα, Συνεκτικότητα, Προσκολλησιμότητα 149
3.7 Ανάλυση κύριων συνιστωσών (Principal Component Analysis – PCA) 152
4 Συμπεράσματα – προτάσεις 155
Βιβλιογραφία 157
Παράρτημα i
Π.1 Πίνακες στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τις διάφορες παραμέτρους των συμβατικών γιαουρτιών i
Π.2 Πίνακες στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τις διάφορες παραμέτρους των γιαουρτιών με προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων vi
Π.3 Πίνακες στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τις διάφορες παραμέτρους των γιαουρτιών στα οποία εφαρμόστηκαν υπέρηχοι xi
Π.4 Πίνακες στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τις διάφορες παραμέτρους των γιαουρτιών στα οποία εφαρμόστηκε υπερυψηλή πίεση xv
Π.5 Πίνακες στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τις διάφορες παραμέτρους των γιαουρτιών στα οποία εφαρμόστηκαν παλμικά ηλεκτρικά πεδία xviii

1 Θεωρητικό Μέρος

1.1 Εισαγωγή

Το γάλα είναι ένα σύνθετο βιολογικό υγρό, το οποίο εκκρίνεται από τους μαστικούς αδένες των θηλαστικών ζώων και προορίζεται για τη διατροφή των νεογνών τους, αφού παρέχει τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξή τους (Varnam and Sutherland, 1994).

Μπορεί να καταναλωθεί είτε αυτούσιο, είτε να υποστεί επεξεργασία και να μετατραπεί σε κάποιο γαλακτοκομικό προϊόν. Η σύσταση και τα χαρακτηριστικά του διαφέρουν ανάλογα με το είδος του θηλαστικού και τις ανάγκες του νεογνού. Το γάλα περιέχει ως κύριο συστατικό το νερό, ενώ περιέχει και πρωτεΐνες, λιπίδια, υδατάνθρακες, καθώς και μικρές ποσότητες από ανόργανα άλατα, οργανικά οξέα, βιταμίνες και άλλες υδατοδιαλυτές και λιποδιαλυτές ουσίες (Varnam and Sutherland, 1994).

Το γάλα εμφανίζει μεγάλη ευαισθησία σε παθογόνους μικροοργανισμούς, αλλά και σε μεταβολές των συνθηκών του περιβάλλοντος (π.χ. θερμοκρασία), για αυτό και κατά την αρχαιότητα, ελλείψει των σημερινών τεχνικών, ήταν αναγκαία η μετατροπή του σε κάποιο ανθεκτικότερο προϊόν. Έτσι δημιουργήθηκαν τα ζυμωμένα προϊόντα γάλακτος, ένα από τα οποία αποτελεί και το γιαούρτι. Πέραν από το μεγαλύτερο χρόνο ζωής, τα ζυμωμένα προϊόντα γάλακτος παρουσιάζουν και άλλα πλεονεκτήματα, όπως καλύτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (γεύση, υφή, άρωμα) σε σχέση με το γάλα και υψηλή θρεπτική αξία. Αυτά, σε συνδυασμό με τη μεγάλη ποικιλία προϊόντων που μπορούν να παραχθούν, αποτελούν τους κύριους λόγους για τους οποίους η παραγωγή ζυμωμένων προϊόντων γάλακτος είναι τόσο διαδεδομένη.

Για την παραγωγή γιαουρτιού απαιτείται γάλα από οποιοδήποτε γαλακτοφόρο ζώο και μία καλλιέργεια συγκεκριμένων βακτηρίων με πιο γνωστά τα *Lactobacillus bulgaricus* και *Streptococcus thermophilus.* Η βασική δράση που διέπει τη μετατροπή του γάλακτος σε γιαούρτι είναι ο μεταβολισμός της λακτόζης από τα παραπάνω βακτήρια προς γαλακτικό οξύ, επιφέροντας μείωση στο pH του γάλακτος και αύξηση στο ιξώδες του, μετατρέποντάς το τελικά σε γιαούρτι.

Σήμερα, δύο είναι οι κύριοι τύποι γιαουρτιού που παράγονται σε βιομηχανική κλίμακα: το συνεκτικό (set) και το αναμεμιγμένο/στραγγιστό (stirred). Επίσης, σε κάποιες περιπτώσεις γίνεται προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων λόγω των ευεργετικών τους ιδιοτήτων για την υγεία, εμπλουτισμός του γιαουρτιού με φρούτα, ξηρούς καρπούς και άλλα τρόφιμα προς βελτίωση της γεύσης ή και ενίσχυση με στοιχεία όπως ασβέστιο, πρωτεΐνες και βιταμίνες με στόχο τη βελτίωση της διατροφικής του αξίας. Επομένως, από τα

παραπάνω είναι προφανές ότι το γιαούρτι στη σημερινή εποχή αποτελεί τη βάση για την παραγωγή μεγάλης ποικιλίας προϊόντων.

1.2 Ιστορική Αναδρομή

Υπολογίζεται ότι η κατανάλωση γάλακτος και γαλακτοκομικών προϊόντων λαμβάνει χώρα εδώ και χιλιάδες χρόνια και πιθανολογείται ότι ξεκίνησε περίπου το 10000 με 5000 π.Χ., κατά την περίοδο δηλαδή στην οποία ο άνθρωπος άρχισε να εξημερώνει γαλακτοπαραγωγά ζώα (Fisberg and Machado, 2015).

Διάφορα αρχαιολογικά ευρήματα υποδηλώνουν κατανάλωση γαλακτοκομικών προϊόντων από την αρχαιότητα. Στη Σαχάρα έχουν βρεθεί σχέδια σε πέτρες οι οποίες χρονολογούνται το 4000 π.Χ. και απεικονίζουν γαλακτοκομικές δραστηριότητες. Επίσης, σε αιγυπτιακούς τάφους του 2300 π.Χ. έχουν βρεθεί ίχνη τυριού. Επιπλέον, σε πολλές περιόδους της ιστορίας φαίνεται ότι το γάλα και τα προϊόντα του αποτελούσαν σημαντικό κομμάτι της διατροφής. Κατά το Μεσαίωνα στην περιοχή της Ευρώπης τα προϊόντα αυτά κατείχαν εξέχουσα θέση στη διατροφή του ανθρώπου, αν και κατά τόπους υπήρχαν διαφορετικές προτιμήσεις. Για παράδειγμα, στη Ρώμη και στην Ελλάδα καταναλωνόταν κυρίως τυρί, ενώ στην κεντρική Ευρώπη αλλά και στην Ασία φρέσκο γάλα και βούτυρο. Αναφορά που χρονολογείται το 13ο αιώνα από το Μάρκο Πόλο, ο οποίος είχε ταξιδέψει στην Κίνα, αναφέρεται σε ένα ζυμωμένο γάλα, πιθανώς το σημερινό «koumiss» (Miller, Jarvis and McBean 2007).

Η διεργασία της ζύμωσης αποτελούσε για χιλιάδες χρόνια, πέραν της ξήρανσης, τη μόνη δυνατή επεξεργασία για αύξηση της διατηρησιμότητας του γάλακτος, αφού προσέδιδε μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε παθογόνους μικροοργανισμούς και υψηλές θερμοκρασίες. Θεωρείται ότι η ζύμωση ανακαλύφθηκε τυχαία, όταν νομαδικοί λαοί της Μέσης Ανατολής αποθήκευαν το γάλα σε συσκευασίες φτιαγμένες από έντερα ζώων και παρατήρησαν ότι η επαφή με τα στομαχικά υγρά προκαλούσε πήξη και οξίνισή του, επιμηκύνοντας έτσι το χρόνο ζωής του (Fisberg and Machado, 2015).

Η ετυμολογία της λέξης γιαούρτι πιστεύεται ότι έχει τις ρίζες της στην τουρκική λέξη «yoğurmak», η οποία σημαίνει πήξη, πύκνωση. Ο Genghis Khan, ιδρυτής της μογγολικής αυτοκρατορίας θεωρείται ότι έδινε στους στρατιωτικούς του γιαούρτι, καθώς θεωρείτο ότι τους προσέδιδε γενναιότητα. Οι Τούρκοι μάλιστα, ήταν ο πρώτος λαός που αντιλήφθηκε τα ιατρικά οφέλη του γιαουρτιού, το οποίο συχνά χορηγούσαν για αντιμετώπιση διάρροιας, κραμπών και εγκαυμάτων (Fisberg and Machado, 2015).

Στις αρχές του 20ου αιώνα ανακαλύφθηκε το βακτήριο *Bacillus bulgaricus,* το οποίο χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα στην παραγωγή γιαουρτιού. Την περίοδο αυτή το γιαούρτι πωλείτο ως φάρμακο στα φαρμακεία. Η πρώτη εμπορική επιτυχία ως προϊόν συνέβη στη Βαρκελώνη, όταν άρχισε να πωλείται μαζί με μαρμελάδα. Το πρώτο εργοστάσιο γιαουρτιού άνοιξε στη Γαλλία το 1932, ενώ στις ΗΠΑ το 1941 (Fisberg and Machado, 2015).

1.3 Ορισμοί

Σύμφωνα με τον ελληνικό Κώδικα Τροφίμων και Ποτών (άρθρο 80, 2016) το γάλα είναι «*το απαλλαγμένο από πρωτόγαλα προϊόν του ολοσχερούς, χωρίς διακοπή αρμέγματος υγιούς γαλακτοφόρου ζώου, που ζει και τρέφεται υπό υγιεινούς όρους και που δεν βρίσκεται σε κατάσταση υπερκόπωσης.*

Με τον όρο «γάλα» απλά, χωρίς να συνοδεύεται αυτό από κάποιο επίθετο, νοείται αποκλειστικά και μόνο το γάλα το οποίο:

α) Προέρχεται από αγελάδα.

β) Είναι νωπό.

γ) Είναι πλήρες.

δ) Δεν έχει υποστεί αφυδάτωση ή συμπύκνωση.

ε) Δεν περιέχει άλλες ύλες που έχουν προστεθεί από έξω».

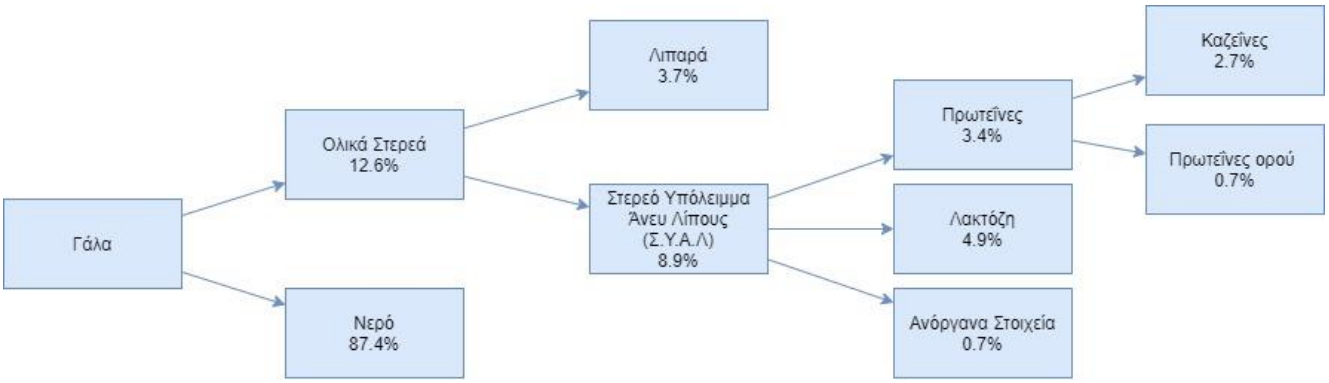
Επίσης, το γιαούρτι ορίζεται στον ελληνικό Κώδικα Τροφίμων και Ποτών (άρθρο 82, 2016) ως εξής:

«Γιαούρτι χαρακτηρίζεται το γαλακτοκομικό προϊόν το οποίο παράγεται από τη ζύμωση και πήξη του γάλακτος, με τη χρήση υποχρεωτικά των καλλιεργειών - εκκινητών Streptococcus salivarious 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».

1.4 Σύσταση του γάλακτος

Το γάλα είναι ένα πολύπλοκο βιολογικό υγρό το οποίο αποτελείται κυρίως από νερό, πρωτεΐνες, λιπίδια και υδατάνθρακες. Λόγω της βιολογικής του προέλευσης περιέχει επίσης και ανόργανα άλατα, οργανικά οξέα, βιταμίνες και άλλες υδατοδιαλυτές και λιποδιαλυτές ουσίες (Chandan, 2006). Στην πραγματικότητα, υπολογίζεται ότι στο γάλα υπάρχουν περίπου 10^5 διαφορετικά είδη μορίων (Jenness, 1988).

Στην εικόνα 1.4.1 παρατίθεται η μέση (%w/w) περιεκτικότητα των συστατικών αυτών στο αγελαδινό γάλα.



Εικόνα 1.4.1 - Μέση περιεκτικότητα συστατικών γάλακτος (Kaliasapathy 2008)

Η σύσταση του γάλακτος επηρεάζεται από αρκετούς παράγοντες, όπως είναι το στάδιο του κύκλου θηλασμού, το διάστημα μεταξύ των αμέλξεων, η τροφή του ζώου, οι περιβαλλοντικές συνθήκες, καθώς και το είδος του ζώου (Chandan, 2006). Στον πίνακα 1.4.1 παρουσιάζεται η σύσταση του γάλακτος που παράγεται από διάφορα είδη γαλακτοφόρων ζώων.

Πίνακας 1.4.1 - Σύσταση γάλακτος διαφόρων ειδών θηλαστικών (Kaliasapathy 2008)

Ζώο	Νερό (g/100g)	Λιπαρά (g/100g)	Πρωτεΐνες (g/100g)	Λακτόζη (g/100g)	Τέφρα (g/100g)
Γάιδαρος	90.0	1.3	1.7	6.5	0.5
Βουβάλι	84.2	6.6	3.2	5.2	0.8
Καμήλα	86.5	3.1	4.0	5.6	0.6
Αγελάδα	86.6	4.6	3.4	4.9	0.5
Πρόβατο	79.4	8.6	6.7	4.3	1.0
Γίδα	86.5	4.5	3.5	4.7	0.8
Άνθρωπος	87.7	3.6	1.8	6.8	0.1
Άλογο	89.1	1.6	2.7	6.1	0.5
Ινδικός Βους	82.7	6.5	5.8	4.6	0.8

Παρακάτω παρέχονται πληροφορίες για καθένα από τα κύρια συστατικά του γάλακτος.

1.4.1 Νερό

Το νερό αποτελεί το βασικό συστατικό του γάλακτος και είναι το μέσο στο οποίο περιέχονται διαλυμένα ή διεσπαρμένα τα συστατικά του. Η περιεκτικότητα του γάλακτος σε νερό ποικίλλει και κυμαίνεται μεταξύ 79% με 90%, ανάλογα με το είδος του ζώου. Μικρές ποσότητες νερού ενυδατώνουν ή συνδέονται χημικά με τη λακτόζη, τα άλατα και τις πρωτεΐνες (Kailasapathy, 2008).

1.4.2 Πρωτεΐνες

Οι πρωτεΐνες αποτελούν περίπου το 3.5% της κατά βάρος σύστασης του γάλακτος. Διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: στις καζεΐνες και στις πρωτεΐνες ορού γάλακτος. Οι πρωτεΐνες του γάλακτος χαρακτηρίζονται από υψηλή θρεπτική αξία, διότι είναι πλούσιες σε απαραίτητα αμινοξέα, σε αυτά δηλαδή τα οποία δεν μπορεί να συνθέσει από μόνος του ο ανθρώπινος οργανισμός (Chandan, 2006).

Καζεΐνες

Οι καζεΐνες αποτελούν περίπου το 80% των πρωτεϊνών του γάλακτος (Varnam and Sutherland, 1994). Είναι σχετικά μικρές και πλούσιες σε υδρόφοβα αμινοξέα. Χαρακτηρίζονται από σχετική ευλυγισία και έλλειψη δευτεροταγούς δομής. Στο γάλα βρίσκονται με τη μορφή συσσωματωμάτων, τα οποία ονομάζονται μικκύλια καζεΐνης. Αυτά είναι διεσπαρμένα ως κολλοειδή σε υδατική φάση. Διαχωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες, στις a_{s1}-, a_{s2}-, β-, και κ- καζεΐνες σε ποσοστά 38%, 10%, 35% και 12% αντίστοιχα (Fox, 2003). Οι τρεις πρώτες ομάδες και λιγότερο η τελευταία είναι φωσφορυλιωμένες, καθώς στο αμινοξύ τους σερίνη συνδέεται φωσφόρος σχηματίζοντας τις φωσφοσερίνες, οι οποίες συνδέονται ισχυρά με ιόντα ασβεστίου προσδίδοντας σταθερότητα στα μικκύλια (De Kruif and Holt, 2003). Σε θερμοκρασίες μέχρι και 140°C τα μικκύλια παραμένουν σταθερά. Σε pH=4.6 και σε θερμοκρασία δωματίου παρατηρείται καθίζηση των καζεϊνών, που σημαίνει ότι αυτό αποτελεί το ισοηλεκτρικό τους σημείο. Η ιδιότητά τους αυτή χρησιμοποιείται στην παραγωγή του γιαουρτιού (Fox, 2003).

Πρωτεΐνες ορού γάλακτος

Με τον όρο «πρωτεΐνες ορού γάλακτος» εννοείται μία ομάδα πρωτεϊνών αποτελούμενη κυρίως από τη β-λακτοσφαιρίνη, την α-λακταλβουμίνη, την αλβουμίνη ορού, τις ανοσοσφαιρίνες, τις πρωτεάσες-πεπτόνες, καθώς και πληθώρα ενζύμων. Οι περισσότερες από τις πρωτεΐνες αυτές σχηματίζουν δευτεροταγείς, τριτοταγείς, σε κάποιες περιπτώσεις ακόμα και τεταρτοταγείς δομές, αποκτώντας έτσι σφαιρικό σχήμα. Σε σχέση με τις καζεΐνες είναι πιο εύκολα διαλυτές, αλλά και πιο επιρρεπείς στη μετουσίωση λόγω του σφαιρικού τους σχήματος (Chandan, 2006).

Οι β-λακτοσφαιρίνες αποτελούν περίπου το 50% των πρωτεϊνών ορού γάλακτος και το 10-12% των συνολικών πρωτεϊνών στο γάλα. Είναι πλούσιες σε αμινοξέα που περιέχουν θείο, κάτι που τους προσδίδει μεγάλη βιολογική αξία. Στο pH του γάλακτος εμφανίζονται με τη μορφή διμερών. Εκτιμάται ότι ο βιολογικός ρόλος των β-λακτοσφαιρινών είναι η μεταφορά της βιταμίνης Α από το στομάχι στο λεπτό έντερο.

Οι α-λακταλβουμίνες αποτελούν περίπου το 20% των πρωτεϊνών ορού γάλακτος. Το μόριό τους είναι σφαιρικό, ισχυρά αναδιπλωμένο, για αυτό και είναι πιο ανθεκτικές από τις υπόλοιπες πρωτεΐνες ορού γάλακτος σε θερμική κατεργασία. Ο βιολογικός τους ρόλος έγκειται στη συμμετοχή τους ως συνένζυμα στην παραγωγή λακτόζης στους μαστικούς αδένες.

Η αλβουμίνη ορού απαντάται σε μικρά ποσοστά στο γάλα και εισέρχεται σε αυτό μέσω του αίματος. Το μόριό της χαρακτηρίζεται από μεγάλο μέγεθος και περιέχει υδρόφοβα κέντρα, στα οποία συνδέονται μικρά υδρόφοβα μόρια, όπως τα λιπαρά οξέα.

Οι ανοσοσφαιρίνες είναι αντισώματα τα οποία παράγονται όταν ανιχνευθεί ξένο αντιγόνο, προστατεύοντας έτσι τον οργανισμό από πιθανή μόλυνση. Χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, τις IgG, IgA και IgM (Fox and McSweeney, 1998; Chandan, 2006).

Στον πίνακα 1.4.2 απεικονίζονται οι πρωτεΐνες του γάλακτος και η περιεκτικότητά τους.

Πίνακας 1.4.2 - Πρωτεΐνες γάλακτος (Walstra, Wouters and Geurts, 2006)

Πρωτεΐνη	mmol/m³ γάλακτος	g/kg γάλακτος	g/100 g πρωτεΐνης	Μοριακή μάζα
Καζεΐνη	1120	26	78,3	-
α_{s1}-καζεΐνη	450	10,7	32	~23600
α_{s2}-καζεΐνη	110	2,8	8,4	~25200
β-καζεΐνη	360	8,6	26	23983
κ-καζεΐνη	160	3,1	9,3	~19550
γ-καζεΐνη	40	0,8	2,4	~20500
Πρωτεΐνες Ορού	320	6,3	19	-
β-λακτοσφαιρίνη	180	3,2	9,8	18283
α-λακταλβουμίνη	90	1,2	3,7	14176
Αλβουμίνη Ορού	6	0,4	1,2	66267
Πρωτεάση-πεπτόνη	40	0.8	2.4	4000-40000
Ανοσοσφαιρίνες	4	0,8	1,8	-
IgGl, IgG2	-	0,65	0,4	~150000
IgA	-	0,14	0,2	~385000
IgM	-	0,05	2,7	~900000
Άλλες	-	0,9	-	-
Λακτοσφαιρίνη	1	0,1	-	86000
Τρανσφερίνη	1	0,01	2	76000
Πρωτεΐνες Μεμβράνης	-	0,7	-	-
Ένζυμα	-	-	-	-

1.4.3 Λιπαρά

Το αγελαδινό γάλα περιέχει κατά μέσο όρο 3.5% λιπαρά, η περιεκτικότητα αυτή όμως μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τη ράτσα, την υγεία, τη διατροφή, την ηλικία του γαλακτοφόρου ζώου, ενώ μπορεί να επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες όπως η εποχή, η γεωγραφική τοποθεσία, το στάδιο του θηλασμού και τα διαστήματα μεταξύ κάθε θηλασμού (Fox and McSweeney, 2003).

Τα λιπαρά του γάλακτος χρησιμεύουν κυρίως ως πηγή ενέργειας για τα νεογνά. Αποτελούν επίσης σημαντική πηγή βασικών λιπαρών οξέων και λιποδιαλυτών βιταμινών, ενώ προσδίδουν μοναδικά χαρακτηριστικά στη γεύση, στο άρωμα, στην υφή και στις ρεολογικές ιδιότητες του γάλακτος και των γαλακτοκομικών προϊόντων (Fox and McSweeney, 2003).

Στο γάλα τα λιπίδια απαντώνται με τη μορφή σφαιριδίων διαμέτρου 0.1 με 20 μm. Περιβάλλονται από μία πολυστρωματική μεμβράνη αποτελούμενη από φωσφολιπίδια,

πρωτεΐνες, ένζυμα και άλλα συστατικά (Chandan, 2006). Από τα λιπίδια του γάλακτος, το 97-98% αποτελείται από τριγλυκερίδια, ενώ σε μικρότερα ποσοστά απαντώνται επίσης διγλυκερίδια, χοληστερόλη, ελεύθερα λιπαρά οξέα και φωσφολιπίδια. Τα λιπίδια είναι διαλυτά σε μη πολικούς διαλύτες, όπως για παράδειγμα σε αιθυλεστέρα/πετρελαϊκό αιθέρα και σε χλωροφόρμιο/μεθανόλη (Fox and McSweeney, 2003).

Στον πίνακα 1.4.3 παρουσιάζονται τα διάφορα λιπίδια του αγελαδινού γάλακτος και η περιεκτικότητά τους (%w/w) επί των συνολικών λιπιδίων.

Πίνακας 1.4.3 - Είδη λιπιδίων στο γάλα (Fox and McSweeney 2003)

Λιπίδιο	**Περιεκτικότητα (% w/w)**
Τριγλυκερίδια	97.5
Διγλυκερίδια	0.36
Μονογλυκερίδια	0.027
Εστέρες χοληστερόλης	ίχνη
Χοληστερόλη	0.31
Ελεύθερα λιπαρά οξέα	0.027
Φωσφολιπίδια	0.6

Τα λιπαρά οξέα του γάλακτος εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία. Έχουν βρεθεί περισσότερα από 400 διαφορετικά μαζί με τα παράγωγά τους. Παρουσιάζουν μεγάλο εύρος ως προς το μήκος της αλυσίδας, το οποίο κυμαίνεται από 4 (βουτυρικό οξύ) έως 26 άτομα άνθρακα. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που τα καθιστά μοναδικά ανάμεσα στα ζωικά λιπαρά είναι το σχετικά υψηλό ποσοστό των μικρών και μεσαίων αλυσίδων κορεσμένων λιπαρών, δηλαδή αυτών που αποτελούνται από 4 μέχρι 14 άτομα άνθρακα. Επίσης, ποικίλει και ο βαθμός κορεσμού τους, καθώς απαντώνται λιπαρά οξέα που περιέχουν από 0 έως και 4 διπλούς δεσμούς. Περίπου το 62% των λιπαρών οξέων του γάλακτος είναι κορεσμένα, με κυριότερα το παλμιτικό, το στεατικό και το μυριστικό οξύ, το 30% είναι μονοακόρεστα, το 4% πολυακόρεστα, ενώ το υπόλοιπο 4% αποτελείται από άλλα οξέα (minor acids) (Miller, Jarvis and Mcbean, 2000).

Στον πίνακα 1.4.4 παρατίθεται το προφίλ των λιπαρών οξέων του γάλακτος.

Πίνακας 1.4.4 - Περιεκτικότητες των διάφορων λιπαρών οξέων στο γάλα (CreamerandMacGibbon, 1996)

Λιπαρό Οξύ	Κοινή Ονομασία	Περιεκτικότητα (%w/w)
C4:0	βουτυρικό	3.9
C6:0	καπρονικό	2.5
C8:0	καπρυλικό	1.5
C10:0	καπρικό	3.2
C12:0	λαυρικό	3.6
C14:0	μυριστικό	11.1
C14:1	μυριστελαϊκό	0.8
C15:0	-	1.2
C16:0	παλμιτικό	27.9
C16:1	παλμιτελαϊκό	1.5
C18:0	στεατικό	12.2
C18:1 cis	ελαϊκό	17.2
C18:1 trans	-	3.9
C18:2	λινελαϊκό	1.4
C18:2 conj	συζευγμένο λινελαϊκό	1.1
C18:3	α λινελαϊκό	1.0
άλλα οξέα (minor acids)	-	6.0

1.4.4 Υδατάνθρακες

Ο κύριος υδατάνθρακας που απαντάται στο γάλα είναι η λακτόζη, ένας δισακχαρίτης που αποτελείται από γλυκόζη και γαλακτόζη ενωμένες με β-1,4-γλυκοζιτικό δεσμό. Η περιεκτικότητα του αγελαδινού γάλακτος σε λακτόζη είναι κατά μέσο όρο 4.8%. Στη φύση υπάρχει σε τρεις μορφές: κρυσταλλική ένυδρη α-λακτόζη και άνυδρη α- και β-λακτόζη. Πέραν της λακτόζης, στο γάλα υπάρχουν σε μικρές ποσότητες και γλυκόζη, γαλακτόζη και άλλοι ολιγοσακχαρίτες (Chandan, 2006).

Η λακτόζη είναι βασικός παράγοντας στην παραγωγή του γιαουρτιού, αφού αποτελεί το υπόστρωμα για την ανάπτυξη των γαλακτικών βακτηρίων, τα οποία τη μετατρέπουν σε γαλακτικό οξύ. Η αντίδραση αυτή, λόγω της μείωσης του pH, βοηθά επίσης στην εξουδετέρωση των περισσότερων παθογόνων μικροοργανισμών που αναπτύσσονται στο γάλα. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρόλο που μόνο το ένα τρίτο της λακτόζης μεταβολίζεται από τα γαλακτικά βακτήρια, τα άτομα με δυσανεξία στη λακτόζη συνήθως καταναλώνουν χωρίς πρόβλημα γιαούρτι και προϊόντα στα οποία έχει γίνει ζύμωση του γάλακτος, φαινόμενο του οποίου τα αίτια ακόμα διερευνώνται (Varnam and Sutherland, 1994; Chandan, 2006).

1.4.5 Μεταλλικά/Ανόργανα Στοιχεία

Το γάλα είναι σημαντική πηγή ανόργανων στοιχείων, όπως ασβέστιο, φωσφόρο, μαγνήσιο και κάλιο. Αυτά απαντώνται σε πολύ μικρές περιεκτικότητες (0.7-0.8%) και η κατανομή τους στο γάλα γίνεται μεταξύ της κολλοειδούς και της υδατικής φάσης. Η διατροφική τους αξία θεωρείται ιδιαίτερα υψηλή. Συγκεκριμένα, το ασβέστιο παίζει σημαντικό ρόλο στην υγεία των οστών, στην πήξη του αίματος και στη λειτουργία των μυών και της καρδιάς. Ο φωσφόρος είναι απαραίτητος για την ομαλή λειτουργία του μεταβολισμού, ενώ το μαγνήσιο ενεργοποιεί διάφορα ένζυμα του οργανισμού, συμμετέχει στη δημιουργία πρωτεϊνών από αμινοξέα και παίζει ρόλο στο μεταβολισμό λιπιδίων και υδατανθράκων. Τέλος, το κάλιο συνεισφέρει στη μεταβίβαση νευρικών σημάτων και βοηθά στον έλεγχο των μυϊκών συσπάσεων.

Το γάλα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα περιέχουν επίσης και μεγάλη ποικιλία ιχνοστοιχείων, τα οποία έχουν διατροφική αξία. Αυτά είναι ο ψευδάργυρος, ο σίδηρος, το φθόριο, το σελήνιο και το ιώδιο.

Τα ανόργανα στοιχεία πέρα από τη θρεπτική τους αξία, θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικά και για το ρόλο που παίζουν στη διαμόρφωση της δομής των μικκυλίων των καζεϊνών, καθώς και στη διατήρηση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του γάλακτος (Miller, Jarvis and Mcbean, 2000; Chandan, 2006).

1.4.6 Ένζυμα

Στο γάλα έχουν βρεθεί περισσότερα από 60 διαφορετικά ένζυμα. Προέρχονται είτε από τον μαστό του ζώου, είτε από βακτήρια. Κάποια από αυτά, όπως η λιπάση λιποπρωτεΐνης επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα του γάλακτος. Το ένζυμο αλκαλική φωσφατάση εξουδετερώνεται πλήρως με την παστερίωση, ιδιότητα που χρησιμοποιείται στον ποιοτικό έλεγχο του γάλακτος για να επαληθευτεί ότι είναι παστεριωμένο. Επιπλέον, τα ένζυμα οξειδάση της ξανθίνης και γλουταμυλτρανσφεράση σχετίζονται με τη μεμβράνη των λιποσφαιριδίων, ενώ εξίσου σημαντικά ένζυμα είναι η λακτοϋπεροξειδάση, η λυσοζύμη, η συνθάση της λακτόζης, η υπεροξειδική δισμουτάση κ.α. (Varnam and Sutherland, 1994; Chandan, 2006).

1.4.7 Βιταμίνες

Το γάλα αποτελεί πηγή όλων των απαραίτητων για τον άνθρωπο βιταμινών. Αυτές είναι είτε λιποδιαλυτές, όπως οι A, D, E και K, είτε υδατοδιαλυτές, όπως οι C, B_1, B_2, B_6, B_{12}. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η διατροφική τους αξία για τον ανθρώπινο οργανισμό.

Συγκεκριμένα, η βιταμίνη A παίζει σημαντικό ρόλο στην όραση και στην κυτταρική ανάπτυξη και αναπαραγωγή. Το γάλα θεωρείται σημαντική πηγή της εν λόγω βιταμίνης, ενώ περιέχει και τις πρόδρομες ενώσεις της, τα καροτενοειδή και κυρίως το β-καροτένιο. Αυτά

προσδίδουν το υποκίτρινο χρώμα του και είναι υπεύθυνα και για το κίτρινο χρώμα του βουτύρου. Η βιταμίνη D βοηθά στην απορρόφηση του ασβεστίου και του φωσφόρου και είναι απαραίτητη για τη διατήρηση ενός υγιούς σκελετού. Η περιεκτικότητά της στο γάλα είναι χαμηλή. Η βιταμίνη Ε δρα ως αντιοξειδωτικό προστατεύοντας τις κυτταρικές μεμβράνες και τις λιποπρωτεΐνες από ελεύθερες ρίζες, ενώ μελέτες υποστηρίζουν ότι δρα προστατευτικά έναντι κάποιων ειδών καρκίνου και καρδιαγγειακών νοσημάτων. Στο γάλα η περιεκτικότητά της είναι χαμηλή (0.1 mg/100g).

Από τις υδατοδιαλυτές βιταμίνες, αυτές με τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα στο γάλα είναι η βιταμίνη C ή ασκορβικό οξύ (0.94mg/100g) και η βιταμίνη B_{12} (0.36 mg/100g). Η πρώτη συμμετέχει στη σύνθεση κολλαγόνου και βοηθά στην επούλωση πληγών και στην αντίσταση στις μολύνσεις, ενώ η B_{12} είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη, τη διατήρηση του νευρικού ιστού και τη σωστή παραγωγή του αίματος. Τέλος, το γάλα είναι σημαντική πηγή βιταμίνης B_2 ή ριβοφλαβίνης (0.16 mg/100g), η οποία είναι πρόδρομη ένωση διαφόρων συνενζύμων που συμμετέχουν στην οξείδωση της γλυκόζης, των λιπαρών οξέων, των αμινοξέων και των πουρινών. Αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω της θερμικής κατεργασίας, φαίνεται ότι ένα ποσοστό των βιταμινών του γάλακτος καταστρέφεται (Miller, Jarvis and Mcbean, 2000).

1.5 Παραγωγική Διαδικασία Γιαουρτιού

1.5.1 Παραδοσιακή μέθοδος

Παραδοσιακά, το γιαούρτι παραγόταν βράζοντας αρχικά το γάλα μέχρι μείωσης του όγκου του στα 2/3 του αρχικού. Ακολουθούσε διαμοιρασμός του γάλακτος σε κύπελλα, ψύξη μέχρι τους 30-40°C και προσθήκη γιαουρτιού από προηγούμενη παραγωγή, για να γίνει η ζύμωση. Ακολούθως, το γάλα αφηνόταν να επωαστεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μέχρι να σχηματιστεί σταθερό πήγμα και τελικά τοποθετείτο σε ψύξη.

Η παραδοσιακή μέθοδος παρουσιάζει σημαντικά μειονεκτήματα. Συγκεκριμένα, οι διαδοχικοί εμβολιασμοί με μαγιά έχουν την τάση να διαταράσσουν την ισορροπία μεταξύ του *Streptococcus thermophilus* και του *Lactobacillus bulgaricus*, ενώ η σχετικά χαμηλή θερμοκρασία επώασης ευθύνεται για την αργή οξίνιση του γάλακτος και μπορεί να προκαλέσει προβλήματα όπως διαχωρισμό ορού (συναίρεση). Επίσης, η μέθοδος αυτή δεν επιτρέπει το συνεχή έλεγχο της περιεκτικότητας σε γαλακτικό οξύ (Tamime and Deeth, 1980).

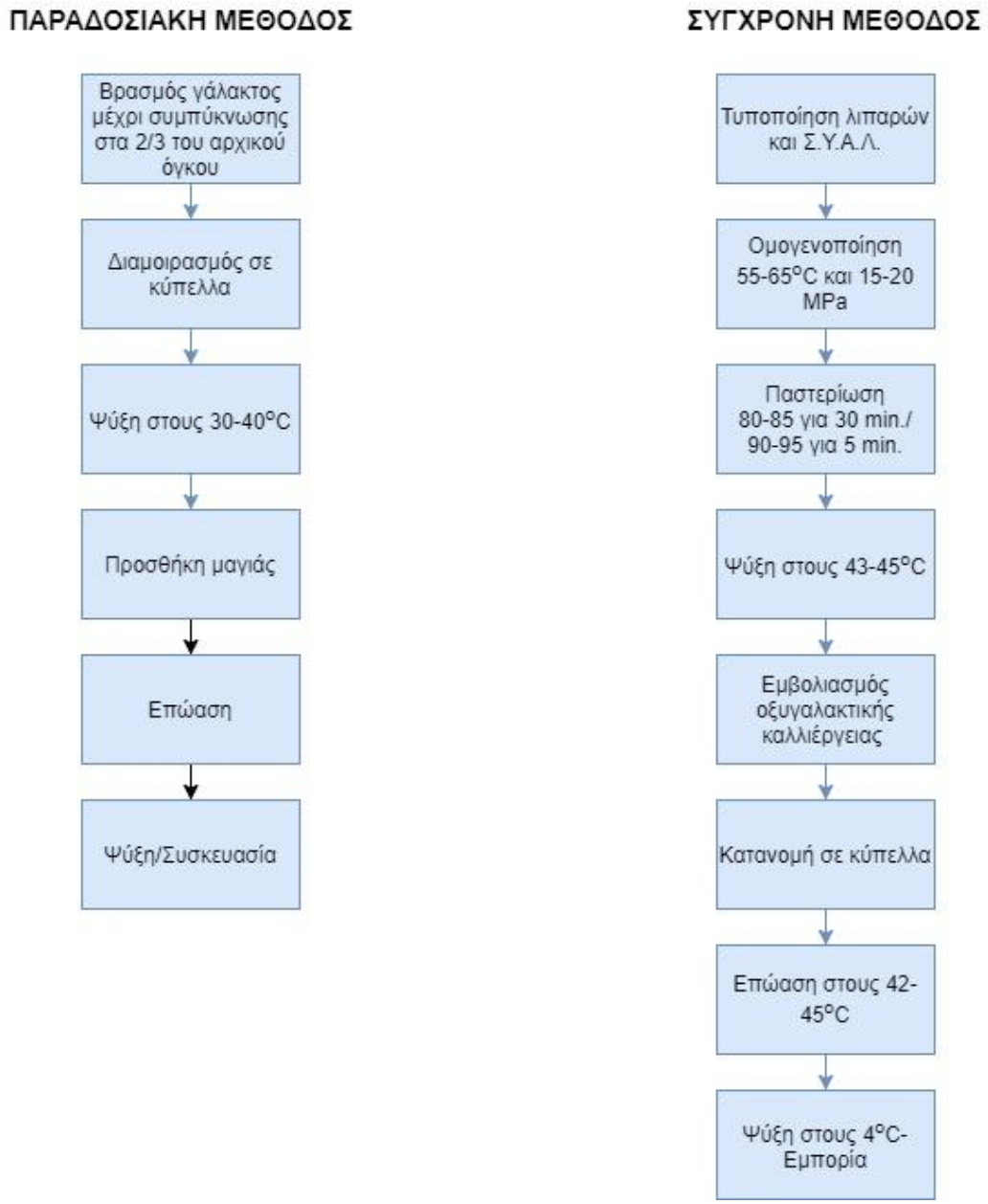
Τις τελευταίες δεκαετίες η διαδικασία παραγωγής γιαουρτιού σε βιομηχανική κλίμακα έχει εκσυγχρονιστεί, γεγονός που εν πολλοίς οφείλεται στην πρόοδο διαφόρων τομέων όπως η μικροβιολογία, η μηχανική τροφίμων και η βιοχημεία (Weerathilake *et al.,* 2014). Η βασική φιλοσοφία παραγωγής παραμένει η ίδια με αυτήν της παραδοσιακής μεθόδου, έχουν όμως προστεθεί και τροποποιηθεί διεργασίες με γνώμονα την εξάλειψη των προβλημάτων που αυτή παρουσιάζει και την εξασφάλιση της βέλτιστης ποιότητας.

Σε γενικές γραμμές, η σημερινή παραγωγική διαδικασία του γιαουρτιού αποτελείται από τις εξής διεργασίες: αρχικά, γίνεται τυποποίηση των λιπαρών και των υπόλοιπων στερεών (Σ.Υ.Α.Λ.) του γάλακτος, ακολουθεί ομογενοποίηση στους 55-65°C σε πίεση 15-20 MPa, έπειτα το γάλα παστεριώνεται σε συνθήκες 80-85 °C για 30 min ή στους 90-95 °C για 5 min και ακολούθως ψύχεται σε θερμοκρασία 40-45 °C. Στη θερμοκρασία αυτή γίνεται εμβολιασμός (1-3% v/v) με την οξυγαλακτική καλλιέργεια και το γάλα αφήνεται να επωαστεί. Με το πέρας της επώασης ψύχεται στους 4°C και προστίθενται φρούτα, αρωματικά και άλλα πρόσθετα ανάλογα με το προϊόν (Weerathilake *et al.,* 2014).

Με τις σύγχρονες μεθόδους παραγωγής εξασφαλίζονται:

- Η καθαρότητα των καλλιεργειών εκκίνησης, οι οποίες παράγονται από εξειδικευμένους παραγωγούς και ερευνητικά κέντρα.
- Ο έλεγχος της θερμοκρασίας επώασης, ώστε ο ρυθμός παραγωγής γαλακτικού οξέος και ο απαιτούμενος χρόνος επώασης να είναι γνωστά εκ των προτέρων.
- Η γρήγορη ψύξη του γιαουρτιού, όταν βρίσκεται στο επιθυμητό επίπεδο οξύτητας, προς βελτίωση της ποιότητάς του.

- Η χρήση εύχρηστων μεθόδων παρακολούθησης της παραγωγής γαλακτικού οξέος (pH-μετρα).
- Η δυνατότητα εμβολιασμού των καλλιεργειών στο γάλα υπό ασηπτικές συνθήκες (Tamime and Robinson, 1999).



Εικόνα 1.5.1 - Διάγραμμα ροής παραγωγής γιαουρτιού

Παρακάτω αναλύονται τα στάδια βιομηχανικής παραγωγής παραδοσιακού γιαουρτιού.

1.5.2 Παραλαβή - Αποθήκευση - Επεξεργασία νωπού γάλακτος

Το νωπό, ανεπεξέργαστο γάλα είναι ευάλωτο σε διαφόρων ειδών επιμολύνσεις. Μία από αυτές είναι τα σωματικά κύτταρα, και συγκεκριμένα τα επιθηλιακά, που προέρχονται από το μαστό του ζώου και τα λευκοκύτταρα. Επίσης, είναι πιθανό να περιέχονται στο νωπό γάλα ίχνη από χώμα, τρίχες, μικρά κομμάτια φύλλων, σπόροι και άλλα ξένα σωματίδια (Tamime and Robinson, 1999). Επιπλέον, η ανάπτυξη βακτηρίων μπορεί να προκαλέσει αλλοιώσεις, αφού είναι υπεύθυνη για την οξίνιση του γάλακτος λόγω παραγωγής γαλακτικού οξέος. Τέλος, η παρουσία μολυσμένου νερού (συνήθως με ψευδομονάδες) αποτελεί έναν ακόμα παράγοντα υποβάθμισης της ποιότητας του γάλακτος (Walstra, Wouters and Geurts, 2006).

Πριν από οποιαδήποτε άλλη επεξεργασία είναι απαραίτητο να αφαιρεθούν οι μεγαλύτερες σε μέγεθος προσμίξεις. Για την απομάκρυνσή τους χρησιμοποιείται η μέθοδος του φιλτραρίσματος με υφασμάτινα φίλτρα ή με μεταλλικά κόσκινα. Οι μέθοδοι της φυγοκέντρησης και της μικροδιήθησης χρησιμοποιούνται σε κάποιες περιπτώσεις για την απομάκρυνση των σωματικών κυττάρων, παρόλο που αυτή επιτυγχάνεται και με την παστερίωση (Tamime and Robinson, 1999).

Όσον αφορά την αποφυγή ανάπτυξης βακτηρίων, είναι απαραίτητο, μόλις το γάλα φτάνει στο εργοστάσιο, να αποθηκεύεται για διάστημα όχι μεγαλύτερο από 48 h σε σιλό σε θερμοκρασία περίπου 4°C, επειδή ο ρυθμός ανάπτυξης των βακτηρίων σε τέτοια θερμοκρασία είναι σημαντικά χαμηλότερος. Σε περίπτωση που χρειαστεί να παραμείνει αποθηκευμένο για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, ενδείκνυται η ήπια θερμική κατεργασία, όπως θέρμανση στους 65°C για 15 s και έπειτα ψύξη πάλι στους 4°C. Κατά την παραμονή στα σιλό, απαραίτητη είναι η συνεχής παρακολούθηση της θερμοκρασίας και του pH του γάλακτος, όπως επίσης και ο ποιοτικός του έλεγχος (Walstra, Wouters and Geurts, 2006).

1.5.3 Τυποποίηση Λιπαρών

Η περιεκτικότητα του γιαουρτιού σε λιπαρά κυμαίνεται από 0.1% μέχρι και περισσότερο από 10% w/w, ανάλογα με το προϊόν και τους ισχύοντες κανονισμούς. Η τυποποίηση των λιπαρών του γάλακτος πριν την παρασκευή γιαουρτιού είναι απαραίτητη, διότι η περιεκτικότητα του γάλακτος σε λιπαρά δεν είναι σταθερή και εμφανίζει διακυμάνσεις ανάλογα με την περίοδο του κύκλου θηλασμού.

Για την τυποποίηση των λιπαρών χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες μέθοδοι:

- Αφαίρεση λιπαρών από το γάλα με μηχανικό διαχωρισμό.
- Προσθήκη κρέμας σε πλήρες, ημιαποβουτυρωμένο ή αποβουτυρωμένο γάλα.
- Μίξη κρέμας πλήρους γάλακτος με αποβουτυρωμένο γάλα.
- Συνδυασμός κάποιων από τα παραπάνω.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τις τελευταίες δεκαετίες έχουν σχεδιαστεί αυτόματα συστήματα συνεχούς τυποποίησης των λιπαρών. Αυτά βασίζονται στη μέτρηση της πυκνότητας του γάλακτος, η οποία μεταφράζεται σε περιεκτικότητα σε λιπαρά και με βάση αυτή το σύστημα αναγνωρίζει την ακριβή ποσότητα λιπαρών που πρέπει να προστεθεί ή να αφαιρεθεί προς επίτευξη της επιθυμητής περιεκτικότητας (Yildez, 2009).

1.5.4 Τυποποίηση Στερεών Υπολειμμάτων Άνευ Λίπους (Σ.Υ.Α.Λ.)

Η περιεκτικότητα του γιαουρτιού σε στερεό υπόλειμμα άνευ λίπους, δηλαδή κυρίως σε πρωτεΐνες, λακτόζη και μεταλλικά στοιχεία υπαγορεύεται αφενός από τη νομοθεσία του κράτους και κυμαίνεται μεταξύ 8.2 με 8.6 g/100g, αφετέρου από τις προδιαγραφές που θέτει για το τελικό προϊόν ο παραγωγός (Tamime and Robinson, 1999). Είναι γνωστό ότι η αύξηση της περιεκτικότητας του γάλακτος σε Σ.Υ.Α.Λ. πάνω από το σύνηθες επίπεδο του 8.5-9% βελτιώνει τη σταθερότητα του πήγματος στο παραδοσιακό (set) γιαούρτι και το ιξώδες στο στραγγιστό (stirred) (Yildez, 2009).

Για την τυποποίηση των Σ.Υ.Α.Λ. χρησιμοποιούνται οι εξής μέθοδοι:

- Βρασμός
- Προσθήκη σκόνης γάλακτος
- Προσθήκη σκόνης βουτυρογάλακτος
- Προσθήκη σκόνης ή συμπυκνώματος ορού γάλακτος
- Προσθήκη καζεϊνών σε στερεή μορφή
- Εξάτμιση υπό κενό
- Υπερδιήθηση και αντίστροφη ώσμωση

1.5.5 Βρασμός

Ο βρασμός είναι η παλαιότερη μέθοδος αύξησης της περιεκτικότητας του γάλακτος σε στερεά και αποτελεί βασικό μέρος της διαδικασίας παραγωγής γιαουρτιού με την παραδοσιακή μέθοδο. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, μετά το βρασμό ο όγκος του γάλακτος μειώνεται περίπου κατά 1/3, επομένως αυξάνεται η περιεκτικότητά του σε στερεά. Η θέρμανση όμως προκαλεί διάφορες φυσικοχημικές αλλαγές στο γάλα. Επίσης, η μέθοδος αυτή δεν επιτρέπει ακριβείς υπολογισμούς των περιεκτικοτήτων, αλλά μόνο θεωρητικές προβλέψεις. Για παράδειγμα, αν η αρχική περιεκτικότητα είναι 13 g στερεών/100g γάλακτος, η τελική θα είναι περίπου 19-20g στερεών/100g γάλακτος. Η μέθοδος του βρασμού έχει πια

εγκαταλειφθεί από τη βιομηχανία και χρησιμοποιείται μόνο σε μικρής κλίμακας παραγωγές (Tamime and Robinson, 1999; Yildez, 2009).

1.5.6 Προσθήκη σκόνης γάλακτος

Στη βιομηχανία παραγωγής γιαουρτιού, και κυρίως σε μικρής κλίμακας παραγωγές, χρησιμοποιείται ευρέως η μέθοδος της προσθήκης σκόνης γάλακτος για την τυποποίηση των Σ.Υ.Α.Λ. Συνήθως, λόγω της τάσης για παραγωγή γιαουρτιού με χαμηλά λιπαρά, προτιμάται η σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος έναντι της σκόνης πλήρους γάλακτος. Επίσης, η τελευταία εμφανίζει μικρότερη διατηρησιμότητα και φαίνεται να προκαλεί οξινισμένο άρωμα στο γιαούρτι (Yildez, 2009).

Η ποσότητα σκόνης που προστίθεται κυμαίνεται μεταξύ 1% και 6% της ποσότητας γάλακτος, αν και έχει διαπιστωθεί ότι προσθήκη μεγαλύτερη του 3-4% μπορεί να οδηγήσει σε δυσάρεστη υφή και γεύση στο γιαούρτι. Με την προσθήκη σκόνης αποβουτυρωμένου γάλακτος επιτυγχάνεται η τυποποίηση των πρωτεϊνών, επιλύοντας ένα σημαντικό πρόβλημα της βιομηχανίας, αφού λόγω των εποχικών διακυμάνσεων που παρουσιάζονται στο πρωτεϊνικό περιεχόμενο του γάλακτος, η τυποποίησή τους θεωρείται αρκετά δύσκολη. Τα τελευταία χρόνια μάλιστα, χάρις στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών όπως της υπερδιήθησης, έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται σκόνες γάλακτος με αυξημένα ποσοστά πρωτεΐνης. Προσθήκη τέτοιων προϊόντων στο γάλα φαίνεται να προσδίδει στο παραγόμενο γιαούρτι συνεκτική και απαλή υφή, υψηλότερο ιξώδες, καλύτερη αίσθηση στο στόμα και μειωμένη συναίρεση, ενώ λόγω της χαμηλότερης περιεκτικότητας σε λακτόζη αποτρέπεται η περαιτέρω παραγωγή γαλακτικού οξέος (Tamime and Robinson, 1999; Yildez, 2009).

1.5.7 Προσθήκη σκόνης βουτυρογάλακτος

Η σκόνη βουτυρογάλακτος αποτελεί παραπροϊόν της παραγωγής κρέμας γάλακτος. Η χημική της σύσταση είναι παρόμοια με αυτήν της σκόνης αποβουτυρωμένου γάλακτος και η αξία της για τη βιομηχανία τροφίμων έγκειται στην υψηλή της περιεκτικότητα σε φωσφολιπίδια, η οποία της προσδίδει ιδιότητες γαλακτωματοποιητή. Στην παραγωγή γιαουρτιού μπορεί να προστεθεί σε συνδυασμό με σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος κατά την τυποποίηση των στερεών, ενώ παράλληλα φαίνεται να συντελεί στη βελτίωση των οργανοληπτικών και φυσικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος. Συγκεκριμένα, φέρεται να μειώνει το φαινόμενο της συναίρεσης σε σχέση με γιαούρτι στο οποίο έχει προστεθεί μόνο σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος (Guinee *et al.*, 1995), ενώ προσθήκη της σε γάλα χαμηλών λιπαρών προσδίδει μαλακή, απαλή υφή στο γιαούρτι (Trachoo and Mistry, 1998).

1.5.8 Προσθήκη Σκόνης/Συμπυκνώματος Ορού Γάλακτος

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει μελετηθεί εκτενώς η επίδραση της προσθήκης προϊόντων ορού γάλακτος κατά την παραγωγή γιαουρτιού. Τα κύρια προϊόντα ορού είναι τα εξής:

- Σκόνη ορού γάλακτος
- Συμπύκνωμα ορού γάλακτος
- Σκόνη ορού γάλακτος ενισχυμένη με πρωτεΐνη
- Πρωτεϊνικό συμπύκνωμα ορού γάλακτος
- Υδρολυμένο συμπύκνωμα ορού γάλακτος

Η σκόνη ορού γάλακτος αποτελεί παραπροϊόν της παραγωγής τυριού, κατά την οποία οι καζεΐνες και τα λιπαρά συσσωματώνονται, ενώ οι πρωτεΐνες ορού, η λακτόζη και τα άλατα παραμένουν διαλυμένα στον ορό. Μετά από θερμική κατεργασία ο ορός απομονώνεται και μετατρέπεται σε σκόνη (González-Martínez *et al.*, 2002).

Η σκόνη προστίθεται στο γάλα σε περιεκτικότητα που κυμαίνεται από 0.6% μέχρι 4%. Το βέλτιστο ποσοστό φαίνεται να είναι κοντά στο 2%, διότι μεγαλύτερες περιεκτικότητες μπορεί να προκαλέσουν δυσάρεστο άρωμα και γεύση στο γιαούρτι (Tamime and Robinson, 1999).

Πριν γίνει η προσθήκη της στο γάλα, συνήθης πρακτική είναι η επώαση της σκόνης με καλλιέργεια εκκίνησης, με στόχο τη βελτίωση της γεύσης και του αρώματος του γιαουρτιού. Γενικά, η χρήση σκόνης ορού γάλακτος αντί για σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος φαίνεται να προσδίδει καλύτερα ρεολογικά χαρακτηριστικά στο γιαούρτι καθιστώντας το πιο ομογενές, να παρέχει πιο απαλή υφή και να επιβραδύνει τον ρυθμό οξίνισης κατά την αποθήκευση. Παρόλα αυτά, τα δύο είδη σκόνης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ταυτόχρονα. Συγκεκριμένα, καλής ποιότητας γιαούρτι μπορεί να παραχθεί με συνδυασμό τους σε αναλογία 75:25 σκόνη αποβουτυρωμένου προς σκόνη ορού (González-Martínez *et al.*, 2002; Yildez, 2009).

Όσον αφορά τα συμπυκνώματα ορού, αυτά προστίθενται στο γάλα για την τυποποίηση των στερεών σε ποσότητα όχι μεγαλύτερη του 20-25%, γιατί αλλιώς επηρεάζονται αρνητικά το χρώμα και η υφή του γιαουρτιού. Τα συμπυκνώματα επηρεάζουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και παίζουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία του πήγματος για αυτό και η υφή του γιαουρτιού επηρεάζεται ανάλογα με την περιεκτικότητά τους (Tamime and Robinson, 1999).

1.5.9 Προσθήκη στερεών καζεϊνών

Παρόλο που η τεχνική αυτή δεν χρησιμοποιείται συχνά, διάφορες μορφές στερεών καζεϊνών, όπως για παράδειγμα η υδρολυμένη καζεΐνη, η όξινη καζεΐνη, η καζεΐνη πυτιάς και τα καζεϊνικά Na, Ca, K, NH_3 μπορούν να προστεθούν στο γάλα με στόχο την τυποποίηση του στερεού υπολείμματος άνευ λίπους, ενώ έχει διαπιστωθεί ότι βελτιώνουν τα φυσικά χαρακτηριστικά του γιαουρτιού, χωρίς να επηρεάζουν αρνητικά τα αντίστοιχα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Οι στερεές καζεΐνες παράγονται από το αποβουτυρωμένο γάλα και όπως υποδηλώνει το όνομά τους αποτελούνται κατά κύριο λόγο από καζεΐνη. Η προσθήκη τους στο γάλα πλεονεκτεί έναντι της χρήσης σκόνης αποβουτυρωμένου γάλακτος για τους εξής λόγους:

- Απαιτείται λιγότερη ποσότητα, μόλις το 1/3 σε σχέση με αυτήν του αποβουτυρωμένου γάλακτος.
- Δεν απαιτείται συμπύκνωση του γάλακτος για αύξηση της περιεκτικότητάς του σε πρωτεΐνες.
- Η γεύση και η υφή του γιαουρτιού δεν επηρεάζονται.
- Ενισχύεται ο υδρόφιλος χαρακτήρας των υπαρχουσών πρωτεϊνών, επομένως οι στερεές καζεΐνες δρουν ως σταθεροποιητές.
- Βελτιώνεται το ιξώδες του γιαουρτιού και ελαττώνεται το πρόβλημα της συναίρεσης κατά την αποθήκευση.

Για την παραγωγή γιαουρτιού καλής ποιότητας είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί και συνδυασμός στερεών καζεϊνών με σκόνη ή συμπύκνωμα ορού. Για παράδειγμα, προσθήκη σκόνης ορού και καζεϊνικού Ca σε αναλογία 1:1 βρέθηκε ότι προσδίδει στο γιαούρτι μεγαλύτερη σταθερότητα και μικρότερο διαχωρισμό ορού. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι προσθήκη 1% υδρολυμένης καζεΐνης μπορεί να αυξήσει το ιξώδες κατά 16-87% και να μειώσει τη συναίρεση κατά 26.5-30.0% (Tamime and Robinson, 1999; Yildez, 2009).

1.5.10 Εξάτμιση υπό κενό

Η εξάτμιση υπό κενό είναι μία μέθοδος τυποποίησης Σ.Υ.Α.Λ., κατά την οποία απομακρύνεται νερό από το γάλα έπειτα από ταπείνωση του σημείου ζέσεώς του μέσω εφαρμογής χαμηλής πίεσης (περίπου -0.5 bar). Χρησιμοποιείται αρκετά συχνά σε βιομηχανίες μεσαίας και υψηλής παραγωγικής κλίμακας, σχεδόν πάντα σε συνδυασμό με μονάδα μηχανικής ή θερμικής επανασυμπίεσης του ατμού. Τα πλεονεκτήματά της είναι το σχετικά χαμηλό κόστος και η ευκολία στη χρήση. Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι με τη διεργασία αυτή αφαιρείται και ο παγιδευμένος αέρας, συνεισφέροντας έτσι στη δημιουργία σταθερότερου πήγματος και στη μείωση του φαινομένου της συναίρεσης. Από την άλλη, ένα μειονέκτημά της είναι ο μεγάλος χρόνος που απαιτείται για την τυποποίηση των πρωτεϊνών.

Για την παραγωγή γιαουρτιού καλής ποιότητας, η ιδανική περιεκτικότητα σε ολικά στερεά μετά τη διεργασία αυτή θεωρείται το 16-18% (Yildez, 2009).

1.5.11 Προσθήκη σταθεροποιητών

Η επεξεργασία του γιαουρτιού περιλαμβάνει διεργασίες όπως η θερμική κατεργασία, η μηχανική καταπόνηση, η προσθήκη φρούτων, οι οποίες τείνουν να μειώνουν το ιξώδες του και σε κάποιες περιπτώσεις να προκαλούν διαχωρισμό ορού. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την προσθήκη σταθεροποιητών στο γάλα (Tamime and Robinson, 1999). Οι σταθεροποιητές είναι ενώσεις γνωστές ως κολλοειδή, πολυμερή δηλαδή μακριάς αλυσίδας που διαλύονται ή διασπείρονται στο νερό και προκαλούν πήξη ή αύξηση στο ιξώδες. Η ιδιότητά τους αυτή οφείλεται στην παρουσία μεγάλου αριθμού ομάδων υδροξυλίου (-OH) στη δομή τους, κάτι που τους προσδίδει έντονα υδρόφιλο χαρακτήρα και μεγάλη ικανότητα δέσμευσης μορίων νερού (Glicksman, 1982).

Οι σταθεροποιητές παίζουν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση και στη βελτίωση των ιδιοτήτων του γιαουρτιού. Συγκεκριμένα, συντελούν στην αύξηση του ιξώδους, στη βελτίωση της υφής, στη μείωση της ευαισθησίας στη συναίρεση, ενώ προσδίδουν σταθερότητα και βελτιώνουν την εμφάνιση και την αίσθηση του γιαουρτιού στο στόμα (mouthfeel). Επίσης, επιτρέπουν μείωση στο θερμιδικό περιεχόμενο του γιαουρτιού διατηρώντας παράλληλα ανεπηρέαστα τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του, ιδιότητα ιδιαίτερα σημαντική λαμβάνοντας υπόψιν τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για γιαούρτι χαμηλού θερμιδικού περιεχομένου.

Η ταξινόμησή τους γίνεται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- Στους φυσικούς σταθεροποιητές.
- Στους τροποποιημένους φυσικούς ή ημισυνθετικούς σταθεροποιητές.
- Στους συνθετικούς σταθεροποιητές.

Παραδείγματα σταθεροποιητών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή γιαουρτιού είναι η καραγεννάνη, το κόμμι γκουάρ, η πηκτίνη, το αραβικό κόμμι, το τροποποιημένο άμυλο κ.α. Η ποσότητα σταθεροποιητή που προστίθεται στο γάλα καθορίζεται από τη νομοθεσία και από τον παραγωγό λαμβάνοντας υπόψιν τις μεταβολές στις φυσικοχημικές ιδιότητες του γιαουρτιού και την περιεκτικότητα του γάλακτος σε ολικά στερεά. Ένας γενικός κανόνας είναι ότι όσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητα του γάλακτος σε ολικά στερεά, τόσο λιγότερη ποσότητα σταθεροποιητή πρέπει να προστεθεί (Tamime and Robinson, 1999; Yildez, 2009).

Στον πίνακα 1.5.1 παρουσιάζονται ορισμένοι σταθεροποιητές, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκουν και τη λειτουργία τους στο γιαούρτι.

Πίνακας 1.5.1 - Είδη σταθεροποιητών και χρήση τους στην παραγωγή γιαουρτιού

Σταθεροποιητής	Κατηγορία	Λειτουργία στο γιαούρτι
Αραβικό κόμμι	Φυσικό υδροκολλοειδές	Μέσο πήξης, σταθεροποιητής
Πηκτίνη	Φυσικό υδροκολλοειδές	Σταθεροποιητής, μέσο ζελοποίησης
Κόμμι γκουάρ	Φυσικό υδροκολλοειδές	Μέσο πήξης
Τραγακανθικό κόμμι	Φυσικό υδροκολλοειδές	Μέσο πήξης
Κόμμι χαρουπιού	Φυσικό υδροκολλοειδές	Μέσο πήξης
Άγαρ	Φυσικό υδροκολλοειδές	Σταθεροποιητής, μέσο ζελοποίησης
Αλγινικά	Φυσικό υδροκολλοειδές	Σταθεροποιητής, μέσο ζελοποίησης, μέσο πήξης
Καραγεννάνη	Φυσικό υδροκολλοειδές	Σταθεροποιητής, μέσο ζελοποίησης
Ζελατίνη	Φυσικό υδροκολλοειδές	Σταθεροποιητής
Ξανθάνη	Φυσικό υδροκολλοειδές (παράγεται από βακτήριο)	Μέσο πήξης, σταθεροποιητής
Καρβοξυμεθυλο-κυτταρίνη	Ημισυνθετικός σταθεροποιητής	Μέσο πήξης
Μεθυλο-κυτταρίνη	Ημισυνθετικός σταθεροποιητής	Μέσο πήξης

1.5.12 Προσθήκη γλυκαντικών

Το γιαούρτι με φρούτα και τα επιδόρπια γιαουρτιού με γεύση (flavoured yoghurts) αποτελούν προϊόντα με μεγάλη ζήτηση από το καταναλωτικό κοινό. Κατά την παραγωγή των προϊόντων αυτών γίνεται προσθήκη γλυκαντικών ουσιών ή/και φρούτων, ανάλογα με το προϊόν. Η περιεκτικότητα του μίγματος σε γλυκαντικές ουσίες κυμαίνεται από 25% μέχρι 65%, ενώ η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη είναι 30-35%.

Ο κύριος στόχος της προσθήκης γλυκαντικών είναι η μείωση της όξινης γεύσης που τείνει να αποκτά το γιαούρτι εξαιτίας της παραγωγής γαλακτικού οξέος. Η ποσότητα που προστίθεται και ο βαθμός ενσωμάτωσής του στο γιαούρτι εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Το είδος της γλυκαντικής ουσίας.
- Τις προτιμήσεις του καταναλωτικού κοινού.
- Σε περίπτωση προσθήκης γλυκαντικού μαζί με φρούτο, το είδος του φρούτου.
- Τις επιπτώσεις της γλυκαντικής ουσίας στη δραστικότητα της οξυγαλακτικής καλλιέργειας.
- Τη νομοθεσία.
- Το οικονομικό σκέλος.

Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη γλυκαντική ουσία είναι η σακχαρόζη, η γνωστή δηλαδή ζάχαρη, η οποία είναι ένας δισακχαρίτης αποτελούμενος από φρουκτόζη και γλυκόζη, με εμπειρικό τύπο $C_{12}H_{22}O_{11}$. Στη φύση βρίσκεται σε αφθονία και παραλαμβάνεται για εμπορική χρήση από τα ζαχαρότευτλα και τα ζαχαροκάλαμα. Κατά την παραγωγή γιαουρτιού προστίθεται στο γάλα σε θερμοκρασία 40°C υπό τη μορφή κόκκων ή σιροπιού (60-67% περιεκτικότητα σε στερεά), πριν αυτό υποστεί ομογενοποίηση και θερμική επεξεργασία. Η προσθήκη της σε αυτό το στάδιο της παραγωγής εξασφαλίζει και την εξουδετέρωση διάφορων ανεπιθύμητων μικροοργανισμών, όπως οι ωσμόφιλοι μύκητες. Προτιμητέα είναι η προσθήκη της υπό τη μορφή σιροπιού λόγω μεγαλύτερης ευκολίας στον χειρισμό. Η προστιθέμενη ποσότητα σακχαρόζης δεν πρέπει να ξεπερνά το 10-11%, διότι διαφορετικά υπάρχει κίνδυνος καταστολής της δραστηριότητας των βακτηρίων της καλλιέργειας εκκίνησης (Tamime and Robinson, 1999; Yildez, 2009).

Άλλες γλυκαντικές ουσίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή γιαουρτιού είναι:

- Η **γλυκόζη**, μονοσακχαρίτης με εμπειρικό τύπο $C_6H_{12}O_6$, που παράγεται από την υδρόλυση του αμύλου του καλαμποκιού.

- Η **φρουκτόζη**, μονοσακχαρίτης με εμπειρικό τύπο ίδιο με αυτόν της γλυκόζης. Παραλαμβάνεται κυρίως από την επεξεργασία του αμύλου, αλλά και από το χυμό των σταφυλιών και έχει πιο γλυκιά γεύση και από τη γλυκόζη και από τη σακχαρόζη.
- Το **σιρόπι γλυκόζης/γαλακτόζης**, το οποίο παράγεται έπειτα από επεξεργασία της λακτόζης του ορού γάλακτος, που αποτελεί παραπροϊόν της βιομηχανίας τυριού και καζεϊνών. Ορός γάλακτος μπορεί επίσης να παραληφθεί από το διήθημα που προκύπτει έπειτα από υπερδιήθηση προς παραγωγή συμπυκνωμένου γάλακτος. Η λακτόζη στην κανονική της μορφή εμφανίζει χαμηλή γλυκύτητα, επομένως για να χρησιμοποιηθεί ως γλυκαντική ουσία πρέπει να γίνει διάσπασή της σε γλυκόζη και γαλακτόζη. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω υδρόλυσής της με χρήση οξέων ή ενζύμων.
- Η **σορβιτόλη** είναι μία αλκοόλη που παράγεται από υδρογόνωση της γλυκόζης. Παρόλο που εμφανίζει μόνο τη μισή γλυκύτητα σε σχέση με τη σακχαρόζη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε γιαούρτι που προορίζεται για ανθρώπους που πάσχουν από διαβήτη. Έχει διαπιστωθεί (Hyvönen and Slotte, 1983), ότι με προσθήκη 4% σορβιτόλης και 6% σακχαρόζης επιτυγχάνεται ίδιος βαθμός γλυκύτητας με την προσθήκη απλής σακχαρόζης.
- Οι **τεχνητές γλυκαντικές ουσίες**, όπως η ζαχαρίνη, η ακεσουλφάμη και η ασπαρτάμη προσφέρουν τη γλυκύτητα της ζάχαρης σε συνδυασμό με χαμηλό ή και μηδενικό θερμιδικό περιεχόμενο. Αυτό τις καθιστά πιθανές εναλλακτικές ουσίες για αντικατάσταση της σακχαρόζης σε γιαούρτια που προορίζονται για ανθρώπους οι οποίοι για λόγους υγείας δεν μπορούν να καταναλώνουν υψηλές ποσότητες αυτής. Σημαντικό τους πλεονέκτημα είναι επίσης και ο μεγαλύτερος βαθμός γλυκύτητάς τους σε σχέση με τη σακχαρόζη, κάτι που σημαίνει ότι απαιτείται πολύ μικρότερη ποσότητά τους κατά την παραγωγή γιαουρτιού. Συνήθως, χρησιμοποιείται συνδυασμός δύο ή παραπάνω από αυτές, με στόχο την επίτευξη των καλύτερων δυνατών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (Tamime and Robinson, 1999; Yildez, 2009).

Παρακάτω παρουσιάζεται η σχετική γλυκύτητα διαφόρων ουσιών σε σύγκριση με αυτή της σακχαρόζης.

Πίνακας 1.5.2 - Σχετική γλυκύτητα διαφόρων ουσιών σε σύγκριση με της σακχαρόζης (Tamime and Robinson, 1999)

Γλυκαντική Ουσία	Σχετική γλυκύτητα (σακχαρόζη=1)
Λακτόζη	0.4
Μαλτόζη	0.4
Σορβιτόλη	0.5
Γαλακτόζη	0.6
Γλυκόζη	0.7
Ξυλόζη	0.7

Μαννιτόλη	0.7
Σακχαρόζη	1.0
Φρουκτόζη	1.1-1.5
Ακεσουλφάμη	150-200
Ασπαρτάμη	200
Ζαχαρίνη	240-350

1.5.13 Προσθήκη συντηρητικών

Στη βιομηχανία τροφίμων συχνά χρησιμοποιούνται ουσίες οι οποίες ονομάζονται συντηρητικά και στόχος τους είναι η καθυστέρηση της αλλοίωσης του τροφίμου λόγω ανάπτυξης μικροοργανισμών ή λόγω χημικών μεταβολών, επιμηκύνοντας έτσι τη διατηρησιμότητά του. Οι ουσίες αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθούν και στην παραγωγή συμπυκνωμένου γιαουρτιού και γιαουρτιού με φρούτα. Η προσθήκη τους γίνεται με στόχο την αποφυγή ανάπτυξης ανεπιθύμητων μικροοργανισμών, οι οποίοι μπορεί να εμφανιστούν πριν ή μετά τη ζύμωση. Συγκεκριμένα, στο γιαούρτι με φρούτα είναι αρκετά μεγάλος ο κίνδυνος εμφάνισης μυκήτων που προκαλούν μούχλα. Η επιτρεπόμενη συγκέντρωσή τους δεν πρέπει να ξεπερνά τον 1 μικροοργανισμό ανά 100 g γιαουρτιού. Επιπλέον, κατά την παραγωγή συμπυκνωμένου γιαουρτιού, κυρίως στο στάδιο αφαίρεσης νερού που διαρκεί 12-18 h, είναι εξίσου πιθανή η μόλυνση από μύκητες. Για την αντιμετώπιση των κινδύνων αυτών, πέρα από την τήρηση των κατάλληλων μέτρων υγιεινής, μπορεί να πρστεθούν και συντηρητικά. Τα επιτρεπόμενα συντηρητικά από τους αρμόδιους φορείς (FAO/WHO) είναι το βενζοϊκό οξύ, το διοξείδιο του θείου, το σορβικό οξύ και τα άλατά του. Στο τελικό προϊόν η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωσή τους είναι τα 50mg/kg (Yildez, 2009).

1.5.14 Ομογενοποίηση

Ομογενοποίηση ονομάζεται η διεργασία κατά την οποία μειώνεται η μέση διάμετρος των λιποσφαιρίων, με στόχο τη δημιουργία ενός ομογενούς γαλακτώματος δύο μη αναμίξιμων ρευστών, όπως το λίπος με το νερό. Η μείωση του μεγέθους των λιποσφαιρίων επιτυγχάνεται μέσω εφαρμογής πίεσης, σε μηχανήματα που ονομάζονται ομογενοποιητές. Η πίεση στα μηχανήματα αυτά παράγεται από την παλινδρομική κίνηση πιστονιών. Μετά την εφαρμογή πίεσης, το επεξεργασμένο ρευστό διαπερνά ένα μικρό άνοιγμα (βαλβίδα) και εξέρχεται σε χώρο με ατμοσφαιρική πίεση. Εκεί λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της σπηλαίωσης και τα μεγάλα λιποσφαίρια διασπώνται σε μικρότερα. Οι ομογενοποιητές μπορεί να λειτουργούν σε ένα ή δύο στάδια. Στην τελευταία περίπτωση το ρευστό υπόκειται σε μία ακόμη εφαρμογή πίεσης, για να αποφευχθεί η εκ νέου συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων.

Το γάλα αποτελεί γαλάκτωμα λίπους σε νερό και τα λιποσφαίριά του έχουν την τάση να διαχωρίζονται και να συσσωματώνονται δημιουργώντας υμένα στην κορυφή. Για την

αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού χρησιμοποιείται η διεργασία της ομογενοποίησης. Το γάλα εισέρχεται στον ομογενοποιητή, όπου εφαρμόζεται πίεση 10-25 MPa, διαπερνά τη βαλβίδα και εξέρχεται σε ατμοσφαιρική πίεση. Τα σφαιρίδια λίπους του γάλακτος έχουν διάμετρο που κυμαίνεται μεταξύ 1 με 10 μm. Μετά την ομογενοποίηση η μέση διάμετρός τους είναι μικρότερη των 2 μm. Παράλληλα, θα έχει αυξηθεί το πλήθος τους αλλά και η επιφάνεια που καλύπτουν, επομένως η τάση τους για συσσωμάτωση θα έχει ελαττωθεί. Για το λόγο αυτό, στην παραγωγή γιαουρτιού εφαρμόζεται κυρίως ομογενοποίηση ενός σταδίου, διότι δεν παρατηρείται επανασυσσωμάτωση των λιποσφαιρίων.

Σημαντική παράμετρος είναι η θερμοκρασία ομογενοποίησης. Το κρύο γάλα δεν μπορεί να ομογενοποιηθεί στον επιθυμητό βαθμό, επειδή τα λιπαρά του βρίσκονται υπό στερεά μορφή. Για το λόγο αυτό, η διεργασία λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασία 55-80°C, ενώ βέλτιστη θεωρείται η θερμοκρασία των 65-70°C, όπου τα λιπαρά βρίσκονται σε υγρή μορφή.

Η ομογενοποίηση του γάλακτος επιφέρει σημαντικές φυσικοχημικές μεταβολές στο γιαούρτι. Αρχικά, στο ομογενοποιημένο γάλα η ικανότητα προσρόφησης των λιποσφαιρίων από τα μικκύλια καζεϊνών αυξάνεται, συνεπώς αυξάνεται ο συνολικός όγκος δεσμευμένων ουσιών, κάτι που οδηγεί σε γιαούρτι με μεγαλύτερο ιξώδες. Επίσης, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη συνεκτικότητα στο πήγμα και σταθερότητα έναντι της συναίρεσης, χάρις στον ενισχυμένο υδρόφιλο χαρακτήρα. Από την άλλη, η ομογενοποίηση μπορεί να προκαλέσει και ανεπιθύμητες επιπτώσεις. Συγκεκριμένα, η συνολική επιφάνεια λίπους αυξάνεται, με αποτέλεσμα την εκτεταμένη λιπόλυση από το ένζυμο λιπάση. Επιπλέον, είναι πιθανή η δημιουργία αφρού κατά την παραμονή του γάλακτος στις δεξαμενές επώασης. Τέλος, η γεύση του γιαουρτιού σε κάποιες περιπτώσεις παρατηρείται ότι είναι οξινισμένη (Tamime and Robinson, 1999; Chandan, 2006; Yildez, 2009).

1.5.15 Θερμική Κατεργασία

Η θερμική κατεργασία θεωρείται μία από τις σημαντικότερες διεργασίες της γαλακτοβιομηχανίας, για αυτό και αποτελεί στάδιο της παραγωγής του γάλακτος και όλων σχεδόν των γαλακτοκομικών προϊόντων. Κύριο στόχο της αποτελεί η εξουδετέρωση παθογόνων μικροοργανισμών και η απενεργοποίηση ενζύμων, ενώ προκαλεί και φυσικοχημικές μεταβολές, επιθυμητές ή μη, στο γάλα. Στην παραγωγή γιαουρτιού, η θέρμανση του γάλακτος παραδοσιακά χρησιμοποιείτο για την αύξηση των ολικών στερεών του, σήμερα όμως εφαρμόζεται θερμική κατεργασία για τους εξής λόγους:

- Εξουδετέρωση παθογόνων και άλλων ανεπιθύμητων μικροοργανισμών.
- Υποβοήθηση ή καταστολή της δράσης των βακτηρίων της οξυγαλακτικής καλλιέργειας.
- Μεταβολές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των συστατικών του γάλακτος που επηρεάζουν τα τελικά χαρακτηριστικά του γιαουρτιού.

Η θερμική κατεργασία μπορεί να είναι είτε συνεχής είτε ασυνεχής διεργασία. Η τελευταία χρησιμοποιείται συνήθως σε μικρές παραγωγές και δεν προτιμάται γενικά από τις σύγχρονες γαλακτοβιομηχανίες. Καθοριστικό παράγοντα για το είδος της θερμικής κατεργασίας αποτελεί ο συνδυασμός θερμοκρασίας και χρόνου θέρμανσης. Συγκεκριμένα, στην ασυνεχή θερμική κατεργασία εφαρμόζεται θέρμανση στους 62.5°C για 30 min, για αυτό και ονομάζεται και «LTLT (long-time-low-temperature) pasteurization». Τα είδη της θερμικής κατεργασίας παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία, με εύρος που κυμαίνεται από θέρμανση στους 65°C για λίγα δευτερόλεπτα (θέρμισμα) μέχρι θέρμανση στους 150°C για λίγα δευτερόλεπτα, δηλαδή αποστείρωση του γάλακτος σε πολύ υψηλή θερμοκρασία, τεχνική γνωστή ως UHT (ultra-high temperature) sterilization. Οι διάφοροι συνδυασμοί χρόνου-θερμοκρασίας που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία παρουσιάζονται στον πίνακα 1.5.3:

Πίνακας 1.5.3 - Διαφορετικές μέθοδοι θερμικής κατεργασίας γάλακτος (Tamime and Robinson, 1999)

Χρονική διάρκεια	Θερμοκρασία (°C)	Διεργασία	Επιπτώσεις
Λίγα s	≤65	Θέρμισμα	Στόχος της είναι η εξουδετέρωση παθογόνων βακτηρίων, δεν προκαλεί άλλες μη αναστρέψιμες αλλαγές
30 min	65	Μη συνεχής – μερική παστερίωση	Καταστρέφονται όλοι σχεδόν οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, όχι όμως όλα τα βλαστικά τους κύτταρα. Απενεργοποιούνται ένζυμα, ενώ δεν επηρεάζεται η γεύση και οι πρωτεΐνες ορού.
15 s	72	Παστερίωση	
4-20 s	85	Παστερίωση	Καταστρέφονται όλα τα βλαστικά κύτταρα και τα περισσότερα ένζυμα. Βακτηριακά σπόρια, πρωτεϊνάσες και λιπάσες παραμένουν ανεπηρέαστα. Προκαλείται μετουσίωση των πρωτεϊνών του ορού.
30 min	85		
5 min	90-95		
40-20 min	110-120	Αποστείρωση εντός συσκευασίας	Καταστρέφονται όλοι οι μικροοργανισμοί και τα σπόρια. Μεταβάλλονται η γεύση, το άρωμα και το χρώμα του γάλακτος.
20-2 s	135-150	Αποστείρωση υψηλής θερμοκρασίας (UHT)	

Στο γάλα που προορίζεται για παραγωγή γιαουρτιού, η θερμική κατεργασία συνήθως διαρκεί περισσότερο και γίνεται σε υψηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με αυτήν του απλού γάλακτος, ώστε να καταστραφούν όλοι οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, τα περισσότερα βλαστικά τους κύτταρα και τα ενδογενή ένζυμα. Έτσι δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για τη δράση της καλλιέργειας εκκίνησης, αφού όλοι οι ανταγωνιστές έχουν εξουδετερωθεί. Επίσης, η θερμική κατεργασία στην παραγωγή γιαουρτιού είναι εντονότερη, διότι είναι επιθυμητή η μετουσίωση των πρωτεϊνών ορού με στόχο την αύξηση της σταθερότητας του πήγματος. Από μελέτες έχει διαπιστωθεί ότι η θέρμανση του γάλακτος στους 85-90°C για 10 min περίπου αποτελεί τη βέλτιστη μέθοδο, επειδή προκαλεί ελάχιστο διαχωρισμό ορού σε σχέση με άλλα είδη κατεργασίας (Chandan, 2006; Yildez, 2009).

Η θερμική κατεργασία επηρεάζει σημαντικά όλα τα συστατικά του γάλακτος. Στον παρακάτω πίνακα 1.5.4 συνοψίζονται οι μεταβολές που αυτή προκαλεί σε κάθε συστατικό, καθώς και οι επιπτώσεις στο γιαούρτι.

Πίνακας 1.5.4 - Μεταβολές στα συστατικά του γιαουρτιού λόγω θερμικής κατεργασίας (Tamime and Robinson, 1999)

Συστατικό	Μεταβολή	Αποτέλεσμα στο γιαούρτι
Πρωτεΐνες ορού	Μετουσίωση, συσσωμάτωση, απενεργοποίηση ανοσοσφαιρινών	Μείωση ικανότητας διαχωρισμού λιπαρών - δημιουργίας υμένα στην κορυφή του γιαουρτιού
	Παραγωγή ενεργών σουλφυδρικών ομάδων (-SH)	Γεύση «μαγειρεμένου», μείωση δυναμικού οξειδοαναγωγής, δημιουργία αντιοξειδωτικών ιδιοτήτων
	Δημιουργία συμπλόκων α-λακταλβουμίνης και β-λακτοσφαιρίνης	Μεγαλύτερη σταθερότητα του πήγματος
	Σύνδεση β-λακτοσφαιρίνης με κ-καζεΐνη	Ελαχιστοποίηση συναίρεσης, αύξηση μεγέθους μικκυλίων, αύξηση σταθερότητας του πήγματος
Καζεΐνες	Μερική υδρόλυση, απελευθέρωση γλυκοπεπτιδίων από τις κ-καζεΐνες	Μικρή αύξηση ελεύθερων αμινοξέων και πεπτιδίων
	Αποφωσφορυλίωση	Μικρής κλίμακας ανακατανομή του φωσφόρου

	Συσσωμάτωση, διαμοριακή σύνδεση μέσω αλυσίδων	Αύξηση μεγέθους μικκυλίων, δημιουργία πρωτεϊνικού δικτύου
Ένζυμα	Απενεργοποίηση	Ελαχιστοποίηση ταγγισμού και πικρής γεύσης
Αμινοξέα	Αποσύνθεση, μετατροπή σε συστατικά γεύσης	Βελτίωση γεύσης
Λακτόζη	Αποσύνθεση προς οργανικά οξέα, φουρφουράλη και υδροξυ-μεθυλο-φουρφουράλη	Μείωση pH και δυναμικού οξειδοαναγωγής, παραγωγή μυρμικικού οξέος, επίδραση στην καλλιέργεια εκκίνησης και στη γεύση
Λίπη	Δημιουργία λακτονών, μεθυλοκετονών και άλλων πτητικών κετονών	Επίδραση σε άρωμα και γεύση
Βιταμίνες	Καταστροφή υδατοδιαλυτών βιταμινών	Μείωση θρεπτικής αξίας
Άλατα	Ανακατανομή Ca, P και Mg μεταξύ της διαλυτής και της κολλοειδούς φάσης	Μείωση pH και χρόνου πήξης, μεταβολές στα πρωτεϊνικά σύμπλοκα
Μικροοργανισμοί	Εξουδετέρωση όλων ή μέρους τους ανάλογα με το είδος και την ένταση της κατεργασίας	Ασφάλεια καταναλωτή, βελτίωση ποιότητας
Αέρια	Μείωση διαλυμένου οξυγόνου, αζώτου και διοξειδίου του άνθρακα	Ασφάλεια καταναλωτή, βελτίωση ποιότητας

1.5.16 Εμβολιασμός – Ζύμωση

Έπειτα από το στάδιο της θερμικής κατεργασίας, το γάλα ψύχεται και εμβολιάζεται με την οξυγαλακτική καλλιέργεια, η οποία αποτελείται από στελέχη των μικροοργανισμών *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* και *Streptococcus thermophilus* σε αναλογία περίπου 1:1, ώστε να ξεκινήσει η ζύμωση. Η ψύξη γίνεται στους 40-45°C, θερμοκρασία βέλτιστη για την ανάπτυξη των εν λόγω μικροοργανισμών. Κατά τη διαδικασία της ζύμωσης, η λακτόζη που περιέχεται στο γάλα μετατρέπεται από τους μικροοργανισμούς σε γαλακτικό οξύ μειώνοντας έτσι το pH, καθιστώντας δηλαδή το γάλα ολοένα και πιο όξινο.

Η καλλιέργεια εκκίνησης μπορεί να βρίσκεται υπό διάφορες μορφές. Στη βιομηχανία προτιμάται συνήθως η χρήση λυοφιλιωμένων ή κατεψυγμένων (deep-frozen) καλλιεργειών. Άλλες μορφές είναι οι υγρές καλλιέργειες, των οποίων η χρήση έχει σχεδόν εγκαταλειφθεί, οι

συμπυκνωμένες, λυοφιλιωμένες και κατεψυγμένες καλλιέργειες σε σκόνη και τα υπερ-συμπυκνώματα σε εύκολα διαλυτή μορφή για άμεσο εμβολιασμό.

Στη βιομηχανική παραγωγή, ο εμβολιασμός της καλλιέργειας εκκίνησης στο γάλα γίνεται υπό ασηπτικές συνθήκες. Η ποσότητα που προστίθεται είναι συνήθως 2 g/100 mL. Η ποσότητα εμβολιασμού είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς επηρεάζει τα οργανοληπτικά και φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του γιαουρτιού. Συγκεκριμένα, προσθήκη μικρότερης ποσότητας από την απαιτούμενη τείνει να επιμηκύνει το χρονικό διάστημα της ζύμωσης και να ελαττώνει τη σταθερότητα και τη συνεκτικότητα του πήγματος, αυξάνοντας και τον διαχωρισμό ορού. Από την άλλη, εμβολιασμός με υπερβολική ποσότητα καλλιέργειας μπορεί να οδηγήσει σε ταχεία αύξηση της οξύτητας, μείωση της ικανότητας ενυδάτωσης των πρωτεϊνών και συναίρεση κατά την αποθήκευση.

Μόλις ολοκληρωθεί ο εμβολιασμός, για να γίνει η ζύμωση, το γάλα τοποθετείται είτε σε κύπελλα (συνεκτικό ή set γιαούρτι), είτε σε δεξαμενή (αναμεμιγμένο ή stirred γιαούρτι). Στην περίπτωση του αναμεμιγμένου γιαουρτιού, μετά το πέρας της ζύμωσης ακολουθεί ανάμιξη του πήγματος και διανομή του σε κύπελλα (Tamime and Robinson, 1999; Yildez, 2009).

Παρακάτω παρατίθενται πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά των γαλακτικών βακτηρίων, που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή γιαουρτιού.

1.5.17 Γαλακτικά βακτήρια

Τα γαλακτικά βακτήρια είναι τα κύρια μέσα παραγωγής γιαουρτιού και άλλων ζυμωμένων γαλακτοκομικών προϊόντων. Εμφανίζουν μεγάλη γενετική ποικιλία, με πολλές διαφοροποιήσεις, όμως αρκετά χαρακτηριστικά τους παραμένουν σταθερά. Συγκεκριμένα, είναι θετικά κατά Gram, μη κινητά και μη σπορογόνα. Επίσης, δεν μπορούν να παράγουν καταλάση και κυτόχρωμα. Αναπτύσσονται υπό αναερόβιες συνθήκες, είναι όμως αεροανεκτικά. Ζυμώνουν σάκχαρα προς γαλακτικό οξύ, το οποίο αποτελεί το κύριο προϊόν της ζύμωσης. Τέλος, τείνουν να εμφανίζουν μεγάλη απαιτητικότητα σε θρεπτικά συστατικά, κυρίως σε συγκεκριμένα αμινοξέα και βιταμίνες Β (Walstra, Wouters and Geurts, 2006).

1.5.17.1 Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus

Τα βακτήρια που ανήκουν στο γένος *Lactobacillus* είναι θετικά κατά Gram, το σχήμα τους είναι ραβδοειδές και δεν παράγουν σπόρια. Η μορφολογία τους εμφανίζει ποικιλία, αφού κάποια έχουν τη μορφή μακριάς, ίσιας ράβδου, άλλα είναι καμπυλοειδή, ενώ άλλα έχουν σχήμα μικρής, σχεδόν κοκκοειδούς ράβδου. Το βακτήριο *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* (*L. Bulgaricus*) μαζί με τα *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *lactis* (*L. lactis*) και *Lactobacillus delbrueckii* ssp. D*elbrueckii* αποτελούν τα τρία υποείδη του *L. delbrueckii* ssp., που ανήκει στο γένος *Lactobacillus*. Τα δύο πρώτα απαντώνται στο γάλα και στα γαλακτοκομικά προϊόντα, ενώ το *L. Bulgaricus* χρησιμοποιείται στην παραγωγή γιαουρτιού. Όσον αφορά το μεταβολισμό σακχάρων, το γένος *Lactobacillus* περιλαμβάνει βακτήρια που ανήκουν στις εξής κατηγορίες:

- Υποχρεωτικά ομοζυμωτικά βακτήρια
- Προαιρετικά ετεροζυμωτικά βακτήρια
- Υποχρεωτικά ετεροζυμωτικά βακτήρια

Το υποείδος *L. Bulgaricus* ανήκει στην κατηγορία των υποχρεωτικά ομοζυμωτικών βακτηρίων, που σημαίνει ότι κατά τον μεταβολισμό σακχάρων παράγει κυρίως ένα προϊόν. Συγκεκριμένα, στην παραγωγή γιαουρτιού, μεταβολίζει τη λακτόζη σε (D+) γαλακτικό οξύ. Η βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξής του είναι οι 45°C (Chandan, 2006; Yildez, 2009).

1.5.17.2 Streptococcus thermophilus

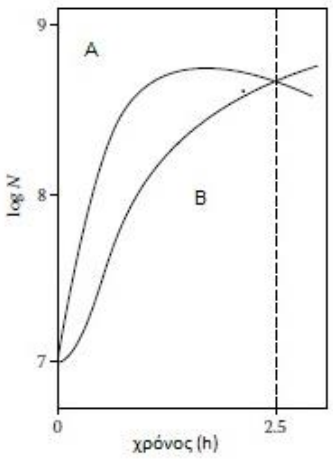
Τα βακτήρια *Streptococcus thermophilus* ανήκουν στο γένος των στρεπτόκοκκων, το οποίο χωρίζεται σε πέντε βασικές κατηγορίες. Ο *S. Thermophilus* ανήκει στην κατηγορία salivarius, όπως επίσης και οι *Streptococcus salivarius* και *Streptococcus vestibularis* (Yildez, 2009). Από τα 27 είδη στρεπτόκοκκων μόνο ο *S. Thermophilus* χρησιμοποιείται στην παραγωγή γιαουρτιού. Μορφολογικά, είναι βακτήριο σφαιρικού, ωοειδούς σχήματος. Επίσης, όπως και ο *L. Bulgaricus,* ο *S. Thermophilus,* είναι βακτήριο θετικό κατά Gram. Ανήκει στην κατηγορία των υποχρεωτικά ομοζυμωτικών βακτηρίων και παράγει (L) γαλακτικό οξύ. Οι κόκκοι διατάσσονται είτε σε μικρές αλυσίδες, είτε σε ζευγάρια (Chandan, 2006; Walstra, Wouters and Geurts, 2006).

Η βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξής του είναι οι 37°C, όμως κάποιες μεταβολικές του δραστηριότητες, όπως η παραγωγή πολυσακχαριτών και η σύνθεση ακεταλδεΰδης, μπορούν να λάβουν χώρα σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Η ανάπτυξή του καταστέλλεται σε θερμοκρασία 10°C (Yildez, 2009).

1.5.17.3 Συμβιωτική καλλιέργεια εκκίνησης

Η καλλιέργεια εκκίνησης στην παραγωγή γιαουρτιού αποτελείται από στελέχη των *S. thermophilus* και *L. bulgaricus*. Οι μικροοργανισμοί αυτοί ευθύνονται για το χαρακτηριστικό άρωμα, τη γεύση και την υφή του γιαουρτιού. Η ανάπτυξή τους μπορεί να γίνει και χωριστά, όμως όταν χρησιμοποιούνται μαζί, ο ρυθμός παραγωγής γαλακτικού οξέος είναι σημαντικά μεγαλύτερος. Ενδεικτικά, αξίζει να αναφερθεί ότι σε περίπτωση που χρησιμοποιούνταν χωριστά, η ζύμωση θα διαρκούσε 12-16 h, χρόνος πολύ μεγαλύτερος από τις περίπου 4 h που διαρκεί η ζύμωση με συμβιωτική καλλιέργεια. Η συνεργιστική δράση των δύο μικροοργανισμών οφείλεται στις ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης που εξασφαλίζει το ένα στέλεχος στο άλλο. Αναλυτικότερα, τα πρωτεολυτικά, ραβδόμορφα βακτήρια *L. bulgaricus* συνθέτουν μικρά πεπτίδια και αμινοξέα παρακινώντας και ενισχύοντας την ανάπτυξη του *S. thermophilus.* Από την άλλη, και ο *S. thermophilus* βοηθά στην ανάπτυξη του *L. bulgaricus,* διότι παράγει μυρμικικό οξύ από πυροσταφυλικό, υπό αναερόβιες συνθήκες με ταχεία παραγωγή CO_2. Αυτή η αμφίδρομη ενίσχυση της ανάπτυξης των δύο στελεχών καθιστά σημαντικά πιο γρήγορη την παραγωγή γαλακτικού οξέος. Στο γιαούρτι παρατηρείται και κάποια αντιβιοτική δράση, αφού τα βακτήρια *S. thermophilus* δεν μπορούν να αναπτυχθούν όταν η οξύτητα αυξηθεί και ξεπεράσει μία ορισμένη τιμή. Αντίθετα, τα βακτήρια *L. bulgaricus* είναι πιο ανθεκτικά στην οξύτητα και συνεχίζουν να αναπτύσσονται.

Η ανάπτυξη των δύο μικροοργανισμών στο γιαούρτι εξελίσσεται σε δύο στάδια. Αρχικά, ο *S. thermophilus* αναπτύσσεται γρηγορότερα χάρις στα μεταβολικά προϊόντα που παράγει ο *L. bulgaricus*. Έπειτα, η ανάπτυξή του καταστέλλεται λόγω της αυξημένης οξύτητας. Από την άλλη, ο *L. bulgaricus* ξεκινά να αναπτύσσεται ταχέως λόγω των μεταβολικών προϊόντων (μυρμικικό οξύ και CO_2) που παράγονται από τον *S. thermophilus.* Έτσι, τελικά η συγκέντρωση των μικροοργανισμών επανέρχεται στην αρχική αναλογία.



Εικόνα 1.5.2 - Διάγραμμα ανάπτυξης S. thermophilus (A) και *L. bulgaricus* (B), N=πληθυσμός (Walstra, Wouters and Geurts, 2006)

Οι *S. thermophilus* και *L. bulgaricus* παράγουν μεταβολικά προϊόντα, τα οποία συνεισφέρουν στη γεύση, στο άρωμα, καθώς και στη σταθερότητα και στην υφή του γιαουρτιού. Τα προϊόντα αυτά είναι τα εξής:

- **Γαλακτικό οξύ**: Αποτελεί το κύριο μεταβολικό προϊόν της ζύμωσης. Παράγεται και από τα δύο στελέχη μέσω ομοζυμωτικής μετατροπής της γλυκόζης. Ο *S. thermophilus* παράγει L(+) γαλακτικό οξύ, ενώ ο *L. bulgaricus* το εναντιομερές D(+) γαλακτικό οξύ. Τα δύο ισομερή παράγονται σε ίδιες σχεδόν ποσότητες. Η παραγόμενη γαλακτόζη από την αποσύνθεση της λακτόζης δεν μετατρέπεται σε οξύ, για αυτό και η συγκέντρωσή της αυξάνεται με αύξηση της περιεκτικότητας του γάλακτος σε λακτόζη. Η περιεκτικότητα του γιαουρτιού σε γαλακτικό οξύ ανέρχεται σε 0.7-0.9% w/w (80-100 mM).
- **Ακεταλδεΰδη:** Η ουσία αυτή ευθύνεται εν πολλοίς για το χαρακτηριστικό άρωμα του γιαουρτιού. Το μεγαλύτερο ποσοστό της παράγεται από το *L. bulgaricus* μέσω μετατροπής της γλυκόζης. Σημαντική ένωση-πρόδρομός της είναι το αμινοξύ θρειονίνη, το οποίο βρίσκεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις στο γάλα. Επίσης, μπορεί να παραχθεί και από υποβάθμιση της θυμιδίνης. Η περιεκτικότητά της στο γιαούρτι είναι περίπου 10 mg/kg (0.2 mM).
- **Διακετύλιο:** Αποτελεί συστατικό που επίσης επηρεάζει τη γεύση και το άρωμα του γιαουρτιού. Παράγεται κυρίως από τον *S. thermophilus* και σε μικρότερο βαθμό από τον *L. bulgaricus*. Το πυροσταφυλικό οξύ που παράγεται κατά τη ζύμωση αποτελεί τη μόνη πρόδρομη ένωσή του, αφού τα γαλακτικά βακτήρια δεν αποσυνθέτουν το κιτρικό οξύ. Η περιεκτικότητα του διακετυλίου στο γιαούρτι κυμαίνεται από 0.8 έως 1.5 mg/kg (0.01-0.02 mM).
- **Πολυσακχαρίτες:** Παράγονται από τα γαλακτικά βακτήρια υπό τη μορφή αλυσίδων γαλακτόζης και άλλων γλυκιδίων, οι οποίες επικαλύπτονται και σχηματίζουν στρώμα. Ένα μέρος του μπορεί να εκκριθεί στο υγρό τμήμα του γιαουρτιού, σχηματίζοντας τους λεγόμενους «εξωπολυσακχαρίτες». Η συνεισφορά τους στη συνεκτικότητα του γιαουρτιού, κυρίως του αναμεμιγμένου, είναι ιδιαίτερα σημαντική.
- **Οξικό οξύ:** Παράγεται σε μικρές ποσότητες από το *S. thermophilus* μέσω μετατροπής του πυροσταφυλικού οξέος. Επηρεάζει σημαντικά τη γεύση και το άρωμα και σε μεγάλες περιεκτικότητες προσδίδει μη επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, όπως τραχεία υφή και αρκετά όξινη γεύση
- **Μυρμικικό οξύ:** Παράγεται υπό τη μορφή ανιόντων από το *S. thermophilus* και ενισχύει την ανάπτυξη του *L. bulgaricus*.

Τέλος, σε μικρές ποσότητες παράγονται και CO_2 και αιθανόλη (Walstra, Wouters and Geurts, 2006; Yildez, 2009).

1.5.18 Σχηματισμός πήγματος

Ο σχηματισμός πήγματος κατά την παραγωγή του γιαουρτιού οφείλεται σε διάφορες βιολογικές και φυσικοχημικές αντιδράσεις μεταξύ των συστατικών του γάλακτος με κυριότερη την αποσταθεροποίηση των καζεϊνικών μικκυλίων. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στη δημιουργία του πήγματος παίζουν η θερμική κατεργασία, η σύσταση του γάλακτος και το είδος της καλλιέργειας εκκίνησης.

Το πήγμα του γιαουρτιού περιλαμβάνει μακρομόρια, κυρίως καζεϊνες και λιποσφαιρίδια, και εμφανίζει συγκεκριμένη δομή, η οποία αποτελείται από ένα δίκτυο ομοιοπολικών (π.χ. δισουλφιδικών) και ετεροπολικών δεσμών (υδρόφοβων, ηλεκτροστατικών κ.α.). Ο σχηματισμός του πήγματος βασίζεται στην αλληλεπίδραση της αποσταθεροποιημένης από το γαλακτικό οξύ κ-καζεϊνης και των μετουσιωμένων από τη θερμική κατεργασία πρωτεϊνών ορού.

Η αύξηση της οξύτητας στο γάλα οδηγεί σε διαλυτοποίηση του κολλοειδούς φωσφορικού ασβεστίου, το οποίο κανονικά διατηρεί ενωμένα τα μικκύλια καζεϊνης, οδηγώντας έτσι σε απώλεια της σταθερότητάς τους. Παράλληλα, αυξάνεται η συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου (Ca^{2+}) στον ορό. Η διαδικασία της αποσταθεροποίησης των καζεϊνικών μικκυλίων εξαρτάται σημαντικά από την τιμή του pH, τη συγκέντρωση των ιόντων Ca^{2+} και τη θερμοκρασία. Όσο η τιμή του pH μειώνεται και πλησιάζει το ισοηλεκτρικό σημείο των καζεϊνών (pH=4.6), το αρνητικό φορτίο τους μειώνεται, επομένως μειώνεται και η ηλεκτροστατική άπωση μεταξύ φορτισμένων ομάδων, όπως οι φωσφοσερίνες. Οι υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πρωτεϊνών ενισχύονται, συνεπώς αυξάνεται και η ηλεκτροστατική έλξη μεταξύ τους. Η τιμή του pH αποτελεί βασικό παράγοντα για την εξέλιξη των δράσεων αυτών, για αυτό και ο συνολικός μηχανισμός δημιουργίας του πήγματος γιαουρτιού μπορεί να χωριστεί με βάση την τιμή του pH στα τρία παρακάτω στάδια:

- **pH 6.7-6.0:** Το μέγεθος των μικκυλίων παραμένει σχεδόν αμετάβλητο, διότι μόνο ένα μικρό μέρος του φωσφορικού ασβεστίου διαλυτοποιείται. Η ηλεκτροστατική άπωση μεταξύ των πρωτεϊνών αρχίζει να μειώνεται λόγω μείωσης του αρνητικού φορτίου τους.
- **pH 6.0-5.0:** Στην περιοχή αυτή παρατηρείται ραγδαία μείωση του αρνητικού φορτίου των πρωτεϊνών. Εξαιτίας αυτής, μειώνονται σημαντικά η ηλεκτροστατική άπωση και η στερεοχημική σταθεροποίησή τους, οι οποίες ευθύνονται για τη διατήρηση της σταθερότητας των μικκυλίων στο γάλα. Ταυτόχρονα, το φωσφορικό ασβέστιο που είναι συνδεδεμένο με τα μικκύλια διαλυτοποιείται, έχοντας ως αποτέλεσμα τη μείωση των ηλεκτροστατικών απώσεων μεταξύ ομάδων φωσφοσερινών και την εξασθένιση της εσωτερικής δομής των μικκυλίων. Στην περιοχή pH=5.6 με 5.1 λαμβάνει χώρα η εντονότερη αποσταθεροποίηση των μικκυλίων λόγω χαλάρωσης των εσωτερικών

και διαμοριακών δεσμών τους, που προκαλείται από την απώλεια του ασβεστίου. Στην περιοχή του pH=5.0 έχει επέλθει πλήρης διαλυτοποίηση του ασβεστίου.

- **pH=5.0-4.6:** Καθώς το pH πλησιάζει στο ισοηλεκτρικό σημείο των καζεϊνών, το αρνητικό τους φορτίο, επομένως και η ηλεκτροστατική άπωση μεταξύ τους, συνεχίζουν να μειώνονται. Όμως, σε pH~4.8 ευνοούνται οι υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις, για αυτό τα διασπασμένα καζεϊνικά μέρη επανενώνονται σχηματίζοντας μεγαλύτερα συσσωματώματα. Κατά την ένωσή τους εγκλωβίζονται στο εσωτερικό τους νερό και άλλα συστατικά του γάλακτος και δημιουργείται ένα τρισδιάστατο δίκτυο αποτελούμενο από συσσωματώματα, αλυσίδες καζεϊνών και παγιδευμένα συστατικά. Το πλέγμα αυτό αποτελεί το πήγμα του γιαουρτιού.

Η διαδικασία δημιουργίας του πήγματος μπορεί να συνοψιστεί και στα παρακάτω στάδια:

1. Αρχική λανθάνουσα φάση χαμηλού ιξώδους.
2. Στάδιο ταχείας μεταβολής του ιξώδους λόγω μέγιστου ρυθμού ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων. Έναρξη δημιουργίας πήγματος.
3. Στάδιο υψηλού σταθερού ιξώδους. Η διαδικασία δημιουργίας πήγματος έχει σχεδόν ολοκληρωθεί.
4. Στάδιο συναίρεσης. Φάση θανάτου των γαλακτικών βακτηρίων.

Αξίζει να αναφερθεί ότι η έντονη θερμική κατεργασία (85-90°C για 10 περίπου min) που υπόκειται το γάλα κατά την παραγωγή γιαουρτιού συνεισφέρει σημαντικά στη δημιουργία σταθερού και συνεκτικού πλέγματος, διότι η υψηλή θερμοκρασία προκαλεί μετουσίωση των πρωτεϊνών ορού, οι οποίες κατά τη ζύμωση συνδέονται με τα διασπασμένα καζεϊνικά μέρη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού και της σταθερότητας των νέων δεσμών, επομένως ευνοείται η δημιουργία πιο σταθερού και συνεκτικού πλέγματος (Dalgleish and Law, 1988; Yildez, 2009; Lee and Lucey, 2010).

1.5.19 Μοντέλο Gompertz

Η ζύμωση του γάλακτος προς γιαούρτι απεικονίζεται με μία σιγμοειδή καμπύλη, η οποία προκύπτει από προσαρμογή των δεδομένων pH και ιξώδους στην εξίσωση Gompertz. Συγκεκριμένα, για τη μεταβολή του pH, η αντίστοιχη εξίσωση είναι η:

$$pH = pH_0 + (pH_\infty - pH_0) \cdot exp\left\{-exp\left[\frac{\mu \cdot e}{pH_\infty - pH_0} \cdot (\lambda - t) + 1\right]\right\}$$

Όπου

pH_0: η αρχική τιμή του pH

pH_∞: η τιμή του pH στο τέλος της ζύμωσης

μ: ο μέγιστος ρυθμός μείωσης του pH

λ: η λανθάνουσα φάση του pH

Αντίστοιχα για το φαινόμενο ιξώδες η εξίσωση Gompertz είναι η:

$$\mu_\alpha = \mu_{\alpha 0} + (\mu_{\alpha\infty} - \mu_{\alpha 0}) \cdot exp\left\{-exp\left[\frac{\mu \cdot e}{\mu_{\alpha\infty} - \mu_{\alpha 0}} \cdot (\lambda - t) + 1\right]\right\}$$

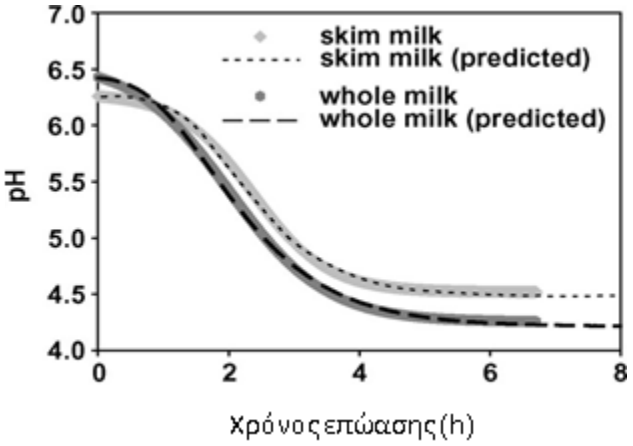
Όπου

$\mu_{\alpha 0}$: η αρχική τιμή του ιξώδους

$\mu_{\alpha\infty}$: η τιμή του ιξώδους στο τέλος της ζύμωσης

μ: ο μέγιστος ρυθμός αύξησης του ιξώδους

λ: η λανθάνουσα φάση του ιξώδους



Εικόνα 1.5.3 – Μεταβολή του pH κατά τη ζύμωση αποβουτυρωμένου και πλήρους γάλακτος σύμφωνα με το μοντέλο Gompertz

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, η σιγμοειδής καμπύλη μπορεί να χωριστεί σε τρία τμήματα. Το πρώτο τμήμα εκφράζει τη δράση του βακτηρίου *S. Thermophilus,* το δεύτερο εκφράζει τη δράση του *S. Thermophilus* μαζί με το *L. Bulgaricus* και το τρίτο αντιστοιχεί στη δράση του *L. Bulgaricus.* Το δεύτερο τμήμα έχει τη μεγαλύτερη κλίση και αντιστοιχεί στο μέγιστο ρυθμό μείωσης του pH, κάτι που είναι λογικό, αφού στο τμήμα αυτό η μετατροπή της λακτόζης σε γαλακτικό οξύ γίνεται και από τα δύο βακτήρια, άρα μεγιστοποιείται.

1.5.20 Ψύξη

Η μεταβολική δραστηριότητα των γαλακτικών βακτηρίων αναστέλλεται σχεδόν ολοκληρωτικά σε θερμοκρασία χαμηλότερη των 10°C. Επομένως, για την αποφυγή της περαιτέρω ζύμωσης και της υπερβολικής αύξησης της οξύτητας, το ζυμωμένο γάλα υπόκειται σε ψύξη, μόλις φτάσει στην επιθυμητή τιμή pH, η οποία καθορίζεται με βάση το

είδος του παραγόμενου γιαουρτιού, τη μέθοδο ψύξης και την αποτελεσματική μεταφορά θερμότητας. Συνήθως, η ψύξη ξεκινά σε τιμή pH=4.6-4.7.

Στη βιομηχανία χρησιμοποιείται συνήθως η **ψύξη δύο σταδίων**. Κατά το πρώτο στάδιο εφαρμόζεται ανάδευση εντός δεξαμενής στο ζυμωμένο γάλα προς ομογενοποίησή του και έπειτα ψύξη σε ειδικούς θαλάμους στους 20°C. Στο σημείο αυτό μπορεί να γίνει και προσθήκη φρούτων ή άλλων συστατικών και ακολουθεί διανομή του γιαουρτιού σε κύπελλα. Το δεύτερο στάδιο της ψύξης λαμβάνει χώρα εντός των κυπέλλων, τα οποία τοποθετούνται σε ψυγείο με στόχο τη μείωση της θερμοκρασίας κάτω από τους 10°C, με βέλτιστη τους 5°C. Μετά από 1-2 ημέρες αποθήκευσης στο ψυγείο και με την προϋπόθεση ότι παραμένει το πήγμα αδιατάρακτο, το ιξώδες του γιαουρτιού βελτιώνεται σημαντικά.

Στην **ψύξη ενός σταδίου**, η θερμοκρασία του ζυμωμένου γάλακτος μειώνεται άμεσα από τους 40-45°C σε θερμοκρασία χαμηλότερη των 10°C, συνήθως στους περίπου 5°C. Η μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως σε παραγωγή συνεκτικού (set) γιαουρτιού. Αν και θεωρείτο ότι ένα πήγμα χαμηλής θερμοκρασίας (5°C) είναι πιο σταθερό από ένα άλλο στους 20°C, στην πραγματικότητα το χαμηλότερο ιξώδες του δεύτερου το καθιστά λιγότερο ευάλωτο στις καταπονήσεις που ακολουθούν στα επόμενα στάδια, δηλαδή στη μηχανική καταπόνηση κατά την προσθήκη φρούτων ή άλλων συστατικών και κατά τη μεταφορά στα κύπελλα. Για το λόγο αυτό η ψύξη ενός σταδίου χρησιμοποιείται σπανίως στη γαλακτοβιομηχανία.

Σημαντικό παράγοντα στην παραγωγή ενός γιαουρτιού με επιθυμητά χαρακτηριστικά υφής αποτελεί ο ρυθμός ψύξης. Συγκεκριμένα, υπερβολικά ταχεία ψύξη μπορεί να προκαλέσει μη σταθερό πήγμα και διαχωρισμό ορού κατά την αποθήκευση. Συνεπώς, η ψύξη πρέπει να λαμβάνει χώρα σταδιακά και να χρησιμοποιείται ο κατάλληλος εξοπλισμός και τα σωστά υλικά συσκευασίας (Tamime and Robinson, 1999; Yildez, 2009).

1.5.21 Προσθήκη φρούτων/αρωματικών/βελτιωτικών γεύσης

Το γιαούρτι με φρούτα αποτελεί προϊόν με μεγάλη ζήτηση από το καταναλωτικό κοινό. Στη βιομηχανία η προσθήκη φρέσκων φρούτων στο γιαούρτι αποφεύγεται λόγω της εποχικότητάς τους και της υψηλής ευαισθησίας τους σε αλλοιώσεις. Αντιθέτως, χρησιμοποιούνται είτε κατεψυγμένα, είτε επεξεργασμένα φρούτα, τα οποία συνδυάζονται με γλυκαντικά (π.χ. σιρόπι ζάχαρης), σταθεροποιητές, ρυθμιστές pH και άλλα πρόσθετα. Η χρήση επεξεργασμένων φρούτων προσφέρει σημαντικά οφέλη στη βιομηχανία. Συγκεκριμένα, εξασφαλίζεται ότι αυτά είναι απαλλαγμένα από μύκητες και μούχλα, ενώ το χρώμα τους και η γλυκύτητά τους μπορούν να διαφοροποιηθούν με χρήση χρωστικών ουσιών και ζάχαρης προς βελτίωση της εμφάνισης και της γεύσης του τελικού προϊόντος. Η θερμοκρασία του γιαουρτιού κατά την ανάμιξη με τα φρούτα παίζει πρωταρχικό ρόλο στην υφή του τελικού προϊόντος. Για το λόγο αυτό η προσθήκη τους γίνεται μετά το πρώτο στάδιο

της ψύξης του γιαουρτιού στους 20°C. Ειδάλλως, η προσθήκη τους σε υψηλή θερμοκρασία θα οδηγούσε σε χαμηλό ιξώδες και κοκκώδη υφή (Yildez, 2009).

Η θερμική κατεργασία των φρούτων, που προηγείται της προσθήκης τους στο γιαούρτι, μπορεί να επηρεάσει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους, συγκεκριμένα να μειώσει την ένταση της γεύσης και του αρώματός τους. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού χρησιμοποιούνται ουσίες που βελτιώνουν τη γεύση και τα αρωματικά. Οι ουσίες αυτές μπορεί να είναι είτε φυσικές είτε συνθετικές. Η καταλληλόλητά τους και η ποσότητα που δύναται να προστεθεί στο γιαούρτι ορίζονται από τη νομοθεσία κάθε κράτους (Tamime and Robinson, 1999).

Διάφορα άλλα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται μεταξύ άλλων για την παραγωγή επιθυμητών από τον καταναλωτή προϊόντων είναι τα εξής:

- **Ξηροί καρποί:** καρύδι, φουντούκι, αμύγδαλο
- **Δημητριακά:** βρώμη, μούσλι
- **Γλυκά προϊόντα:** μέλι, σιρόπι, βούτυρο
- **Λαχανικά:** αγγούρι, τομάτα, πιπεριά
- **Άλλα:** καφές, βανίλια, πάπρικα

1.5.22 Συσκευασία

Το τελικό στάδιο της παραγωγής του γιαουρτιού είναι η τοποθέτηση του προϊόντος σε κύπελλα. Η επιλογή του κατάλληλου υλικού συσκευασίας είναι εξαιρετικά σημαντική για την ασφάλεια του καταναλωτή και τη διατήρηση της ποιότητας του προϊόντος. Συνεπώς, το υλικό θα πρέπει να πληροί τις προϋποθέσεις που επιβάλλονται από τους αρμόδιους φορείς, κάποιες από τις οποίες είναι οι εξής:

- Αντοχή στη μηχανική καταπόνηση και στην επίδραση των συνθηκών του περιβάλλοντος.
- Προστασία του προϊόντος από φως, οσμές, κ.α.
- Αδρανές υλικό, να μην αντιδρά με το προϊόν.
- Απουσία τοξικότητας.
- Φιλικό προς το περιβάλλον υλικό.

Στη βιομηχανία χρησιμοποιούνται συνήθως θερμικά επεξεργασμένα κύπελλα πολυβινυλοχλωριδίου (PVC), πολυπροπυλενίου (PP), πολυστυρενίου (PS) και πολυαιθυλενίου (PE). Τα τελευταία χρόνια έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο υλικά βιοσυσκευασίας όπως το πολυγαλακτικό οξύ (PLA), χάρις στις θετικές τους ιδιότητες και στον φιλικό προς το περιβάλλον χαρακτήρα τους. Σε σχετικά σπάνιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και κύπελλα από πηλό. Το μέγεθος των κυπέλλων διαφέρει

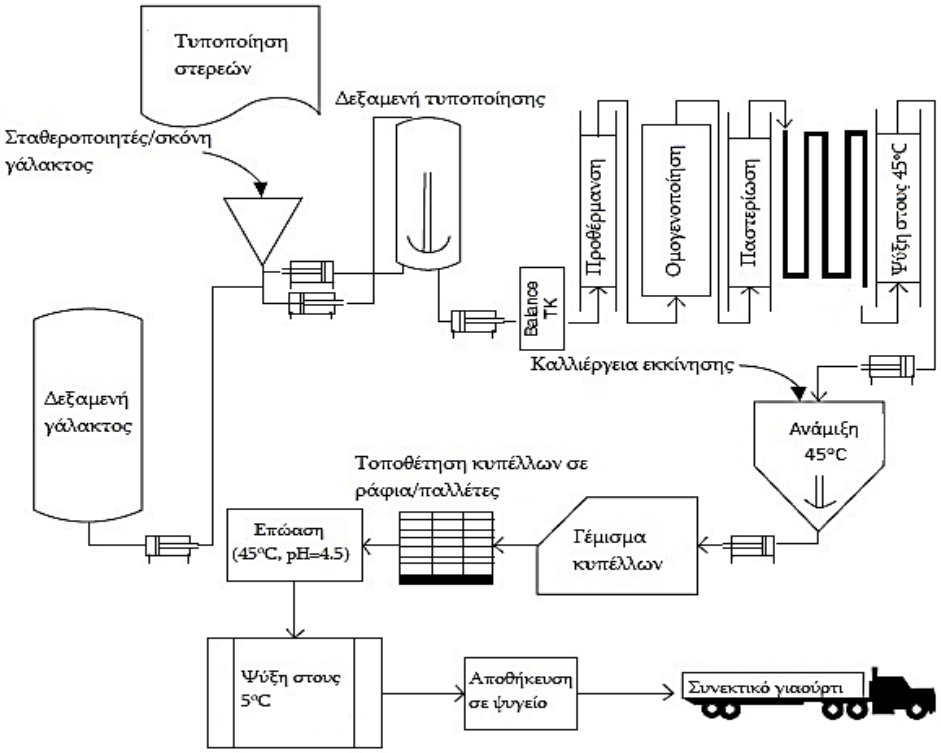
ανάλογα με το προϊόν, συνήθως όμως προτιμώνται κύπελλα της τάξης των 250 g περίπου (Tamime and Robinson, 1999; Yildez, 2009).

1.6 Είδη γιαουρτιού

Η αγορά του γιαουρτιού είναι εξαιρετικά σύνθετη, με μεγάλη ποικιλία προϊόντων. Η εξέλιξή της καθορίζεται από τις προτιμήσεις του καταναλωτικού κοινού, τον τρόπο ζωής και τις διατροφικές συνήθειες του πληθυσμού. Επίσης, δεδομένου ότι η κατανάλωση γιαουρτιού λαμβάνει χώρα παγκοσμίως, είναι λογικό το τρόφιμο να παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία, με σημαντικές διαφοροποιήσεις όσον αφορά τη γεύση, την εμφάνιση, την υφή και τον τρόπο παραγωγής. Παρακάτω παρουσιάζονται οι πιο διαδεδομένες κατηγορίες γιαουρτιού (Tamime and Robinson, 1999; Chandan, 2006; Yildez, 2009).

1.6.1 Συνεκτικό (set) γιαούρτι

Κατά την παραγωγή συνεκτικού γιαουρτιού, το γάλα τυποποιείται, ομογενοποιείται, παστεριώνεται και ψύχεται στους 40-45°C, για να προστεθεί έπειτα η καλλιέργεια εκκίνησης και να ξεκινήσει η ζύμωση. Ακολούθως, το γάλα με την καλλιέργεια τοποθετείται σε κύπελλα. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτού του είδους γιαουρτιού είναι ότι η ζύμωση λαμβάνει χώρα εντός των κυπέλλων. Τα κύπελλα τοποθετούνται σε ράφια ή παλέτες, ώστε να αποφευχθεί η διατάραξή τους, που μπορεί να προκαλέσει καταστροφή του πήγματος.

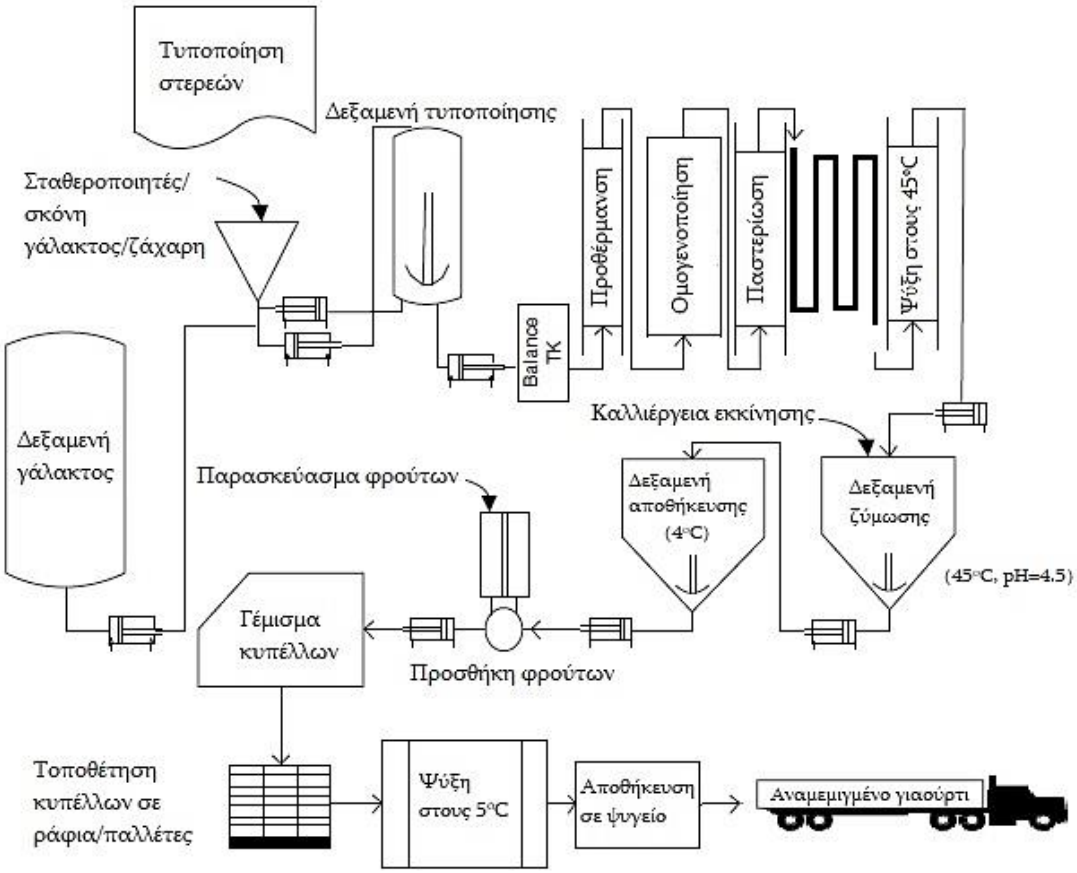


Εικόνα 1.6.1 - Παραγωγική διαδικασία set γιαουρτιού (Chandan, 2006)

1.6.2 Αναμεμιγμένο (stirred) γιαούρτι

Η παραγωγική διαδικασία του αναμεμιγμένου γιαουρτιού περιλαμβάνει τα ίδια βασικά στάδια με αυτήν του συνεκτικού, δηλαδή τυποποίηση, ομογενοποίηση, παστερίωση και ψύξη του γάλακτος στους 40-45°C, όμως μετά την προσθήκη της καλλιέργειας εκκίνησης, η επώαση λαμβάνει χώρα εντός δεξαμενής, όπου το πήγμα διαταράσσεται μέσω ανάδευσης και έπειτα ψύχεται και τοποθετείται στη συσκευασία. Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή ενός πιο υγρού γιαουρτιού, με διαφορετική υφή από το συνεκτικό.

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 1.6.2, η προσθήκη σταθεροποιητών και γλυκαντικών γίνεται στην αρχή της παραγωγικής διαδικασίας, ενώ η προσθήκη των φρούτων λαμβάνει χώρα στο στάδιο της ψύξης του γιαουρτιού.



Εικόνα 1.6.2 - Παραγωγική διαδικασία αναμεμιγμένου γιαουρτιού (Chandan, 2006)

1.6.3 Στραγγιστό (strained) γιαούρτι

Το στραγγιστό γιαούρτι είναι ένα είδος γιαουρτιού από το οποίο έχει αφαιρεθεί ο ορός. Παραδοσιακά, η αφαίρεση του ορού γινόταν με χρήση υφασμάτινων φίλτρων. Η τεχνική αυτή όμως λόγω της μειωμένης απόδοσης έχει σταδιακά εγκαταλειφθεί από τη σύγχρονη βιομηχανία. Σήμερα, η απομάκρυνση του ορού μπορεί να γίνει με φυγοκέντρηση, με μηχανικό διαχωρισμό ή με υπερδιήθηση. Επίσης, σημαντική διαφοροποίηση της παραγωγικής διαδικασίας αυτού του είδους γιαουρτιού σε σχέση με τα προηγούμενα είναι ότι η ζύμωση γίνεται μέσα σε ζυμωτήρα. Το στραγγιστό γιαούρτι παρουσιάζει κρεμώδη υφή, πολύ υψηλό ιξώδες και συνεκτικότητα, χαρακτηριστική γεύση, ενώ περιέχει και υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες. Άλλες ονομασίες του είναι συμπυκνωμένο και ελληνικό γιαούρτι.

1.6.4 Άλλα προϊόντα γιαουρτιού

Πέραν από τις τρεις παραπάνω βασικές κατηγορίες, στην αγορά υπάρχει μεγάλη ποικιλία προϊόντων γιαουρτιού. Κάποια από αυτά είναι τα εξής:

- **Πόσιμο γιαούρτι/smoothie:** Το γιαούρτι αυτό παρουσιάζει χαμηλό ιξώδες και είναι αρκετά ρευστό, ώστε ο καταναλωτής να μπορεί να το πιει. Η μείωση του ιξώδους επιτυγχάνεται μέσω διατάραξης του τελικού πήγματος σε ζυμωτήρα. Συχνά μπορεί να περιέχει φρούτα και γλυκαντικά, ενώ είναι δυνατό να ενισχυθεί και με βιταμίνες, ανόργανα στοιχεία και προβιοτικά βακτήρια.
- **Παγωμένο γιαούρτι (frozen yogurt):** Το γιαούρτι αυτό παρουσιάζει αυξημένη ζήτηση από το καταναλωτικό κοινό τα τελευταία χρόνια. Για να παραχθεί, το ζυμωμένο γιαούρτι αναμιγνύεται με παγωτό χαμηλών λιπαρών ή χωρίς λιπαρά μέχρι να αποκτήσει τιμή pH ίση με 6. Στο μίγμα μπορούν να προστεθούν σταθεροποιητές, γαλακτωματοποιητές, σιρόπι και ξηροί καρποί πριν ψυχθεί στους 0°C. Το προϊόν αυτό αποτελεί το μαλακό παγωμένο γιαούρτι. Το μίγμα θα μπορούσε να ψυχθεί και σε πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία (-20 ^{o}C), για να αποκτήσει χαρακτηριστικά παγωτού. Στην περίπτωση αυτή καλείται σκληρό παγωμένο γιαούρτι.
- **Γιαούρτι με toppings:** Στο γιαούρτι αυτό συνήθως έχει γίνει προσθήκη γλυκαντικών. Σε ξεχωριστή πλαστική συσκευασία πάνω από το κύπελλο του γιαουρτιού περιλαμβάνονται τα toppings, τα οποία μπορεί να είναι δημητριακά, ξηροί καρποί, παρασκευάσματα φρούτων κ.α. Ο καταναλωτής τα αναμιγνύει με το γιαούρτι εντός του κυπέλλου.

1.7 Θρεπτική αξία γιαουρτιού

Ιστορικά, το γιαούρτι, όπως και το γάλα και τα υπόλοιπα γαλακτοκομικά προϊόντα, έχει αναγνωριστεί ως ένα από τα σημαντικότερα τρόφιμα για την ανθρώπινη διατροφή. Εικάζεται ότι η παραγωγή του ξεκίνησε κατά την περίοδο που ο άνθρωπος στράφηκε από το κυνήγι ζώων στη γεωργία και στην κτηνοτροφία. Σήμερα, χάρις στην πρόοδο της γαλακτοβιομηχανίας, ο καταναλωτής έχει στη διάθεση του μεγάλη ποικιλία γιαουρτιών διαφόρων ειδών, ενίοτε με αυξημένη θρεπτική αξία, για να επιλέξει.

Εκτιμάται ότι το γιαούρτι και τα υπόλοιπα γαλακτοκομικά προϊόντα συνεισφέρουν περίπου στο 5% της απαιτούμενης από τον ανθρώπινο οργανισμό ενέργειας. Μάλιστα, σε κάποιες χώρες στις οποίες η κατανάλωση γαλακτοκομικών προϊόντων είναι αυξημένη, όπως η Κίνα, η Ινδία και οι χώρες της βόρειας Ευρώπης το ποσοστό αυτό είναι διπλάσιο, ενώ ιδιαίτερα σημαντική είναι και η συνεισφορά των προϊόντων αυτών σε πρωτεΐνες και λιπαρά.

Το γιαούρτι θεωρείται προϊόν υψηλής θρεπτικότητας, κάτι που σημαίνει ότι διαθέτει υψηλή συγκέντρωση σημαντικών θρεπτικών στοιχείων σε σχέση με το ποσό ενέργειας που προσφέρει. Η χημική του σύσταση είναι παρόμοια με αυτή του γάλακτος από το οποίο έχει παραχθεί και αποτελεί δείκτη της θρεπτικής του αξίας. Οι αποκλίσεις απορρέουν κυρίως από τη δράση των γαλακτικών βακτηρίων και από τη θερμική κατεργασία. Παρακάτω παρουσιάζεται η θρεπτική αξία των επιμέρους συστατικών του γάλακτος και του γιαουρτιού (Hewitt and Bancroft, 1985; Martini *et al.*, 1987; Tamime and Robinson, 1999; Yildez, 2009; Florou-Paneri, Christaki and Bonos, 2013).

Πίνακας 1.7.1 – Θρεπτική αξία συνεκτικού γιαουρτιού (Yildez, 2009)

Είδος γιαουρτιού	Ενέργεια (kcal)	Νερό (g)	Υδατάνθρακες (g)	Λιπαρά (g)	Πρωτεΐνες (g)
Πλήρες	79	81.9	7.8	3.0	5.7
Χαμηλών λιπαρών	56-63	87.2	7.0-7.4	1.0-1.6	3.0-4.8
Χωρίς λιπαρά	54	86.9	8.2	0.2	5.4
Χωρίς λιπαρά – με φρούτα	47	85.4	7.0	0.2	4.8

1.7.1 Υδατάνθρακες

Ο κύριος υδατάνθρακας που περιέχεται στο γιαούρτι είναι η λακτόζη, ένας δισακχαρίτης αποτελούμενος από γαλακτόζη και γλυκόζη, ο οποίος αποτελεί πάνω από το 50% του στερεού υπολείμματος άνευ λίπους του γάλακτος. Η περιεκτικότητα του γιαουρτιού σε λακτόζη κυμαίνεται μεταξύ 4-6g/100g. Στον ανθρώπινο οργανισμό, η λακτόζη διασπάται από το ένζυμο λακτάση (β-γαλακτοσιδάση) στους δύο μονοσακχαρίτες της, οι οποίοι στη συνέχεια χρησιμοποιούνται ως πηγές ενέργειας. Σε αρκετούς ανθρώπους έχει παρατηρηθεί έλλειψη του εν λόγω ενζύμου, γεγονός που σημαίνει ότι η κατανάλωση λακτόζης τούς δημιουργεί προβλήματα όπως φούσκωμα, δυσφορία και διάρροια, πάθηση γνωστή ως δυσανεξία στη λακτόζη. Παρ' όλα αυτά, αν και η περιεκτικότητά του σε λακτόζη δεν διαφέρει σημαντικά από αυτήν του γάλακτος, η κατανάλωση γιαουρτιού δε φαίνεται να προκαλεί προβλήματα στον ίδιο βαθμό με το γάλα. Μία πιθανή εξήγηση είναι ότι η απορρόφηση της λακτόζης του γιαουρτιού από το πεπτικό σύστημα ενισχύεται από λακτάσες που αποβάλλονται από τα γαλακτικά βακτήρια. Το πήγμα του γιαουρτιού φαίνεται να προστατεύει τα γαλακτικά βακτήρια από τα οξέα του στομάχου, επομένως η λακτάση παραμένει προστατευμένη και αποβάλλεται αργότερα κατά την αυτόλυση των βακτηρίων στο λεπτό έντερο. Τα τελευταία χρόνια, η γαλακτοβιομηχανία έχει αναπτύξει προϊόντα χωρίς λακτόζη ή με μικρή ποσότητα αυτής. Στα προϊόντα αυτά ο εν λόγω υδατάνθρακας έχει υδρολυθεί ενζυμικά, μειώνοντας έτσι την περιεκτικότητά του στο γιαούρτι και καθιστώντας το κατάλληλο προς κατανάλωση από ανθρώπους που πάσχουν από δυσανεξία.

Το γάλα, εκτός της λακτόζης, περιέχει σε χαμηλές περιεκτικότητες και άλλους υδατάνθρακες, όπως γλυκόζη, γαλακτόζη και άλλους ολιγοσακχαρίτες. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η γλυκόζη και η γαλακτόζη αποτελούν πηγές ενέργειας για τον οργανισμό. Συγκεκριμένα, η γλυκόζη είναι απαραίτητη ως «καύσιμο» για όλα τα κύτταρα του σώματος αλλά και για τον εγκέφαλο, όπου χρησιμοποιείται από τα νευρικά κύτταρα για την επεξεργασία των πληροφοριών. Η περίσσεια γλυκόζης αποθηκεύεται ως γλυκογόνο, ώστε μελλοντικά να ξανά γίνει μεταβολισμός προς γλυκόζη και χρήση της ως πηγή ενέργειας. Η γαλακτόζη αποτελεί πρόδρομη ένωση της λακτόζης και μεταβολίζεται στο ήπαρ.

Σε κάποια είδη γιαουρτιού, όπως το αναμεμιγμένο γιαούρτι με φρούτα, είναι σύνηθες να προστίθενται διάφοροι σταθεροποιητές, για να γίνει σταθερότερο το πήγμα και να ελαττωθεί ο διαχωρισμός ορού. Πολλοί από αυτούς είναι πολύπλοκοι υδατάνθρακες μεγάλου μεγέθους, οι οποίοι αποτελούνται από μονάδες μονοσακχαριτών. Παραδείγματα σταθεροποιητών είναι η καραγεννάνη και το κόμμι γκουάρ. Τα ένζυμα του ανθρώπινου πεπτικού συστήματος δεν μπορούν να επεξεργαστούν τα μόρια των σταθεροποιητών, για

αυτό και οι σταθεροποιητές θεωρούνται «μη διαθέσιμοι υδατάνθρακες». Παρ' όλα αυτά, μπορούν να συνεισφέρουν στη διατροφή του ανθρώπου ως εξής:

- Βοηθούν στην ομαλή λειτουργία του εντέρου και στην αποφυγή δυσλειτουργιών, επειδή δρουν ως διογκωτικοί παράγοντες.
- Απορροφούν δυνητικά τοξικά στοιχεία, τα οποία μπορούν να σχηματιστούν στο παχύ έντερο λόγω της δραστηριότητας των βακτηρίων.
- Συνεισφέρουν στην καθυστέρηση της διάσπασης των σακχάρων στα εντερικά τοιχώματα, κάτι που είναι σημαντικό για τους πάσχοντες από μεταγευματική υπεργλυκαιμία.
- Μειώνουν τα επίπεδα χοληστερόλης στο αίμα.
- Δρουν σε συνδυασμό με τις πρωτεΐνες του γιαουρτιού, με στόχο να ελαττώσουν το χρόνο μεταφοράς της λακτόζης, παρέχοντας έτσι περισσότερο χρόνο στη λακτάση για τη διάσπασή της. Έτσι τα άτομα με δυσανεξία στη λακτόζη νιώθουν λιγότερη ή και καθόλου δυσφορία.

Βέβαια, αξίζει να τονιστεί ότι η ενσωμάτωση των υδατανθράκων αυτών είναι πολύ χαμηλή, ενώ υπάρχει και η τάση για αποφυγή προσθήκης τους εξαιτίας του υψηλού κόστους κάποιων από αυτούς και των μη επιθυμητών οργανοληπτικών στοιχείων που προσδίδουν στο γιαούρτι.

1.7.2 Πρωτεΐνες

Η περιεκτικότητα του γιαουρτιού σε πρωτεΐνες δεν διαφέρει σημαντικά από αυτή του γάλακτος από το οποίο έχει παραχθεί. Βέβαια, σε κάποια προϊόντα γιαουρτιού στα οποία έχει γίνει προσθήκη στερεών γάλακτος, τα επίπεδα πρωτεΐνης είναι αρκετά υψηλότερα από αυτά του αρχικού γάλακτος. Επομένως, η κατανάλωση 200-250 mL γιαουρτιού την ημέρα είναι αρκετή για να παρέχει στον οργανισμό την ελάχιστη ημερήσια απαίτηση σε ζωικές πρωτεΐνες (15g).

Οι πρωτεΐνες του γάλακτος χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: στις καζεΐνες και στις πρωτεΐνες ορού. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη ενότητα, οι πρωτεΐνες του γάλακτος, συνεπώς και του γιαουρτιού, χαρακτηρίζονται από υψηλή θρεπτικότητα, καθώς παρέχουν στον οργανισμό κάποια απαραίτητα αμινοξέα. Επίσης, σημαντικός είναι ο ρόλος τους σε αρκετές λειτουργίες του οργανισμού. Συγκεκριμένα, δρουν ως μεταφορείς σιδήρου, συνεισφέρουν στη σύνθεση λακτόζης στους μαστικούς αδένες και βοηθούν στη διαμόρφωση του ανοσοποιητικού συστήματος. Επιπλέον, μπορούν να δράσουν ως αντικαρκινικοί, αντιικοί και αντιοξειδωτικοί παράγοντες, ενώ φαίνεται να προσδίδουν και αίσθηση κορεσμού, κάτι που μπορεί να βοηθήσει στην απώλεια βάρους. Τέλος, οι πρωτεΐνες του γάλακτος αποτελούν σημαντική πηγή πρόδρομων ενώσεων βιολογικά ενεργών πεπτιδίων.

Αξίζει να αναφερθεί ότι κατά τη ζύμωση, χάρις στη δράση των γαλακτικών βακτηρίων, οι πρωτεΐνες υδρολύονται και αυξάνεται η ποσότητα των πεπτιδίων και των ελεύθερων αμινοξέων στο γιαούρτι, και επειδή οι μικροοργανισμοί παραμένουν ενεργοί και κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του γιαουρτιού, η ποσότητα αυτή αυξάνεται περαιτέρω. Επομένως, αφού οι πρωτεΐνες έχουν διασπαστεί σε αμινοξέα και πεπτίδια, είναι πιο εύκολη η πέψη τους από τον άνθρωπο.

1.7.3 Λιπαρά

Το παραδοσιακό γιαούρτι περιέχει 3-4g λιπαρών ανά 100g. Σε κάποια είδη γιαουρτιού, όπως το στραγγιστό, η περιεκτικότητα σε λιπαρά ανέρχεται στα 9-10 g ανά 100g. Βέβαια, στη σημερινή εποχή υπάρχει η τάση για παραγωγή γιαουρτιού χαμηλών λιπαρών, για αυτό και χρησιμοποιείται αποβουτυρωμένο γάλα για την παραγωγή του.

Τα λιπαρά επιτελούν διπλό ρόλο στον οργανισμό. Αφενός, τα κορεσμένα λιπαρά οξέα αποθηκεύονται και αποτελούν πηγή ενέργειας, ενώ προστατεύουν και τα ζωτικά όργανα. Αφετέρου, τα λιπαρά σε συνδυασμό με τις πρωτεΐνες αποτελούν δομικές μονάδες κυτταρικών μεμβρανών κυρίως του εγκεφάλου. Συνεπώς, είναι απαραίτητο ο άνθρωπος να ακολουθεί μία διατροφή, από την οποία προσλαμβάνει την απαραίτητη ποσότητα λιπαρών.

Τα λιπαρά του γάλακτος διαθέτουν μοναδικές φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες. Αποτελούν πηγή ενέργειας, περιέχουν απαραίτητα λιπαρά οξέα, λιποδιαλυτές βιταμίνες και άλλα σημαντικά για την υγεία συστατικά. Στο γιαούρτι η περιεκτικότητα σε λιπαρά εξαρτάται από τα είδη του γάλακτος που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του. Λόγω των μοναδικών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του και της αποδοχής του από το καταναλωτικό κοινό, το γιαούρτι μπορεί να χρησιμεύσει ως μία ιδιαίτερα σημαντική πηγή ενέργειας. Ειδικά για τα παιδιά στα οποία συχνά παρατηρείται έλλειψη ενέργειας για τον μεταβολισμό πρωτεϊνών, το γιαούρτι μπορεί να αποτελέσει την ιδανική τροφή για την καταπολέμηση του προβλήματος αυτού.

1.7.4 Βιταμίνες και ανόργανα συστατικά

Οι βιταμίνες και τα ανόργανα συστατικά παίζουν σημαντικό ρόλο σε διάφορες λειτουργίες του οργανισμού. Συγκεκριμένα, συνεισφέρουν, μεταξύ άλλων, στην ανάπτυξη και στην επούλωση των ιστών, στη διατήρηση της υγείας των οστών, στον έλεγχο της συγκέντρωσης ηλεκτρολυτών, στις διεργασίες του μεταβολισμού και στην ομαλή λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος. Στο γιαούρτι περιέχεται η πλειοψηφία των κύριων βιταμινών και ανόργανων στοιχείων, τα οποία είναι απαραίτητα για την καλή λειτουργία του οργανισμού.

Το σημαντικότερο ίσως στοιχείο που προσφέρει το γιαούρτι και τα υπόλοιπα γαλακτοκομικά προϊόντα είναι το ασβέστιο. Αυτό κατέχει σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση του

ηλεκτρικού δυναμικού των κυτταρικών μεμβρανών και συμμετέχει σε ζωτικές λειτουργίες όπως η σύνθεση του DNA, η ενζυμική δραστηριότητα, η διαπερατότητα των μεμβρανών και η επικοινωνία μεταξύ των κυττάρων. Δεδομένου ότι η διατροφή του σύγχρονου ανθρώπου στις ανεπτυγμένες χώρες συνήθως δεν περιλαμβάνει επαρκείς ποσότητες ασβεστίου, το γιαούρτι, όντας εξαιρετική πηγή του εν λόγω στοιχείου, μπορεί να αποτελέσει το ιδανικό τρόφιμο για την αναπλήρωσή του. Επίσης, σημαντικό πλεονέκτημα του γιαουρτιού αποτελεί και η υψηλή βιοδιαθεσιμότητα που εμφανίζει το ασβέστιό του σε σύγκριση με άλλα προϊόντα όπως τα λαχανικά, αλλά και το γεγονός ότι μπορεί να καταναλωθεί χωρίς προβλήματα από ανθρώπους με δυσανεξία στη λακτόζη, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο εμφάνισης παθήσεων λόγω έλλειψης ασβεστίου, όπως η οστεοπόρωση. Η περιεκτικότητα του γιαουρτιού σε ασβέστιο μπορεί να είναι είτε ίδια με αυτή του γάλακτος από το οποίο παράγεται, είτε υψηλότερη σε περίπτωση που έχει γίνει προσθήκη σκόνης ή συμπυκνώματος με στόχο την αύξηση των στερεών υπολειμμάτων άνευ λίπους.

Στο γιαούρτι περιέχονται και τα υπόλοιπα ανόργανα στοιχεία του γάλακτος, δηλαδή μαγνήσιο, φωσφόρος, ψευδάργυρος και σίδηρος. Η περιεκτικότητά τους και η δυνατότητα απορρόφησής τους από τον οργανισμό είναι ιδιαίτερα υψηλές. Επιπλέον, περιέχονται σε αυτό και σημαντικές ποσότητες νατρίου και καλίου.

Όσον αφορά τις βιταμίνες, η περιεκτικότητα και η διαθεσιμότητά τους δεν είναι εύκολο να προσδιοριστούν, διότι επηρεάζονται από παράγοντες όπως η θερμική κατεργασία του γάλακτος, η τυποποίηση των στερεών του, το είδος της καλλιέργειας εκκίνησης και οι συνθήκες υπό τις οποίες λαμβάνει χώρα η ζύμωση. Επομένως, η περιεκτικότητα κάποιων βιταμινών στο γιαούρτι ενδέχεται να διαφέρει με την αντίστοιχη του γάλακτος. Για παράδειγμα, η λιποδιαλυτή βιταμίνη Α παρουσιάζει μειωμένη δραστηριότητα σε γιαούρτια χαμηλών λιπαρών. Επίσης, η θερμική κατεργασία και η αποθήκευση επηρεάζουν αρνητικά τη συγκέντρωση των βιταμινών C, B_2, B_6 και B_{12}. Για την αντιμετώπιση των απωλειών αυτών, στη γαλακτοβιομηχανία συχνά εφαρμόζεται προσθήκη βιταμινών στο γιαούρτι, κυρίως των βιταμινών Α, C και D. Τέλος, έχει διαπιστωθεί ότι ένας μεγάλος αριθμός γαλακτικών και προβιοτικών βακτηρίων, όταν χρησιμοποιηθούν στη ζύμωση, συνεισφέρουν στην αύξηση της περιεκτικότητας των βιταμινών Κ, B_{12}, του φολικού οξέος, της ριβοφλαβίνης και της θειαμίνης.

Πίνακας 1.7.2 – Περιεκτικότητα διαφόρων βιταμινών και ανόργανων στοιχείων στο συνεκτικό γιαούρτι (Yildez, 2009)

Είδος γιαουρτιού	Ca (mg)	Na (mg)	K (mg)	Cl (mg)	Βιταμίνη A (μg)	Βιταμίνη C (mg)	Βιταμίνη D (mg)	Βιταμίνη B_2 (mg)	Βιταμίνη B_5 (mg)
Πλήρες	200	80	280	170	28	1	0	0.27	0.50
Χαμηλών λιπαρών	162-183	63-70	228-234	235	8	1-0.8	0.1	0.22-0.21	0.56-0.59
Χωρίς λιπαρά	160	71	247	252	ίχνη	1	ίχνη	0.29	-
Χωρίς λιπαρά - με φρούτα	130	73	180	120	ίχνη	1	ίχνη	0.29	-

1.7.5 Γιαούρτι και οφέλη για την υγεία

Το γιαούρτι αποτελεί ένα από τα πιο δημοφιλή γαλακτοκομικά προϊόντα παγκοσμίως, γεγονός που εν πολλοίς οφείλεται στα πολλαπλά οφέλη που προσφέρει στην υγεία του ανθρώπου. Παρακάτω συνοψίζονται τα σημαντικότερα από αυτά (McKinley, 2005; El-Abbadi *et. al.* 2014; Weerathilake *et al.*, 2014).

- Το γιαούρτι περιέχει μεγάλο πλήθος και ποσότητα θρεπτικών συστατικών σε σχέση με την περιεκτικότητά του σε λιπαρά και το ενεργειακό του περιεχόμενο. Για το λόγο αυτό θεωρείται τρόφιμο υψηλής θρεπτικής αξίας.
- Περιέχει ασβέστιο, στοιχείο που βοηθά στη διατήρηση της υγείας των οστών, βοηθά στην ανάπτυξη και προστατεύει από παθήσεις όπως η οστεοπόρωση. Στο γιαούρτι η περιεκτικότητά του είναι υψηλή. Συγκεκριμένα, υπολογίζεται ότι η κατανάλωση μίας τυπικής ποσότητας γιαουρτιού (ενός κυπέλλου) παρέχει σε ένα παιδί το 41% των ημερήσιων απαιτήσεών του σε ασβέστιο, ενώ σε έναν ενήλικα περίπου το 25%. Επιπλέον, το ασβέστιο του γιαουρτιού εμφανίζει μεγάλη βιοδιαθεσιμότητα σε σύγκριση με άλλες τροφές. Ενδεικτικά, αν και το σπανάκι διαθέτει υψηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο, θα χρειάζονταν περίπου 11 μερίδες του για να απορροφηθεί από τον οργανισμό η ίδια ποσότητα ασβεστίου με την αντίστοιχη που παρέχεται από ένα κύπελλο γιαουρτιού.
- Το γιαούρτι μπορεί να δράσει ως φορέας προβιοτικών βακτηρίων. Αυτά προσφέρουν σημαντικά οφέλη στην υγεία. Συγκεκριμένα, συντελούν στην καλή λειτουργία του εντέρου και βοηθούν στην αντιμετώπιση διαφόρων παθήσεων και δυσλειτουργιών

του πεπτικού συστήματος. Επίσης, βοηθούν στην πρόληψη μολύνσεων του ουροποιητικού συστήματος, ανακουφίζουν από τη δυσκοιλιότητα, προστατεύουν από διάφορους τύπους καρκίνου και παρέχουν πρόληψη έναντι της οστεοπόρωσης. Επιπλέον, συνεισφέρουν στη διατήρηση των βακτηρίων του εντέρου, στην ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος και στη μείωση των επιπέδων της χοληστερόλης στο αίμα. Τέλος, ενισχύουν την αντικαρκινική δραστηριότητα του οργανισμού και γενικά αποτελούν σύμμαχο στη διατήρηση της καλής φυσικής κατάστασης και της σωματικής υγείας.

- Σύμφωνα με μελέτες, το γιαούρτι δρα θεραπευτικά έναντι κάποιων γαστρεντερικών παθήσεων, όπως η φλεγμονώδης νόσος του εντέρου.
- Η κατανάλωση γιαουρτιού τονώνει την παραγωγή κυτοκίνης και βοηθά στη λειτουργία των Τ-κυττάρων, ενισχύοντας έτσι το ανοσοποιητικό σύστημα.
- Το γιαούρτι είναι κατάλληλο για κατανάλωση από ανθρώπους με δυσανεξία στη λακτόζη, παρέχοντάς τους όλα τα οφέλη και τα θρεπτικά συστατικά χωρίς να προκαλεί προβλήματα.
- Έρευνες έχουν δείξει ότι η κατανάλωση γιαουρτιού και άλλων γαλακτοκομικών προϊόντων ως μέρος μίας εξισορροπημένης διατροφής μπορεί να βοηθήσει στην απώλεια λίπους και βάρους.
- Το γιαούρτι φαίνεται να βοηθά στη διατήρηση της υγείας των δοντιών και στην αναπλήρωση του σμάλτου.

1.8 Φυσικές ιδιότητες γιαουρτιού

Η φυσική δομή του γιαουρτιού αποτελείται από ένα δίκτυο συσσωματωμένων μορίων καζεΐνης, στα οποία έχει ενσωματωθεί μέρος των πρωτεϊνών ορού εξαιτίας της μετουσίωσης που προκαλείται από τη θερμική κατεργασία. Το δίκτυο αυτό περικλείει λιποσφαιρίδια και άλλα συστατικά του ορού γάλακτος. Οι μεγαλύτεροι πόροι του δεν ξεπερνούν τα 10 μm. Επομένως, αφού το δίκτυο είναι συνεχές, το γιαούρτι μπορεί να χαρακτηριστεί ως πήγμα, ως ένα ιξωδοελαστικό ρευστό με χαμηλή τάση διαρροής. Σε περίπτωση διατάραξης του πήγματος, όπως συμβαίνει κατά την παραγωγή του αναμεμιγμένου γιαουρτιού, προκύπτει ένα αρκετά ιξώδες, μη νευτωνικό ρευστό. Συνεπώς, παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στην υφή μεταξύ του συνεκτικού και του αναμεμιγμένου γιαουρτιού. Παρακάτω αναλύονται οι βασικές φυσικές ιδιότητες του γιαουρτιού (Walstra, Wouters and Geurts, 2006).

1.8.1 Συνεκτικότητα

Η συνεκτικότητα του σετ γιαουρτιού είναι μία παράμετρος, η οποία επηρεάζει σημαντικά την αποδοχή του προϊόντος από το καταναλωτικό κοινό. Όσο πιο συνεχές είναι το δίκτυο του πήγματος τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η συνεκτικότητα του γιαουρτιού. Η εκτίμησή της γίνεται με βύθιση ενός οργάνου δεδομένων διαστάσεων και μάζας εντός του προϊόντος για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Από το αντίστροφο του βάθος διείσδυσης προκύπτει μία τιμή συνεκτικότητας. Η μέθοδος μέτρησης επηρεάζει την τιμή αυτή, όμως η συνεκτικότητα εξαρτάται και από τις παρακάτω παραμέτρους:

- **Καζεϊνικό περιεχόμενο:** Η τιμή της συνεκτικότητας εκτιμάται ότι είναι κατά προσέγγιση ανάλογη της περιεκτικότητας του γιαουρτιού σε καζεϊνη υψωμένη στον κύβο. Επομένως, η διαφοροποίηση του καζεϊνικού περιεχομένου του γάλακτος, που οφείλεται στην εποχή, στη διατροφή του ζώου και σε άλλους παράγοντες, μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη συνεκτικότητα του γιαουρτιού. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με προσθήκη σκόνης αποβουτυρωμένου γάλακτος, εξάτμιση ή και υπερδιήθηση του γάλακτος.
- **Περιεκτικότητα σε λιπαρά:** Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του γιαουρτιού σε λιπαρά, τόσο μειώνεται η σταθερότητα του πήγματος, διότι περισσότερα λιποσφαιρίδια ενσωματώνονται στο δίκτυο, συνεπώς μειώνεται και η συνεκτικότητα του γιαουρτιού.
- **Ομογενοποίηση:** Η ομογενοποίηση του γάλακτος προκαλεί μείωση του μεγέθους των λιποσφαιριδίων και ένωσή τους με καζεϊνικά μέρη. Έτσι, λόγω του μικρότερου μεγέθους τους, η διατάραξη που προκαλούν τα ενσωματωμένα λιποσφαιρίδια στο δίκτυο είναι μικρότερη, ενώ παράλληλα αυξάνεται και το καζεϊνικό περιεχόμενο του δικτύου. Επομένως, η ομογενοποίηση του γάλακτος αυξάνει σημαντικά τη συνεκτικότητα του γιαουρτιού.
- **Θερμική κατεργασία:** Η θερμική κατεργασία του γάλακτος συμβάλλει στην αύξηση της συνεκτικότητας του γιαουρτιού. Αυτό συμβαίνει διότι προκαλεί μετουσίωση των πρωτεϊνών ορού, οι οποίες κατά τη δημιουργία του πήγματος γιαουρτιού συσσωματώνονται στο δίκτυο, αυξάνοντας τη σταθερότητά του.
- **Καλλιέργεια εκκίνησης:** Το είδος της καλλιέργειας εκκίνησης επηρεάζει τη συνεκτικότητα του τελικού προϊόντος σε μικρό συνήθως βαθμό.
- **Θερμοκρασία επώασης:** Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία επώασης τόσο μεγαλύτερος είναι και ο απαιτούμενος χρόνος για να ολοκληρωθεί η ζύμωση, δηλαδή να επιτευχθεί συγκεκριμένη τιμή pH, όμως το τελικό προϊόν εμφανίζει μεγαλύτερη συνεκτικότητα.

- **Θερμοκρασία αποθήκευσης:** Χαμηλότερη θερμοκρασία αποθήκευσης προσδίδει μεγαλύτερη συνεκτικότητα στο γιαούρτι, κάτι που πιθανώς οφείλεται στη συσσωμάτωση των μορίων καζεΐνης που προκαλείται όταν μειωθεί η θερμοκρασία.

1.8.2 Ιξώδες αναμεμιγμένου γιαουρτιού

Βασική απαίτηση για το αναμεμιγμένο γιαούρτι είναι να διαθέτει λεία, απαλή υφή και σχετικά υψηλό ιξώδες. Όταν αφήνεται να ρέει, ένα υψηλής ποιότητας προϊόν σχηματίζει μία λεπτή γραμμή, η οποία παρουσιάζει σχεδόν ελαστική συμπεριφορά όταν διαταραχθεί. Η μέτρηση του ιξώδους μπορεί να γίνει αφήνοντας το γιαούρτι να ρέει μέσα από ένα κωνικό κύπελλο Ford και μετρώντας τον απαιτούμενο χρόνο για να ολοκληρωθεί η ροή.

Το φαινόμενο ιξώδες του αναμεμιγμένου γιαουρτιού, για σταθερό χρόνο διάτμησης, εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- **Συνεκτικότητα του πήγματος:** Όσο μεγαλύτερη είναι η συνεκτικότητα, τόσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος φ, δηλαδή το ποσοστό των κομματιών που αποτελούν το πήγμα εντός του γιαουρτιού μετά την ανάμιξη. Επομένως, υψηλή συνεκτικότητα στο αρχικό πήγμα προσδίδει στο τελικό προϊόν υψηλό ιξώδες.
- **Ένταση της ανάμιξης:** Όσο πιο έντονη είναι η ανάμιξη του γιαουρτιού, τόσο χαμηλότερο θα είναι το ιξώδες του. Από την άλλη, ένα προϊόν που έχει υποστεί εντονότερη ανάμιξη, αναμένεται να διαθέτει πιο λεία υφή, συνεπώς, ανάλογα και με το προϊόν, επιλέγεται η κατάλληλη ένταση ανάμιξης.
- **Συναίρεση:** Όσο πιο έντονο είναι το φαινόμενο της συναίρεσης μετά την ανάμιξη, τόσο πιο πιθανό είναι να παραχθεί ένα προϊόν με αρκετά χαμηλό ιξώδες και μη ομαλή υφή. Η τάση του γιαουρτιού να εμφανίσει συναίρεση μειώνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας επώασης, αλλά και με την αύξηση της συνεκτικότητας του πήγματος.
- **Είδος καλλιέργειας εκκίνησης:** Μεταξύ των διαφόρων ειδών βακτηρίων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή γιαουρτιού, παρατηρούνται σημαντικές διακυμάνσεις στη συνεκτικότητα και στην ομοιογένεια του πήγματος που παράγουν. Ένα μη ομοιογενές πήγμα εμφανίζει εξογκώματα και χαμηλή συνεκτικότητα μετά την ανάμιξη. Άρα, πρέπει να επιλέγονται καλλιέργειες εκκίνησης από τις οποίες παράγεται ομοιογενές πήγμα, ώστε το αναμεμιγμένο γιαούρτι να χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερο ιξώδες και λεία υφή.

1.8.3 Συναίρεση

Συναίρεση ονομάζεται ο διαχωρισμός ορού από το κύριο σώμα του γιαουρτιού. Αποτελεί ανεπιθύμητο φαινόμενο και κύριο αίτιό του είναι η αναδιαμόρφωση του πλέγματος του γιαουρτιού, η οποία προκαλεί συρρίκνωσή του και τελικά αποβολή του υγρού που είχε εγκλωβιστεί εντός του. Καθοριστικό παράγοντα στην τάση του γιαουρτιού για εμφάνιση συναίρεσης αποτελεί η θερμοκρασία ζύμωσης. Συγκεκριμένα, επώαση στους 20°C φαίνεται να την αποτρέπει πλήρως, ενώ στους 32°C είναι πιθανή η εμφάνισή της. Παρόλα αυτά, για την πλειοψηφία των γιαουρτιών του εμπορίου, η ζύμωση λαμβάνει χώρα στους 45°C, όπου η εμφάνιση συναίρεσης είναι βέβαιη. Για την αποφυγή της, είναι απαραίτητη η έντονη θερμική κατεργασία του γάλακτος, η αύξηση του καζεϊνικού του περιεχομένου και η αποθήκευση του γιαουρτιού σε χαμηλή θερμοκρασία. Επίσης, κατά τη μεταφορά και αποθήκευση του τελικού προϊόντος είναι σημαντικό να αποφεύγεται η ανακίνηση και η καταπόνησή του, καθώς είναι πιθανή η διατάραξη του πλέγματος, επομένως και ο διαχωρισμός ορού. Τέλος, σημαντικός είναι και ο ρόλος του υλικού συσκευασίας, αφού πρέπει να αποφεύγεται η δημιουργία κενών μεταξύ των τοιχωμάτων αυτής και του γιαουρτιού, διότι σε αντίθετη περίπτωση είναι πιθανή η εμφάνιση συναίρεσης στα άκρα του προϊόντος (Walstra, Wouters and Geurts, 2006).

1.9 Χρήση καινοτόμων μεθόδων στην παραγωγή γιαουρτιού

Τα τελευταία χρόνια οι καινοτόμες τεχνολογίες βρίσκουν ολοένα και πιο ευρεία εφαρμογή στη βιομηχανία τροφίμων, εξαιτίας της απαίτησης για μεθόδους οι οποίες ελαχιστοποιούν το βαθμό επεξεργασίας, αυξάνουν την ποιότητα του προϊόντος και το καθιστούν ασφαλές, με μεγαλύτερη διατηρησιμότητα. Στη βιομηχανία γιαουρτιού κάποιες από τις νέες μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί είναι η μικρορευστοποίηση, η εφαρμογή υπερήχων, παλμικών ηλεκτρικών πεδίων και υπερυψηλής πίεσης στο γάλα.

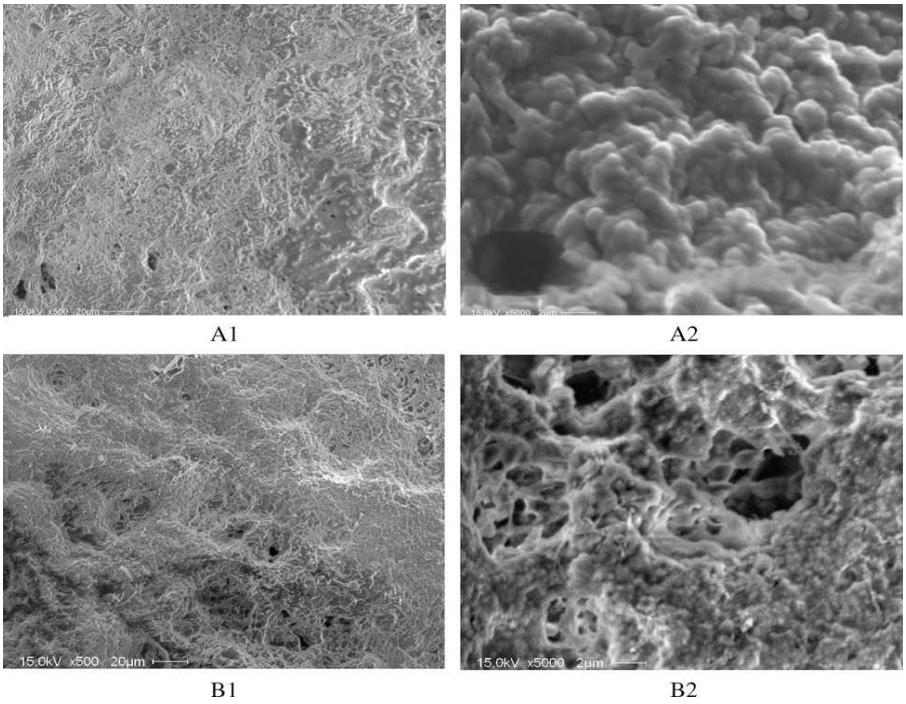
1.9.1 Εφαρμογή υπερήχων (High Intensity Ultrasound)

Ως υπέρηχοι ορίζονται τα ηχητικά κύματα με συχνότητα υψηλότερη από αυτή που μπορεί να αντιληφθεί ο άνθρωπος, συνήθως μεγαλύτερη των 20 kHz. Η εφαρμογή τους στα τρόφιμα μπορεί να διαχωριστεί, ανάλογα με τη συχνότητα και το απαιτούμενο ποσό ενέργειας, σε δύο κατηγορίες: στους υπερήχους χαμηλής και στους υπερήχους υψηλής έντασης. Οι υπέρηχοι χαμηλής έντασης, μικρότερης δηλαδή του 1 W/cm^2, χρησιμοποιούνται κυρίως για τον ποιοτικό έλεγχο των τροφίμων, καθώς αποτελούν μη καταστρεπτική τεχνική ανάλυσης. Από την άλλη, οι υπέρηχοι υψηλής έντασης (10-1000 W/cm^2) μπορούν να προκαλέσουν φυσικές, χημικές και μηχανικές μεταβολές στη δομή του τροφίμου, για αυτό και βρίσκουν πληθώρα εφαρμογών στη βιομηχανία τροφίμων. Τα κύματα υπερήχων αλληλεπιδρούν με τα υγρό μέρος του τροφίμου και τα διαλυμένα αέρια στο εσωτερικό του, προκαλώντας σπηλαίωση και δημιουργία φυσαλίδων. Οι φυσαλίδες αυτές αυξάνονται σε μέγεθος μέχρις ότου φτάσουν σε μία κρίσιμη τιμή, στην οποία καταστρέφονται. Το φαινόμενο αυτό οδηγεί στην εμφάνιση σημείων με ιδιαίτερα αυξημένη ενέργεια και περιοχών υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης εντός του υγρού, τα οποία παράγουν ισχυρά κύματα διατμητικής τάσης (Villamiel and De Jong, 2000).

Στην παραγωγή γιαουρτιού, έρευνες (Hongyu, Hulbert and Mount, 2000; Villamiel and De Jong, 2000; Sfakianakis, Topakas and Tzia, 2014; Chandrapala *et al.*, 2016) έχουν δείξει ότι οι υπέρηχοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πιο αποτελεσματική ομογενοποίηση του γάλακτος, διότι διασπούν τα λιποσφαίρια και προκαλούν μείωση της διαμέτρου τους, αναδιαμορφώνοντας έτσι τη δομή της μεμβράνης που αυτά σχηματίζουν και αποτρέποντας το σχηματισμό του χαρακτηριστικού υμένα λίπους στην κορυφή. Έτσι, προσδίδουν στο γιαούρτι βελτιωμένα χαρακτηριστικά υφής. Η βέλτιστη συχνότητα υπερήχων για εφαρμογή στην ομογενοποίηση του γάλακτος φαίνεται να είναι τα 20 kHz (Akdeniz and Akalın, 2019), ενώ ο βαθμός ομογενοποίησης έχει παρατηρηθεί ότι αυξάνεται με την αύξηση της παρεχόμενης ενέργειας και του χρόνου επεξεργασίας (Hongyu, Hulbert and Mount, 2000).

Εκτός της ομογενοποίησης του γάλακτος, οι υπέρηχοι έχει διαπιστωθεί (Riener *et al.*, 2009; Shanmugam *et al.* 2012; Sfakianakis, Topakas and Tzia, 2014) ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της σταθερότητας του πήγματος και της συνεκτικότητας του γιαουρτιού, αλλά και για την αύξηση του ιξώδους του. Η αύξηση θερμοκρασίας και οι υψηλές διατμητικές τάσεις που ασκούν οι υπέρηχοι στο γάλα προκαλούν μετουσίωση των πρωτεϊνών ορού και διάσπαση των καζεϊνικών μικκυλίων, κάτι που οδηγεί στη δημιουργία συσσωματωμάτων μεταξύ πρωτεϊνών ορού και καζεϊνών. Επίσης, η διαταραχή που προκαλείται λόγω των υπερήχων συμβάλλει στην αύξηση της κινητικότητας των μορίων και στη σύνδεση των λιπιδίων με τα πρωτεϊνικά συσσωματώματα. Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός ισχυρού δικτύου, οδηγώντας στην παραγωγή γιαουρτιού μεγαλύτερης σταθερότητας και συνεκτικότητας και υψηλότερου ιξώδους.

Τέλος, η εφαρμογή υπερήχων συντελεί στην αύξηση της ικανότητας συγκράτησης νερού στο πήγμα (Chandrapala *et al.*, 2016; Gursoy *et al.*, 2016; Higuera-Barraza *et al.*, 2016; Akdeniz and Akalın, 2019). Αυτό οφείλεται στην προσκόλληση των καζεϊνών στις μεμβράνες λιπιδίων και στην έκθεση των υδρόφιλων περιοχών στην υδατική φάση. Για το λόγο αυτό, η εφαρμογή υπερήχων μπορεί να διεξαχθεί είτε μόνη της είτε σε συνδυασμό με θερμική κατεργασία, με στόχο την αύξηση της ικανότητας δέσμευσης νερού και την αποφυγή διαχωρισμού ορού κατά την αποθήκευση του γιαουρτιού.



Εικόνα 1.9.1 - Γραφήματα από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο που απεικονίζουν (A) γιαούρτι από γάλα συμβατικής θερμικής κατεργασίας (90 °C, 10 min) και (B) γιαούρτι από γάλα κατεργασμένο με συνδυασμό υπερήχων (24 kHz, 10 min) με ήπια θέρμανση (45 °C), Μεγέθυνση: A1, B1 × 500; A2, B2 ×5000 (Riener *et al.*, 2009)

1.9.2 Εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης (Ultra-High Pressure, UHP)

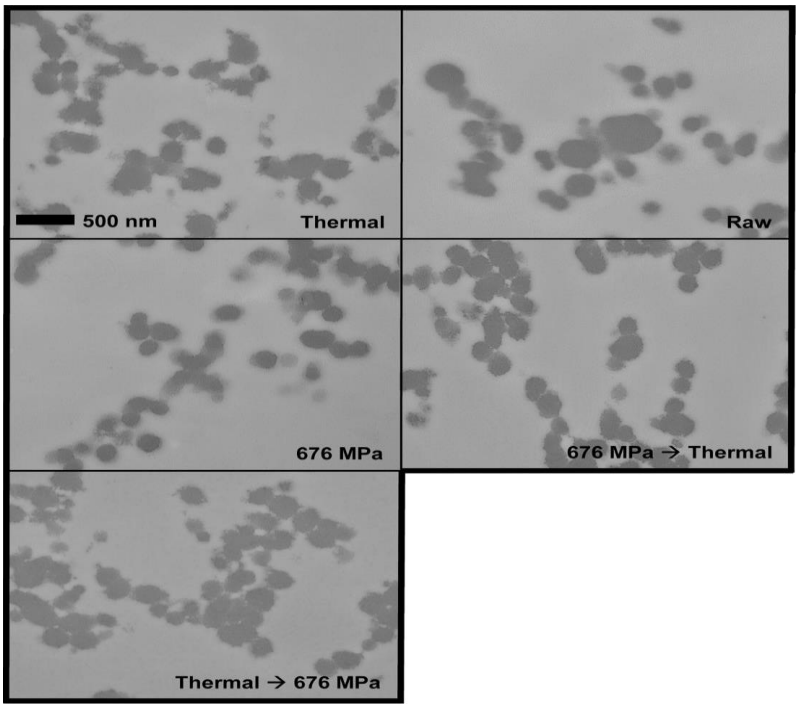
Η εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης αποτελεί μία καινοτόμα, μη θερμική τεχνολογία κατά την οποία το τρόφιμο εκτίθεται σε πίεση που κυμαίνεται μεταξύ των 100 και 1000 MPa. Η έρευνα πάνω στην εφαρμογή της στα τρόφιμα ξεκίνησε το 1899, όταν παρατηρήθηκε ότι το γάλα και άλλα τρόφιμα που είχαν υποστεί κατεργασία με αυτήν εμφάνιζαν μεγαλύτερη διατηρησιμότητα. Οι πρώτες βιομηχανικές εφαρμογές της έγιναν στις αρχές της δεκαετίας του 1980 (Trujillo, 2002; Sfakianakis and Tzia, 2014).

Η υπερυψηλή πίεση έχει βρεθεί ότι μπορεί να βελτιώσει την πήξη του γάλακτος κατά την παραγωγή γιαουρτιού, τυριού και άλλων προϊόντων, χωρίς να προκαλεί ανεπιθύμητες μεταβολές στους δείκτες ποιότητάς του, όπως η γεύση, το άρωμα, οι βιταμίνες και τα υπόλοιπα συστατικά του. Αυτό το χαρακτηριστικό της παρέχει στη βιομηχανία τη δυνατότητα παραγωγής ασφαλών, ελάχιστα επεξεργασμένων γαλακτοκομικών προϊόντων, τα οποία διαθέτουν υψηλή θρεπτική αξία, επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, βελτιωμένες παραμέτρους υφής και αυξημένη διατηρησιμότητα (Trujillo, 2002).

Έρευνες έχουν δείξει ότι η υπερυψηλή πίεση μπορεί να αποτελέσει εναλλακτική μέθοδο παστερίωσης. Συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι κατεργασία του γάλακτος με 400-600 MPa για 10 min στους 25°C μπορεί να επιφέρει παρόμοια αποτελέσματα με τη συμβατική παστερίωση, όσον αφορά την απενεργοποίηση παθογόνων και αλλοιογόνων μικροοργανισμών (Trujillo, 2002). Επίσης, κατεργασία στα 300 MPa για 30 min χρησιμοποιήθηκε για ομογενοποίηση και παστερίωση του γάλακτος και είχε αποτελέσματα ισοδύναμα με αυτά της υψηλής παστερίωσης, καθώς επετεύχθη διατηρησιμότητα 14-18 ημερών, διατηρήθηκαν το μικροβιακό φορτίο και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του γάλακτος σε επιθυμητά επίπεδα, ενώ παράλληλα εξαλείφθηκαν κάποιες από τις αρνητικές συνέπειες της συμβατικής θερμικής κατεργασίας στα υπόλοιπα συστατικά του (Pereda *et al.*, 2007). Αξίζει να αναφερθεί ότι εξαιτίας της συμβατικής παστερίωσης η λακτόζη μπορεί να ισομεριστεί σε λακτουλόζη και έπειτα να υποβαθμιστεί σε σάκχαρα και οξέα. Αντιθέτως, μετά από παστερίωση με UHP δεν παρατηρήθηκε κάποια μεταβολή στα εν λόγω συστατικά, υποδεικνύοντας ότι δε λαμβάνει χώρα κάποια αντίδραση Maillard ή κάποιος ισομερισμός στο γάλα εξαιτίας αυτής (Lopez-Fandiño, Carrascosa and Olano, 1996).

Η εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης προκαλεί διάσπαση των καζεϊνικών μικκυλίων σε μικρότερα μόρια και αύξηση της συγκέντρωσης των καζεϊνών και του φωσφορικού ασβεστίου στον ορό του γάλακτος. Το μειωμένο μέγεθος των καζεϊνικών μορίων διευκολύνει και βελτιώνει την πήξη του γάλακτος προς γιαούρτι. Κατεργασία με πίεση μεγαλύτερη των 500 MPa οδηγεί σε μετουσίωση των πρωτεϊνών ορού, κυρίως της β-λακτοσφαιρίνης, της α-λακταλβουμίνης και κάποιων ανοσοσφαιρινών (Sfakianakis and Tzia, 2014).

Μελέτη (Johnston and Murphy, 1994) έδειξε ότι αναμεμιγμένο γιαούρτι που έχει παραχθεί από γάλα κατεργασμένο με υπερυψηλή πίεση εμφάνισε μεγαλύτερη σταθερότητα και υψηλότερο ιξώδες. Η μεγαλύτερη αύξηση του ιξώδους παρατηρήθηκε έπειτα από κατεργασία σε 400 MPa για 15 min και σε 600 MPa για 5 min. Επίσης, ο συνδυασμός υπερυψηλής πίεσης 400-500 MPa με θερμικές μεθόδους οδήγησε σε γιαούρτι με μειωμένη συναίρεση και ελαστικότητα, κάτι που σημαίνει ότι είναι δυνατή η παραγωγή γιαουρτιού με προσθήκη λιγότερων σταθεροποιητών και ενισχυτών πήξης (Harte *et al.*, 2003). Έχει διαπιστωθεί επίσης ότι η UHP βελτιώνει τα χαρακτηριστικά υφής του γιαουρτιού και ενισχύει την ικανότητα συγκράτησης ύδατος (Trujillo, 2002). Συγκεκριμένα, η σκληρότητα του γιαουρτιού βρέθηκε ότι παρουσιάζει αύξηση όσο αυξάνεται η πίεση που εφαρμόζεται, ενώ η ικανότητα συγκράτησης νερού αυξήθηκε σημαντικά, όταν η κατεργασία έγινε σε συνθήκες 350 MPa-25°C και 500 MPa-55°C (Ferragut *et al.*, 2000). Επιπλέον, όταν η μέθοδος εφαρμόστηκε σε συνδυασμό με θέρμανση, βρέθηκε ότι χάρις στην εφαρμογή UHP μπορεί να μειωθεί ο χρόνος ζύμωσης και να παραχθεί γιαούρτι υψηλότερου ιξώδους (Harte *et al.*, 2003). Τέλος, μίγμα το οποίο περιείχε μόνο 10% γάλα κατεργασμένο με υπερυψηλή πίεση (με το υπόλοιπο 90% συμβατικά παστεριωμένο), χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή συνεκτικού γιαουρτιού, το οποίο τελικά διατήρησε τη γεύση του συμβατικού γιαουρτιού, διέθετε όμως πιο κρεμώδη υφή, κάτι που σημαίνει ότι αρκεί σε ένα μικρό ποσοστό του γάλακτος να εφαρμοστεί υπερυψηλή πίεση για να επιτευχθεί σημαντική μεταβολή στην εν λόγω παράμετρο υφής του γιαουρτιού (Capellas *et al.*, 2002).



Εικόνα 1.9.2 – Γραφήματα από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διέλευσης που απεικονίζουν γιαούρτι επεξεργασμένο με συνδυασμό θερμικής κατεργασίας (85°C, 30 min) και UHP (676 MPa, 5 min) (Harte *et al.*, 2003)

1.9.3 Εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (Pulsed Electric Field, PEF)

Τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία θεωρούνται μία από τις πιο υποσχόμενες καινοτόμες, μη θερμικές μεθόδους επεξεργασίας τροφίμων, καθώς φαίνεται ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτική μέθοδος παστερίωσης κάποιων τροφίμων που βρίσκονται σε υγρή κατάσταση, μεταξύ των οποίων και το γάλα.

Η επεξεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία πραγματοποιείται με έκθεση ενός ηλεκτρικά αγώγιμου τροφίμου, όπως είναι το γάλα, σε σύντομους (της τάξης των μs) παλμούς ηλεκτρικού πεδίου υψηλής έντασης (0.5 έως 80 kV/cm). Σκοπό της διεργασίας αποτελεί η απενεργοποίηση των παθογόνων και αλλοιογόνων μικροοργανισμών. Η μέθοδος βασίζεται στο φαινόμενο της ηλεκτροδιάτρησης: όταν τα κύτταρα των μικροοργανισμών εκτίθενται σε ηλεκτρικό πεδίο υψηλής έντασης, η κυτταρική μεμβράνη αποκτά πόρους, με αποτέλεσμα τα κύτταρα να υφίστανται απώλεια του ενδοκυτταρικού τους περιεχομένου και σε κάποιες περιπτώσεις να θανατώνονται. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου εξαρτάται από παραμέτρους όπως η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, ο αριθμός των παλμών, η ένταση και η διάρκειά τους (Sampedro *et al.*, 2005; Sfakianakis and Tzia, 2014).

Έχει διαπιστωθεί ότι το επίπεδο απενεργοποίησης μικροοργανισμών που μπορεί να επιτευχθεί με εφαρμογή PEF είναι υψηλό και ποικίλει ανάλογα με το είδος του μικροοργανισμού, τις συνθήκες επεξεργασίας και τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό. Ενδεικτικά, για τον μικροοργανισμό *Escherichia Coli* έχει επιτευχθεί 99% μείωση της συγκέντρωσής του έπειτα από εφαρμογή τετραγωνικών παλμών (E=36 kV/cm, n=100 παλμοί, W=2.5 μs, T=7◦C) και αντίστοιχη μείωση 93% με εφαρμογή παλμών εκθετικού σχήματος στις ίδιες συνθήκες (Pothakamury *et al.*, 1996). Στην ίδια μελέτη διαπιστώθηκε ότι ο βαθμός απενεργοποίησης του *Escherichia Coli* αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας και είναι μεγαλύτερος όταν εφαρμόζονται τετραγωνικοί παλμοί. Επίσης, σύμφωνα με άλλη μελέτη, τα βακτήρια φαίνεται να είναι πιο ανθεκτικά στους ηλεκτρικούς παλμούς όταν η περιεκτικότητα του γάλακτος σε λιπαρά είναι υψηλότερη. Αντίθετα, σε γάλα χαμηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά βρέθηκε ότι ο κρίσιμος χρόνος, αυτός δηλαδή που απαιτείται για τη δραστική μείωση της συγκέντρωσης ενός μικροοργανισμού, είναι μικρότερος. Αξίζει να αναφερθεί ότι στην εν λόγω μελέτη δεν παρατηρήθηκε κάποια σημαντική μεταβολή στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του γάλακτος από την επεξεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (Grahl and Märkl, 1996).

Όσον αφορά τη διατηρησιμότητα του γάλακτος και του γιαουρτιού, έχει βρεθεί ότι αυτή μπορεί να αυξηθεί μέσω των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων. Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε ότι συνδυασμός PEF (E=30 kV/cm, t=32 μs) με ήπια θέρμανση (T=65 ◦C, 30 s) του γάλακτος που προορίζεται για γιαούρτι χαμηλών λιπαρών μπορεί να αυξήσει τη διατηρησιμότητα στους 4 ◦C περισσότερο από 4 εβδομάδες σε σχέση με γιαούρτι συμβατικής

παραγωγής, διατηρώντας ανεπηρέαστα τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, το pH, το χρώμα και την περιεκτικότητα σε σάκχαρα (°Brix) (Yeom *et al.*, 2004).

Τέλος, εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στην καλλιέργεια εκκίνησης οδήγησε σε χαμηλότερο χρόνο ζύμωσης και σε ταχύτερη μείωση του οξειδοαναγωγικού δυναμικού, ενώ κύριος παράγοντας που επηρέασε τα χαρακτηριστικά αυτά ήταν ο αριθμός των παλμών (Chanos *et al.*, 2020)

1.9.4 Μικρορευστοποίηση (Microfluidization)

Ο μικρορευστοποιητής είναι μία συσκευή η οποία εκμεταλλευόμενη τη σπηλαίωση, το στροβιλισμό και τη διάτμηση αποσκοπεί στην ομογενοποίηση του γάλακτος. Η αρχή λειτουργίας του είναι απλή: το γάλα που εισέρχεται στη συσκευή διαχωρίζεται σε δύο ρεύματα, τα οποία επιταχύνονται και έπειτα διασταυρώνονται και συγκρούονται σε ένα θάλαμο. Από τη σύγκρουση παράγονται ισχυρές διατμητικές δυνάμεις και έντονη σπηλαίωση και στροβιλισμός στο υγρό. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η ομογενοποίησή του (Sfakianakis and Tzia, 2014).

Σε σύγκριση με τη συμβατική ομογενοποίηση, η μικρορευστοποίηση μπορεί να επιτύχει μεγαλύτερη μείωση του μεγέθους των λιποσφαιρίων του γάλακτος. Συγκεκριμένα, έχει βρεθεί ότι με τη χρήση της τεχνολογίας αυτής η διάμετρός τους μπορεί να μειωθεί μέχρι και στα 2 μm. Το μειωμένο μέγεθος των λιποσφαιρίων επιτρέπει την καλύτερη ενσωμάτωσή τους στο πρωτεϊνικό πλέγμα του γιαουρτιού, ενώ η αύξηση της επιφάνειάς τους λόγω της ομογενοποίησης βελτιώνει την ικανότητα αλληλεπίδρασής τους με τις καζεΐνες και τις μετουσιωμένες πρωτεΐνες ορού κατά τη διάρκεια του σχηματισμού του πήγματος (Ciron *et al.*, 2010).

Έρευνες έχουν δείξει ότι γιαούρτι περιεκτικότητας 0% σε λιπαρά, το οποίο παρήχθη από γάλα κατεργασμένο με την εν λόγω τεχνολογία στα 150 MPa εμφάνισε μη επιθυμητά χαρακτηριστικά, δηλαδή αυξημένη συναίρεση, μειωμένη σκληρότητα, συνεκτικότητα και ιξώδες σε σχέση με γιαούρτι προερχόμενο από γάλα συμβατικής ομογενοποίησης (Ciron *et al.*, 2010). Από την άλλη, γιαούρτι περιεκτικότητας 1.5% σε λιπαρά, παραγόμενο από γάλα επίσης ομογενοποιημένο με μικρορευστοποίηση στα 150 MPa εμφάνισε βελτιωμένα χαρακτηριστικά υφής, δηλαδή ενισχυμένη αίσθηση κρεμώδους (creaminess), πιο ομαλό προϊόν (smoothness) και υψηλότερη συνεκτικότητα. Οι διαφοροποιήσεις αυτές σχετίζονται με τις ρεολογικές ιδιότητες του γιαουρτιού (Ciron *et al.*, 2011). Περισσότερη μελέτη απαιτείται πάνω στην εφαρμογή της μικρορευστοποίησης στο γιαούρτι για να διαπιστωθεί ο βαθμός αποτελεσματικότητάς της.

Πίνακας 1.9.1 - Οι καινοτόμες τεχνολογίες και τα αποτελέσματά τους σε γάλα και γιαούρτι

Τεχνολογία	Συνθήκες επεξεργασίας	Επιπτώσεις στα χαρακτηριστικά του γάλακτος	Επιπτώσεις στα χαρακτηριστικά του γιαουρτιού
Υπέρηχοι υψηλής έντασης	Συχνότητα: > 20 kHz Ένταση: 100-1000 W/cm^2	-Διάσπαση λιποσφαιρίων -Μείωση μεγέθους λιποσφαιρίων -Ομογενοποίηση -Σταθερότητα ως γαλάκτωμα -Ελάττωση μικροβιακού φορτίου -Μετουσίωση πρωτεϊνών ορού και αλληλεπίδρασή τους με καζεϊνικά μικκύλια και λιποσφαίρια -Εμφάνιση πτητικών ουσιών που προκαλούν μη επιθυμητή γεύση	-Μεγαλύτερη συνεκτικότητα -Υψηλότερο ιξώδες -Αυξημένη ικανότητα συγκράτησης νερού -Μειωμένη συναίρεση -Σταθερότερο πήγμα
Υπερυψηλή πίεση	Πίεση: 100-1000 MPa	-Απενεργοποίηση παθογόνων και αλλοιογόνων μικροοργανισμών -Διάσπαση λιποσφαιρίων -Μείωση μεγέθους λιποσφαιρίων -Ομογενοποίηση -Αύξηση συγκέντρωσης καζεϊνών και φωσφορικού ασβεστίου στον ορό -Μετουσίωση πρωτεϊνών ορού	-Μείωση χρόνου ζύμωσης -Σταθερότερο πήγμα -Βελτιωμένα χαρακτηριστικά υφής -Υψηλότερο ιξώδες -Πιο κρεμώδης υφή -Αυξημένη ικανότητα συγκράτησης νερού -Μειωμένη συναίρεση

		-Αύξηση διατηρησιμότητας -Αποφυγή μη επιθυμητών συνεπειών της συμβατικής παστερίωσης (π.χ. μείωση συγκέντρωσης βιταμινών, υποβάθμιση λακτόζης σε σάκχαρα και οξέα)	
Παλμικά ηλεκτρικά πεδία	Εφαρμογή παλμών ηλεκτρικού πεδίου στο γάλα Ένταση: 0.5-80 kV/cm Χρόνος: μs - ~15 s	- Απενεργοποίηση παθογόνων και αλλοιογόνων μικροοργανισμών -Αύξηση διατηρησιμότητας	- Μείωση χρόνου ζύμωσης -Χωρίς σημαντική επίδραση στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, στο ιξώδες, στην υφή, στο χρώμα και στην περιεκτικότητα σε σάκχαρα
Μικρορευστοποίηση	Διαχωρισμός του γάλακτος σε δύο ρεύματα, επιτάχυνσή τους και σύγκρουση	-Διάσπαση λιποσφαιρίων -Μείωση μεγέθους λιποσφαιρίων -Ομογενοποίηση	-Γιαούρτι με 0% λιπαρά: Αυξημένη συναίρεση, χαμηλότερο ιξώδες, μειωμένη σκληρότητα και συνεκτικότητα -Γιαούρτι με 1.5% λιπαρά: πιο κρεμώδης υφή, μεγαλύτερη συνεκτικότητα

1.9.5 Προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων

Τα προβιοτικά βακτήρια είναι ζωντανοί μικροοργανισμοί, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα τροφίμων και προσφέρουν οφέλη στην υγεία του καταναλωτή, κυρίως συντελώντας στη βελτίωση της μικροβιακής ισορροπίας του εντέρου. Ο όρος προβιοτικά δημιουργήθηκε για να γίνει διαφοροποίησή τους από τα αντιβιοτικά, ενώ η πρώτη αναφορά σχετικά με τα οφέλη τους προς την υγεία και την κατανάλωσή τους μέσω της διατροφής έλαβε χώρα στις αρχές του 20ου αιώνα (Sfakianakis and Tzia, 2014). Σήμερα, ο όρος προβιοτικά αναφέρεται σε προϊόντα τα οποία περιέχουν ζωντανά βακτήρια σε επαρκείς ποσότητες, όπως για παράδειγμα 10^6 CFU/g ή mL προϊόντος. Για να είναι δυνατή η εκμετάλλευση των ευεργετικών τους ιδιοτήτων από τον οργανισμό, πρέπει τα βακτήρια να είναι ζωντανά κατά την κατανάλωση και να καταναλώνονται καθημερινά περίπου 10^9 κύτταρα (Plessas *et al.*, 2012).

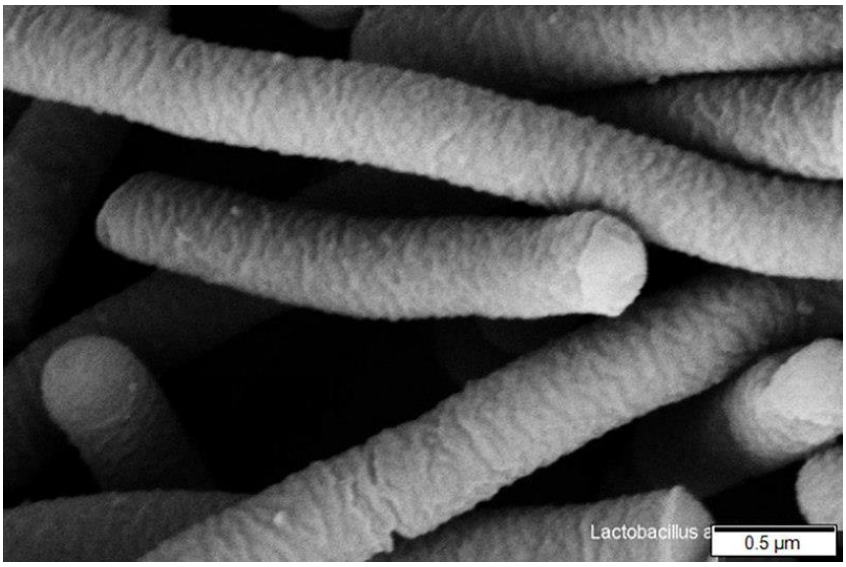
Το γιαούρτι και τα υπόλοιπα ζυμωμένα προϊόντα γάλακτος αποτελούν ιδανικά μέσα για την ανάπτυξη, τη μεταφορά και την πέψη των προβιοτικών βακτηρίων από τον ανθρώπινο οργανισμό. Τα πιο γνωστά είδη προβιοτικών βακτηρίων ανήκουν στις ομάδες των *Lactobacillus, Bifidobacteria, Enterococcus* και *Lactococcus* (Plessas *et al.*, 2012; Sfakianakis and Tzia, 2014).

Η τάση για παραγωγή γιαουρτιού με προβιοτικά βακτήρια παρουσιάζεται αυξανόμενη με το πέρασμα των χρόνων, χάρις στα σημαντικά οφέλη τους για την υγεία. Συγκεκριμένα, τα βακτήρια αυτά συμβάλλουν στην ανάπτυξη του ανοσοποιητικού συστήματος και μπορούν να προστατεύσουν τα όργανα του πεπτικού από παθογόνους μικροοργανισμούς, διότι παράγουν αντιμικροβιακές ουσίες. Επιπλέον, φαίνεται ότι βοηθούν στην καταπολέμηση της δυσανεξίας σε κάποια τρόφιμα, μεταξύ των οποίων και η λακτόζη. Τέλος, κατέχουν σημαντικό ρόλο στην πρόληψη και στην αντιμετώπιση διαφόρων παθήσεων του γαστρεντερικού συστήματος, όπως επίσης και στην πρόληψη καρδιαγγειακών παθήσεων και κάποιων ειδών καρκίνου (de Roos and Katan, 2000; Dunne *et al.*, 2001; Isolauri, 2004).

Ο τρόπος με τον οποίο δρουν τα προβιοτικά βακτήρια και ασκούν τις θεραπευτικές τους ιδιότητες παραμένει αντικείμενο μελέτης. Εκτιμάται ότι κάποιοι από τους μηχανισμούς με τους οποίους λειτουργούν είναι η τροποποίηση του pH του εντέρου, η παραγωγή αντιμικροβιακών ουσιών, ο ανταγωνισμός με τα παθογόνα βακτήρια για τα διαθέσιμα θρεπτικά συστατικά, η ενεργοποίηση ανοσορυθμιστικών κυττάρων και η παραγωγή λακτάσης (Kopp-Hoolihan, 2001).

Στο γιαούρτι η προστιθέμενη συγκέντρωση προβιοτικών είναι της τάξης των 10^7-10^8 CFU/g ή mL. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα περισσότερα στελέχη προβιοτικών δεν ασκούν κάποια επιρροή στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του γιαουρτιού, ούτε προκαλούν

διαφοροποιήσεις στη διαδικασία της ζύμωσης. Σε τρόφιμα στα οποία τα προβιοτικά βακτήρια συμμετέχουν στη ζύμωση, η συγκέντρωσή τους μπορεί να αυξηθεί σε 10^8-10^9 CFU/g ή mL μετά το πέρας της διαδικασίας (Sfakianakis and Tzia, 2014).



Εικόνα 1.9.3 – Φωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο του Lactobacillus acidophilus, κάποια από τα στελέχη του οποίου εμφανίζουν προβιοτικές ιδιότητες (Murtey and Ramasamy, 2016)

2 Πειραματικό Μέρος

2.1 Σκοπός

Σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η παραγωγή συνεκτικού γιαουρτιού και η μελέτη της επίδρασης διαφόρων παραγόντων στη ζύμωση και στα τελικά χαρακτηριστικά του, δηλαδή στο χρόνο ζύμωσης, στη λανθάνουσα φάση του pH και του ιξώδους σύμφωνα με το μοντέλο Gompertz, στους ρυθμούς μεταβολής τους σύμφωνα με το ίδιο μοντέλο, στο ιξώδες στο τέλος της ζύμωσης στους 45°C, στο ιξώδες μετά από 24h αποθήκευσης του γιαουρτιού στους 4°C, στην ικανότητα συγκράτησης ύδατος και στις αντικειμενικές παραμέτρους υφής, δηλαδή στη συνεκτικότητα, στην προσκολλησιμότητα και στη σκληρότητα. Η εξέλιξη της ζύμωσης παρακολουθείτο μέσω της μεταβολής του pH και του ιξώδους του γιαουρτιού με το χρόνο. Η ζύμωση θεωρείτο ολοκληρωμένη, μόλις το pH αποκτούσε τιμή ίση με 4.5. Οι παράγοντες των οποίων μελετήθηκε η επίδραση στο τελικό γιαούρτι ήταν η περιεκτικότητα του γάλακτος σε λιπαρά (πλήρες με περιεκτικότητα 3.5% και ημιαποβουτυρωμένο με περιεκτικότητα 1.5%) και η θερμική κατεργασία στην οποία αυτό υποβαλλόταν, δηλαδή «έντονη» στους 95°C για 5 min ή «ήπια» στους 83°C για 20 min. Έπειτα, μελετήθηκε η επίδραση της εφαρμογής υπερήχων πριν τη ζύμωση, δηλαδή κατά την προεπεξεργασία του γάλακτος πριν τη θερμική του κατεργασία. Αντίστοιχα, έγινε εφαρμογή υπερήχων μετά τη ζύμωση, δηλαδή στο τελικό ζυμωμένο γιαούρτι και τέλος, εφαρμόστηκαν υπέρηχοι κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, δηλαδή μία φορά στην αρχή (pH=6.3), μία στο μέσον (pH=5.2) και μία στο τέλος (pH=4.6) της διαδικασίας. Ακολούθως, στα επόμενα πειράματα έγινε προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων μαζί με τη συμβιωτική καλλιέργεια. Έπειτα, μελετήθηκε η επίδραση της εφαρμογής υπερυψηλής πίεσης, που έλαβε χώρα πριν τη θερμική κατεργασία του γάλακτος και οι τιμές που εφαρμόστηκαν ήταν 200 MPa και 600 MPa για 5 min. Τέλος, έγινε εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (n=100 παλμοί, τ=15 μs, f=20 Hz, E=1.8$\frac{kV}{cm}$) στο γάλα πριν τη θερμική του κατεργασία και μελετήθηκε η επίδρασή τους στο γιαούρτι.

2.2 Υλικά και μέθοδοι

2.2.1 Πρώτες ύλες

- Πλήρες αγελαδινό γάλα υψηλής παστερίωσης ΔΕΛΤΑ Α.Ε. (περιεκτικότητα σε λιπαρά 3.5% κ.β.)
- Ημιαποβουτυρωμένο αγελαδινό γάλα υψηλής παστερίωσης ΔΕΛΤΑ Α.Ε. (περιεκτικότητα σε λιπαρά 1.5% κ.β.)
- Οξυγαλακτική καλλιέργεια *Lactobacillus Bulgaricus* και *Streptococcus Thermophilus* σε αναλογία 1:1 (YODX 101, Freeze dried, MOFIN ALCE GROUP)
- Προβιοτική καλλιέργεια που περιλαμβάνει το στέλεχος *Bifidobacterium animalis subsp. Lactis* (BB-12/Chr. Hansen)

2.2.2 Όργανα και συσκευές

- Υδατόλουτρο (GFL 1083, Labortechnik GmbH, Burgwedel, Germany)
- Επωαστήρας (SANYO Incubator MIR-153m, Japan)
- Αναλυτής Υφής (Texture Analyzer TA-XT2i, Stable Microsystems, UK) και το κυλινδρικό στέλεχος Cylinder Probe TA3/1000
- Περιστροφικό ιξωδόμετρο (Brookfield/DV-II+ Pro, USA)
- Αναλυτικός ζυγός (Precisa Series 620C)
- pHμετρο 340i/SET 2A30 - 101T Clarkson Laboratory & Supply Inc., Germany
- pHμετρο 3310/SET 2AA312 - Clarkson Laboratory & Supply Inc., Germany
- Λουτρό Υπερήχων (Elmasonic S30/S30H ELMA)
- Συσκευή Υπερυψηλής Πίεσης (Food Pressure Unit FPU 1.01, Resato International BV, Roden, Holland)
- Συσκευή Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων (ELCRACK HV-5 kW, DIL, Quackenbrück, Germany)
- Υάλινα σκεύη και άλλα βοηθητικά σκεύη:
    - Θερμόμετρο
    - Πλαστικά κύπελλα
    - Σπαθίδα
    - Μεταλλικά σκεύη
    - Ογκομετρικός κύλινδρος
    - Ποτήρια ζέσεως
    - Κωνικές φιάλες
    - Αλουμινόχαρτο

2.3 Πειραματική διαδικασία

2.3.1 Παραγωγή γιαουρτιού

Η διαδικασία παραγωγής του γιαουρτιού που ακολουθήθηκε σε όλα τα πειράματα ζύμωσης ήταν η εξής: Αρχικά, 1000 mL ομογενοποιημένου γάλακτος (πλήρους ή ημι-αποβουτυρωμένου) θερμαίνονταν σε υδατόλουτρο εντός μεταλλικού σκεύους στους 95°C για 5 min ή στους 83°C για 20 min. Ακολουθούσε ψύξη του στους 45°C και προσθήκη 1g από την καλλιέργεια εκκίνησης. Έπειτα από ήπια ανάδευση με στόχο την ομοιόμορφη διασπορά της καλλιέργειας στο γάλα, το μίγμα τοποθετείτο σε πλαστικά κύπελλα. Κάθε ένα από αυτά περιείχε 100 mL μίγματος. Στη συνέχεια, τα δείγματα εισάγονταν στον επωαστήρα, ο οποίος ήταν ρυθμισμένος σε τέτοιες συνθήκες, ώστε η θερμοκρασία των δειγμάτων να παραμένει σταθερή στους 45°C. Σε δύο από τα κύπελλα τοποθετούνταν ηλεκτρονικά pHμετρα, τα οποία κατέγραφαν και αποθήκευαν την τιμή του pH ανά 5 min. Η λήξη της ζύμωσης σηματοδοτείτο μόλις το pH ελάμβανε την τιμή 4.5. Τότε τα δείγματα εξάγονταν από τον επωαστήρα, καλύπτονταν με αλουμινόχαρτο και τοποθετούνταν στο ψυγείο σε θερμοκρασία 4°C. Μετά από 24h γινόταν μέτρηση του ιξώδους τους, της ικανότητας συγκράτησης ύδατος και των αντικειμενικών παραμέτρων υφής τους. Επισημαίνεται ότι κατά τη διάρκεια της ζύμωσης πραγματοποιούνταν μετρήσεις του ιξώδους ανά 40-60 min στο περιστροφικό ιξωδόμετρο, καθώς και μέτρηση του ιξώδους στους 45°C αμέσως μετά το πέρας της ζύμωσης. Τα δείγματα που χρησιμοποιούνταν για τις μετρήσεις αυτές, καθώς και εκείνα στα οποία είχαν τοποθετηθεί τα pHμετρα δεν επανατοποθετούνταν στον επωαστήρα, αλλά απορρίπτονταν.

2.3.2 Εφαρμογή υπερήχων

Η εφαρμογή των υπερήχων στο γάλα γινόταν μέσω του λουτρού υπερήχων για 10 min σε συχνότητα 37 kHz. Στα πειράματα στα οποία εφαρμόστηκαν υπέρηχοι πριν τη ζύμωση, το γάλα τοποθετείτο σε υάλινα σκεύη και εισαγόταν στο λουτρό των υπερήχων, πριν υποστεί θερμική κατεργασία. Στα πειράματα στα οποία η κατεργασία με υπερήχους λάμβανε χώρα μετά τη ζύμωση, τα πλαστικά κύπελλα που περιείχαν το παραγόμενο γιαούρτι τοποθετούνταν στο λουτρό και έπειτα αποθηκεύονταν στο ψυγείο. Τέλος, στα πειράματα στα οποία η εφαρμογή υπερήχων γινόταν κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, τα πλαστικά κύπελλα με το παραγόμενο γιαούρτι τοποθετούνταν στο λουτρό όταν το pH τους ήταν 6.3, 5.2 και 4.6, τιμές που αντιπροσωπεύουν τις διαφορετικές φάσεις της ζύμωσης, και έπειτα επανατοποθετούνταν στον επωαστήρα.

Εικόνα 2.3.1 – Εφαρμογή υπερήχων πριν τη θερμική κατεργασία του γάλακτος

2.3.3 Προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων

Στα πειράματα που περιελάμβαναν προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων, τα βακτήρια αυτά προστίθεντο από κοινού με την καλλιέργεια εκκίνησης μετά την ψύξη του γάλακτος στους 45°C. Η προστιθέμενη ποσότητα προβιοτικών ήταν 1g και ήταν σε μη εγκλεισμένη μορφή.

2.3.4 Εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης

Η εφαρμογή της υπερυψηλής πίεσης ελάμβανε χώρα πριν τη θερμική κατεργασία του γάλακτος. Συγκεκριμένα, ογκομετρούνταν 700 mL γάλακτος, τα οποία αφού τοποθετούνταν εντός ειδικού πλαστικού περιέκτη, εισάγονταν στη συσκευή υπερυψηλής πίεσης. Η κατεργασία διαρκούσε 5 min και γίνονταν δύο σειρές πειραμάτων: μία σε πίεση 200 MPa και μία σε πίεση 600 MPa.

Εικόνα 2.3.2 – Συσκευή υπερυψηλής πίεσης του Εθνικού Ιδρύματος Αγροτικών Ερευνών (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.). Στο κέντρο διακρίνεται το τμήμα στο οποίο έγινε η κατεργασία του γάλακτος

2.3.5 Εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων

Η εφαρμογή των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στο γάλα γινόταν πριν τη θερμική του κατεργασία. Αρχικά, γινόταν ογκομέτρηση 60 mL γάλακτος, τα οποία έπειτα από τοποθέτηση σε ειδικό θάλαμο εισάγονταν στο όργανο των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων για να γίνει η κατεργασία τους. Η διαδικασία επαναλαμβανόταν 10 φορές, δηλαδή σε κάθε σειρά πειραμάτων γινόταν επεξεργασία σε συνολικά 600 mL γάλακτος. Ο αριθμός των παλμών ήταν 100, η διάρκειά τους 15 μs, η συχνότητα 20 Hz και η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου 1.8 kV/cm.

Εικόνα 2.3.3 – Συσκευή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων – Ημιβιομηχανικό εργαστήριο σχολής χημικών μηχανικών ΕΜΠ

2.4 Δειγματοληψία και αναλύσεις

2.4.1 Προσδιορισμός pH

Για την καταγραφή του pH χρησιμοποιούνταν δύο ηλεκτρονικά pHμετρα, τα οποία εμβαπτίζονταν στα κύπελλα που περιείχαν το παραγόμενο γιαούρτι. Αποθήκευαν μετρήσεις ανά 5 min καθ' όλη τη διάρκεια της ζύμωσης.

2.4.2 Προσδιορισμός ιξώδους

Για τον προσδιορισμό του ιξώδους χρησιμοποιείτο το περιστροφικό ιξωδόμετρο Brookfield. Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης λαμβάνονταν μετρήσεις ανά 40-60 min στις 50 RPM χρησιμοποιώντας τα στελέχη S95 και S96. Μετά την αποθήκευση για 24h των γιαουρτιών στο ψυγείο, γινόταν μέτρηση του ιξώδους τους με το στέλεχος S96. Αξίζει να επισημανθεί ότι σε περίπτωση που κρινόταν απαραίτητο, ο αριθμός των στροφών του ιξωδόμετρου ρυθμιζόταν αναλόγως.

2.4.3 Προσδιορισμός ικανότητας συγκράτησης ύδατος του γιαουρτιού

Η ικανότητα συγκράτησης ύδατος του πήγματος, συνεπώς και η συναίρεση που αυτό εμφανίζει, προσδιοριζόταν με τη μέθοδο της φυγοκέντρησης. Συγκεκριμένα, ζυγιζόταν ορισμένη ποσότητα γιαουρτιού από κάθε δείγμα και οδηγείτο προς φυγοκέντρηση στις 10000 RPM για 5 min και θερμοκρασία 4°C. Στη συνέχεια, ζυγιζόταν ο ορός που απέβαλλε το γιαούρτι και τελικά υπολογιζόταν η ικανότητα συγκράτησης ύδατος από τον τύπο:

$$Ικανότητα\ συγκράτησης\ ύδατος = \frac{αρχική\ μάζα\ γιαουρτιού\ (g) - μάζα\ ορού\ (g)}{αρχική\ μάζα\ γιαουρτιού\ (g)}$$

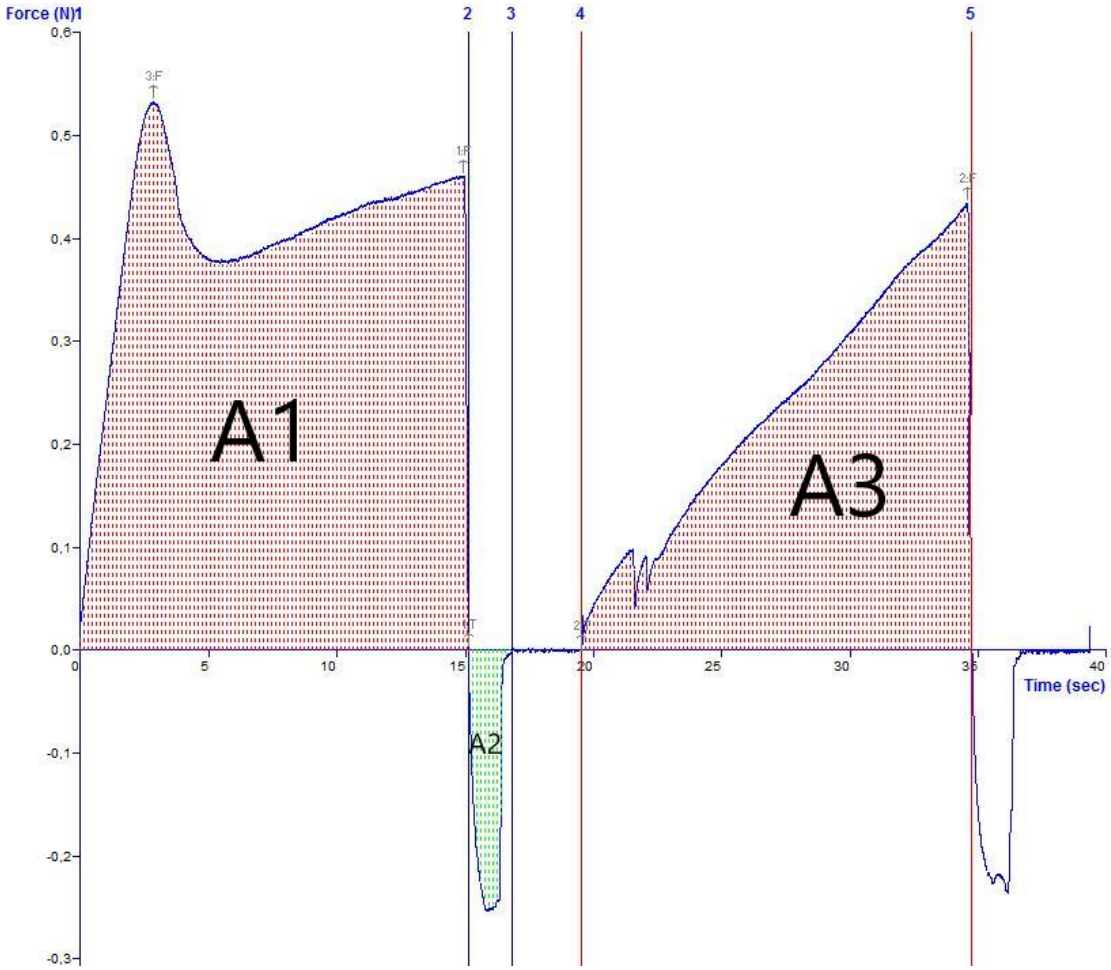
2.4.4 Ανάλυση υφής

Για την ανάλυση της υφής του γιαουρτιού χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής υφής Texture Analyzer TA-XT2i (Stable Microsystems) με χρήση του στελέχους Cylinder Probe TA3/1000, το οποίο έχει σχήμα κυλίνδρου, διάμετρο 25mm και ύψος 35mm. Η συσκευή προσομοιώνει τη διαδικασία της μάσησης του προϊόντος. Συγκεκριμένα, το στέλεχος βυθίζεται στο εσωτερικό του προϊόντος δύο διαδοχικές φορές μιμούμενο τη μηχανική καταπόνηση που υφίσταται το τρόφιμο στο στόμα και μετράται η εφαρμοζόμενη δύναμη.

Εικόνα 2.4.1 – Ανάλυση υφής σε δείγμα γιαουρτιού

Οι αντικειμενικές παράμετροι υφής είναι οι εξής:

- **Σκληρότητα:** Η δύναμη που απαιτείται για τη διάσπαση του τροφίμου. Απεικονίζεται στο διάγραμμα ως η μέγιστη κορυφή κατά την πρώτη διείσδυση του κυλινδρικού στελέχους στο τρόφιμο.
- **Συνεκτικότητα:** Εκφράζει τη δύναμη των δεσμών που συγκροτούν το τρόφιμο. Αποτελεί το λόγο του έργου της δεύτερης συμπίεσης προς το έργο της πρώτης. Από το διάγραμμα μπορεί να υπολογιστεί ως το πηλίκο των εμβαδών $\frac{A_1}{A_3}$.
- **Προσκολλησιμότητα:** Η δύναμη που απαιτείται για την αποκόλληση ενός τροφίμου από μία επιφάνεια. Στο διάγραμμα απεικονίζεται ως το εμβαδόν Α2.



Εικόνα 2.4.2 - Διάγραμμα ανάλυσης υφής γιαουρτιού

2.5 Σχεδιασμός πειραμάτων

Η παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνει 5 σειρές πειραμάτων. Στην 1η σειρά ανήκουν τα πειράματα στα οποία παρήχθη γιαούρτι με τη συμβατική μέθοδο, χωρίς εφαρμογή κάποιας καινούριας τεχνολογίας. Στη σειρά αυτή εξετάστηκε η επίδραση του είδους του γάλακτος (περιεκτικότητα σε λιπαρά) και της θερμικής κατεργασίας, στην οποία αυτό υποβαλλόταν, στις ιδιότητες του γιαουρτιού. Η 2η σειρά περιλαμβάνει τα πειράματα στα οποία εφαρμόστηκαν υπέρηχοι. Η εφαρμογή τους έγινε πριν τη θέρμανση του γάλακτος, κατά τη ζύμωση του γιαουρτιού και μετά την ολοκλήρωσή της. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 6 πειράματα: 3 με πλήρες γάλα και 3 με ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Η θερμική κατεργασία ήταν και στα 6 πειράματα θέρμανση του γάλακτος σε υδατόλουτρο στους 95°C για 5 min. Αυτό το είδος θερμικής κατεργασίας χρησιμοποιήθηκε και στις επόμενες σειρές. Στην 3η σειρά πειραμάτων έγινε προσθήκη στο γάλα προβιοτικών βακτηρίων μαζί με την καλλιέργεια εκκίνησης. Παρήχθησαν δύο είδη γιαουρτιών που περιείχαν τα εν λόγω βακτήρια: ένα από πλήρες γάλα και ένα από ημιαποβουτυρωμένο. Στην 4η σειρά πειραμάτων έγινε εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης στο γάλα, πριν τη θερμική του κατεργασία. Χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη κατεργασίας: μία στα 200 MPa και μία στα 600 MPa. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η εφαρμογή 200 MPa θεωρείται σχετικά ήπια κατεργασία, ενώ η εφαρμογή 600 MPa θεωρείται έντονη. Οι τιμές αυτές επιλέχθηκαν για να διαπιστωθεί αν υφίσταται διαφορά στην επίδραση που ασκούν οι δύο αυτές κατεργασίες στο γιαούρτι. Η 4η σειρά περιλαμβάνει 4 πειράματα: 2 γιαούρτια από πλήρες γάλα κατεργασμένο με δύο διαφορετικές τιμές πίεσης και αντίστοιχα 2 γιαούρτια από ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Τέλος, η 5η σειρά αποτελείται από πειράματα στα οποία χρησιμοποιήθηκαν παλμικά ηλεκτρικά πεδία. Η εφαρμογή τους έγινε στο γάλα πριν τη θερμική του επεξεργασία. Η εφαρμοζόμενη ένταση ηλεκτρικού πεδίου ήταν 1.8 kV/cm. Θα ήταν επιθυμητό να εφαρμοστεί αρκετά μεγαλύτερη ένταση, όμως λόγω των περιορισμών του οργάνου, η συγκεκριμένη τιμή ήταν η μέγιστη δυνατή. Στη συγκεκριμένη σειρά παρήχθησαν 2 γιαούρτια, ένα από κάθε είδος γάλακτος.

Σε κάθε ζύμωση καταγράφονταν ανά τακτά διαστήματα το pH και το ιξώδες. Μετά την αποθήκευση του γιαουρτιού στους 4°C για 24h γινόταν μέτρηση του ιξώδους στο περιστροφικό ιξωδόμετρο, ανάλυση αντικειμενική υφής στον αναλυτή υφής και μέτρηση της ικανότητας συγκράτησης ύδατος μέσω φυγοκέντρησης. Επισημαίνεται ότι στις σειρές 4 και 5, λόγω περιορισμένης χωρητικότητας των συσκευών υπερυψηλής πίεσης και παλμικών ηλεκτρικών πεδίων, ο όγκος του γάλακτος δεν ήταν επαρκής για να ληφθούν μετρήσεις για το ιξώδες κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, καθώς τα δείγματα στα οποία γίνεται η μέτρηση αυτή απορρίπτονται, οπότε δε θα υπήρχαν αρκετά διαθέσιμα για τις μετρήσεις υφής, ικανότητας συγκράτησης ύδατος και ιξώδους μετά από 24h αποθήκευσης.

Πίνακας 2.5.1 – Σειρές πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν

Α/Α	Σειρά	% Λιπαρά	Θερμική κατεργασία	US	Προβιοτικά βακτήρια	UHP	PEF
1	1	3,5	95°C - 5 min	-	-	-	-
2		3,5	83°C - 20 min	-	-	-	-
3		1,5	95°C - 5 min	-	-	-	-
4		1,5	83°C - 20 min	-	-	-	-
5	2	3,5	95°C - 5 min	Πριν τη ζύμωση	-	-	-
6		3,5	95°C - 5 min	Κατά τη ζύμωση	-	-	-
7		3,5	95°C - 5 min	Μετά τη ζύμωση	-	-	-
8		1,5	95°C - 5 min	Πριν τη ζύμωση	-	-	-
9		1,5	95°C - 5 min	Κατά τη ζύμωση	-	-	-
10		1,5	95°C - 5 min	Μετά τη ζύμωση	-	-	-
11	3	3,5	95°C - 5 min	-	Ναι	-	-
12		1,5	95°C - 5 min	-	Ναι	-	-
13	4	3,5	95°C - 5 min	-	-	200 MPa	-
14		3,5	95°C - 5 min	-	-	600 MPa	-
15		1,5	95°C - 5 min	-	-	200 MPa	-
16		1,5	95°C - 5 min	-	-	600 MPa	-
17	5	3,5	95°C - 5 min	-	-	-	Ναι
18		1,5	95°C - 5 min	-	-	-	Ναι

3 Αποτελέσματα – επεξεργασία

3.1 Εισαγωγή

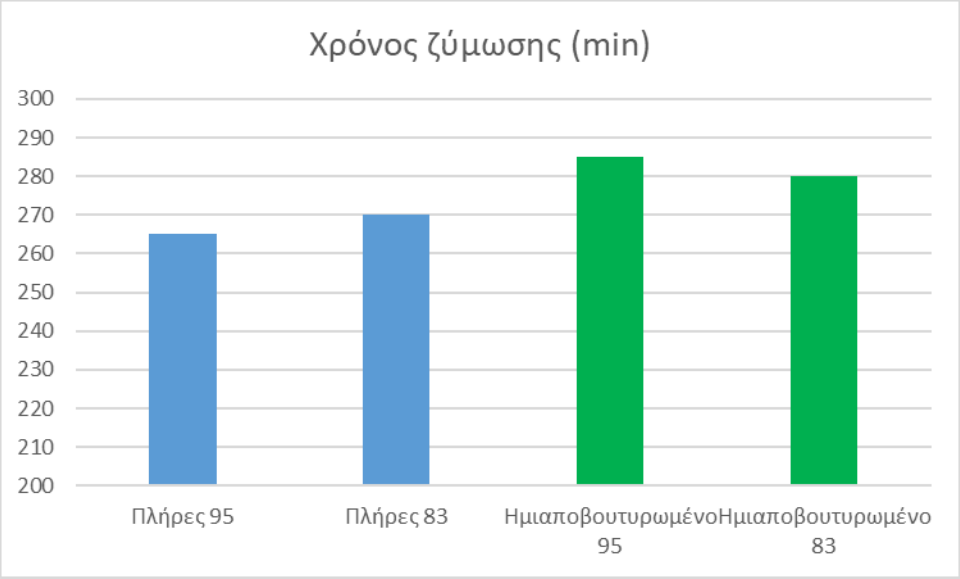
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για κάθε σειρά πειραμάτων αναφορικά με τις παραμέτρους ζύμωσης και τα τελικά χαρακτηριστικά του γιαουρτιού. Παρατίθενται και σχολιάζονται τα διαγράμματα που αφορούν κάθε εξεταζόμενη παράμετρο (χρόνος ζύμωσης, ρυθμός μεταβολής pH και ιξώδους, λανθάνουσα φάση pH και ιξώδους, ιξώδες στο τέλος της ζύμωσης, ιξώδες μετά από αποθήκευση 24h, ικανότητα συγκράτησης ύδατος και παράμετροι αντικειμενικής υφής) και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), για να διαπιστωθεί αν υπάρχει σημαντική ή μη επίδραση των εξεταζόμενων παραγόντων στις μελετούμενες παραμέτρους. Κάθε υποενότητα αφορά και μία διαφορετική σειρά πειραμάτων (γιαούρτια συμβατικής παραγωγής, γιαούρτια με προβιοτικά βακτήρια, εφαρμογή υπερήχων, εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης και εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων). Τέλος, στην υποενότητα 3.7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση των κύριων συνιστωσών των πειραμάτων

3.2 Μελέτη επίδρασης είδους γάλακτος και θερμικής του κατεργασίας

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα διαγράμματα και η στατιστική επεξεργασία για τα αποτελέσματα που προέκυψαν σχετικά με τα γιαούρτια τα οποία παρήχθησαν με τη συμβατική μέθοδο, χωρίς εφαρμογή κάποιας καινοτόμου τεχνολογίας. Εξετάζεται η επίδραση του είδους του γάλακτος (3.5% ή 1.5% κ.β. περιεκτικότητα σε λιπαρά) και της θερμικής του κατεργασίας (95°C-5min ή 83°C-20 min) στα χαρακτηριστικά του γιαουρτιού.

3.2.1 Χρόνος ζύμωσης

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τους χρόνους ζύμωσης γιαουρτιών που παρασκευάστηκαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, το οποίο είχε υποστεί έντονη (95°C-5 min) ή ήπια (83°C-20 min) θερμική κατεργασία. Υπενθυμίζεται ότι η ζύμωση του γάλακτος προς γιαούρτι θεωρείται ολοκληρωμένη μόλις το pH λάβει την τιμή 4.5.



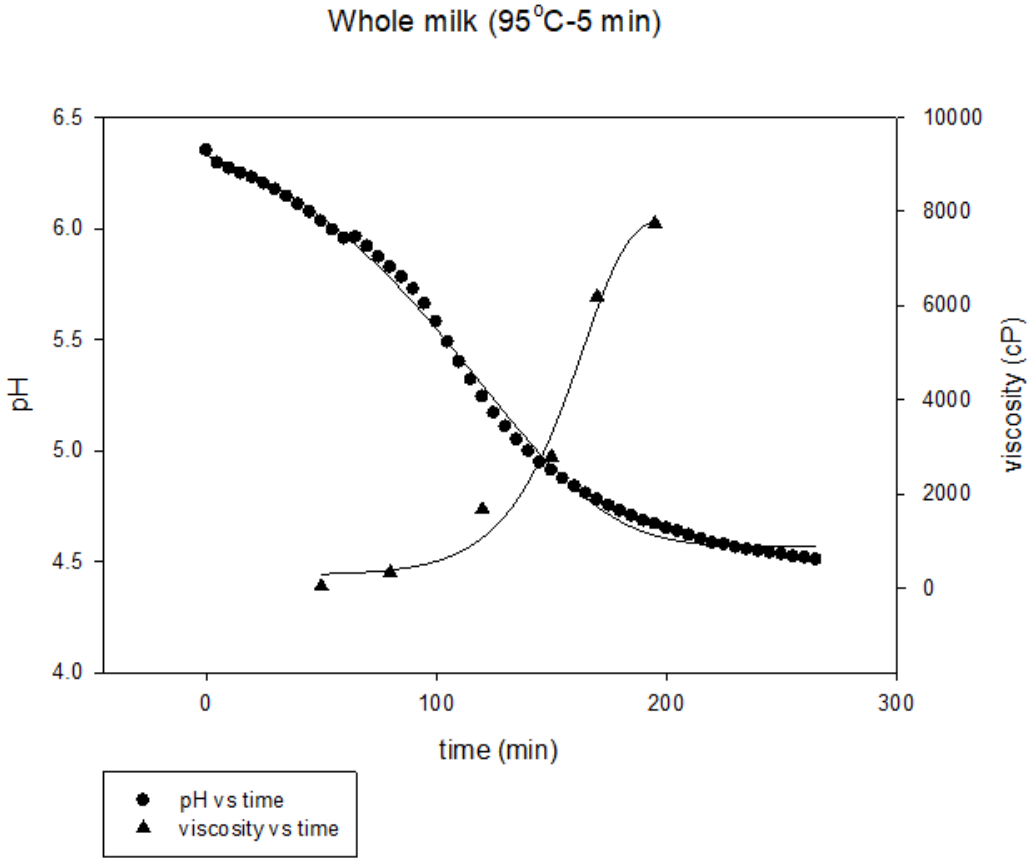
Διάγραμμα 3.2.1.1 – Χρόνος ζύμωσης γιαουρτιών που έχουν παραχθεί από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με θερμική κατεργασία στους 95°C για 5 min ή στους 83°Cγια 20 min

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα, φαίνεται ότι τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες γάλα εμφάνισαν ελαφρώς μικρότερους χρόνους ζύμωσης σε σχέση με τα αντίστοιχα από ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν είναι 20 min για τα γιαούρτια που παρήχθησαν από γάλα θερμικής κατεργασίας στους 95°C και 10 min για εκείνα με θερμική κατεργασία στους 83°C. Η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε ότι το είδος του γάλακτος δεν επιδρά σημαντικά στο χρόνο ζύμωσης του γιαουρτιού. Η διαφορά στην περιεκτικότητα σε λιπαρά των δύο ειδών γάλακτος φαίνεται ότι δεν ήταν αρκετά μεγάλη, ώστε να προκαλέσει σημαντική διαφοροποίηση στο χρόνο ζύμωσης. Αυτό σημαίνει ότι η συγκέντρωση λιποσφαιριδίων στο ημιαποβουτυρωμένο γάλα ήταν επαρκής για τον έγκαιρο σχηματισμό συσσωματωμάτων με τις καζεΐνες και τις πρωτεΐνες ορού, χωρίς να προκαλείται καθυστέρηση στο σχηματισμό του πήγματος του γιαουρτιού. Σε περίπτωση που χρησιμοποιείτο αποβουτυρωμένο γάλα (0% περιεκτικότητα σε λιπαρά) είναι πιθανό να υπήρχε σημαντική διαφορά στο χρόνο ζύμωσής του σε σχέση με το πλήρες γάλα.

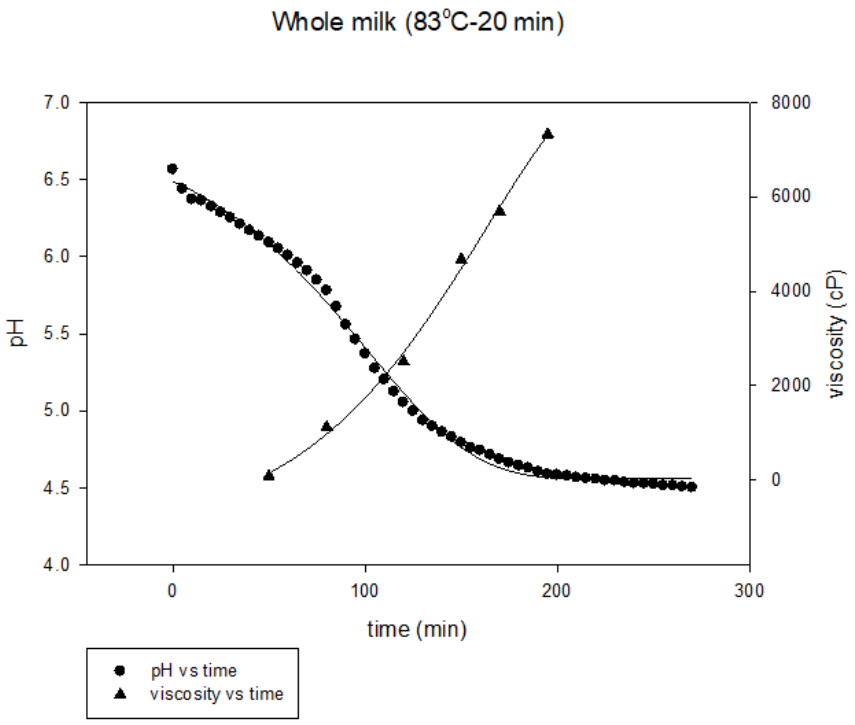
Όσον αφορά τη θερμική κατεργασία, αυτή δεν φαίνεται να επηρέασε τους χρόνους ζύμωσης, καθώς, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 3.2.1.1, αυτοί ήταν παραπλήσιοι για τα γιαούρτια από ίδιο είδος γάλακτος και διαφορετική θερμική κατεργασία. Κάτι τέτοιο επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), σύμφωνα με την οποία το είδος της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος δεν άσκησε σημαντική επιρροή στο χρόνο ζύμωσης του γιαουρτιού. Πιθανή εξήγηση αυτού είναι ότι οι μεταβολές που προκλήθηκαν στα συστατικά του γάλακτος (κυρίως στις πρωτεΐνες π.χ. μετουσιώσεις) από τη θερμική κατεργασία δεν φαίνεται να ήταν τέτοιας έκτασης που να επηρέασαν το χρόνο σχηματισμού του πήγματος.

3.2.2 Μεταβολή pH και ιξώδους κατά τη διάρκεια της ζύμωσης

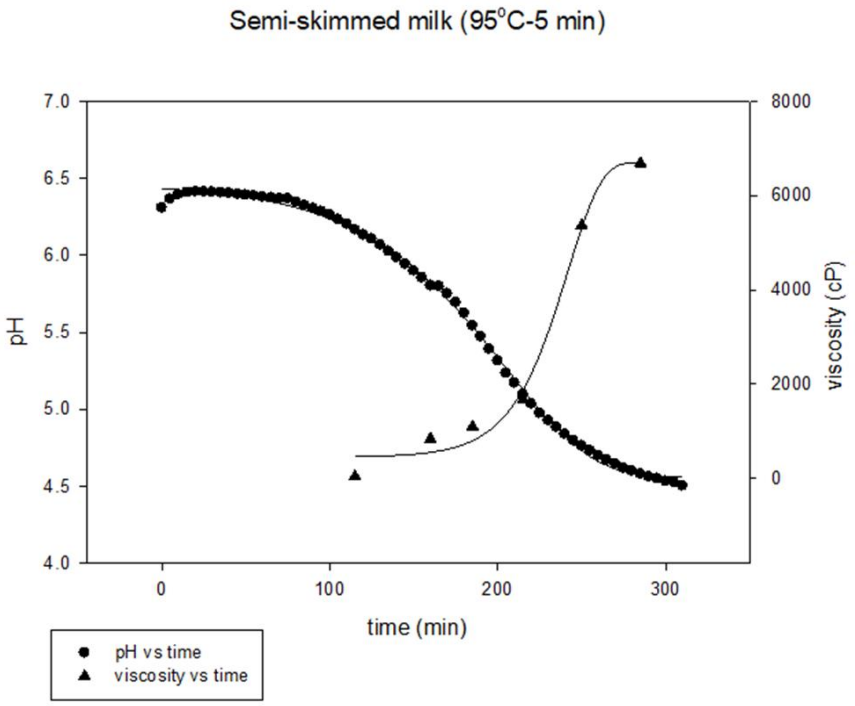
Η μεταβολή του pH και του ιξώδους κατά τη διάρκεια της ζύμωσης εκφράζεται από την εξίσωση Gompertz και απεικονίζεται με την αντίστοιχη σιγμοειδή καμπύλη. Στην υποενότητα αυτή παρατίθενται τα διαγράμματα pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου για τα δείγματα που παρασκευάστηκαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, το οποίο είχε υποστεί έντονη (95°C-5 min) ή ήπια (83°C-20 min) θερμική κατεργασία.



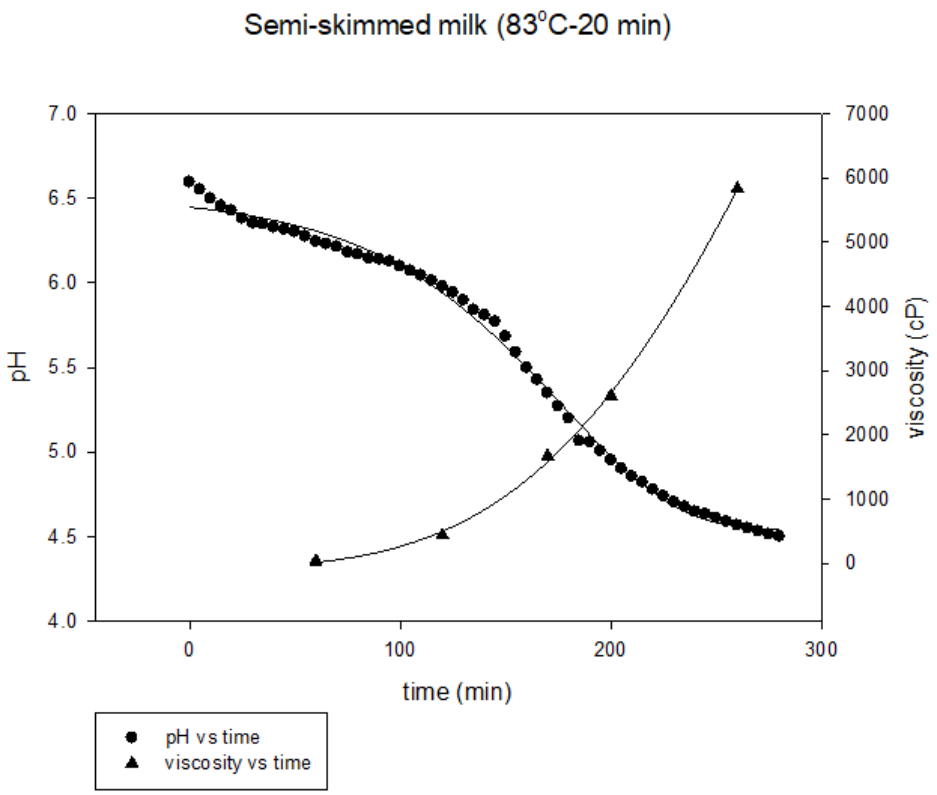
Διάγραμμα 3.2.2.1 – Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη ζύμωση προς γιαούρτι πλήρους γάλακτος στο οποίο έχει εφαρμοστεί θερμική κατεργασία 95°C για 5 min



Διάγραμμα 3.2.2.2 – Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη ζύμωση προς γιαούρτι πλήρους γάλακτος στο οποίο έχει εφαρμοστεί θερμική κατεργασία 83°C για 20 min



Διάγραμμα 3.2.2.3 – Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη ζύμωση προς γιαούρτι ημιαποβουτυρωμένου γάλακτος στο οποίο έχει εφαρμοστεί θερμική κατεργασία 95°C για 5 min



Διάγραμμα 3.2.2.4 - Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη ζύμωση προς γιαούρτι ημιαποβουτυρωμένου γάλακτος στο οποίο έχει εφαρμοστεί θερμική κατεργασία 83°C για 20 min

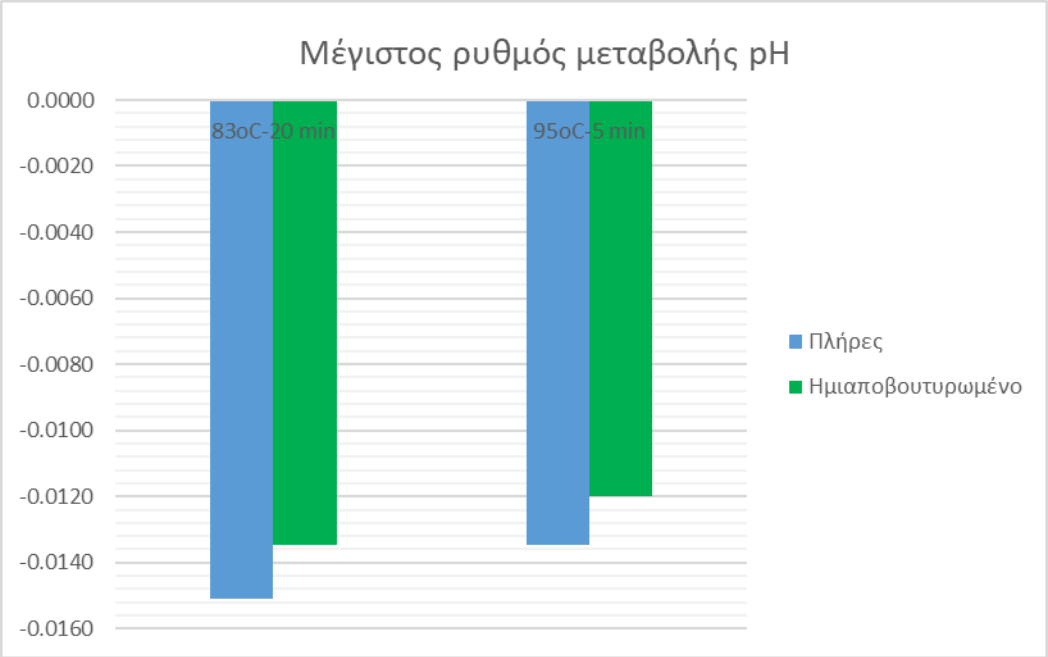
Στα παραπάνω διαγράμματα pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου οι τιμές pH και ιξώδους που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, έχουν προσαρμοστεί στο μοντέλο Gompertz τεσσάρων παραμέτρων. Στα διαγράμματα διακρίνονται οι τρεις φάσεις της ζύμωσης. Αρχικά, το pH μειώνεται με αργό ρυθμό επειδή η λακτόζη μεταβολίζεται σχεδόν αποκλειστικά από τον *S. Thermophilus*. Έπειτα, στο τμήμα των καμπυλών με απότομη κλίση το pH μειώνεται με το μέγιστο ρυθμό, λόγω της δράσης και των δύο βακτηρίων της καλλιέργειας εκκίνησης. Τέλος, προς το τέλος της ζύμωσης, δηλαδή αφού το pH έχει λάβει την τιμή 4.6, παρατηρείται πολύ αργή μείωσή του, που σημαίνει ότι η ζύμωση βρίσκεται στη φάση κατά την οποία δρα κυρίως το βακτήριο *L. Bulgaricus*.

Επιπλέον, παρατηρείται ότι το pH έχει την τάση να μεταβάλλεται πιο γρήγορα από το ιξώδες, κάτι το οποίο είναι λογικό, αφού η μείωση του pH λόγω της μετατροπής της λακτόζης σε γαλακτικό οξύ αποτελεί την αιτία συσσωμάτωσης των πρωτεϊνών, άρα και της αύξησης του ιξώδους. Επίσης, εξίσου αναμενόμενη είναι η απότομη αύξηση του ιξώδους όταν το pH λάβει την τιμή 4.6, καθώς αυτό αποτελεί το ισοηλεκτρικό σημείο των καζεϊνών, που σημαίνει ότι τότε καταβυθίζονται.

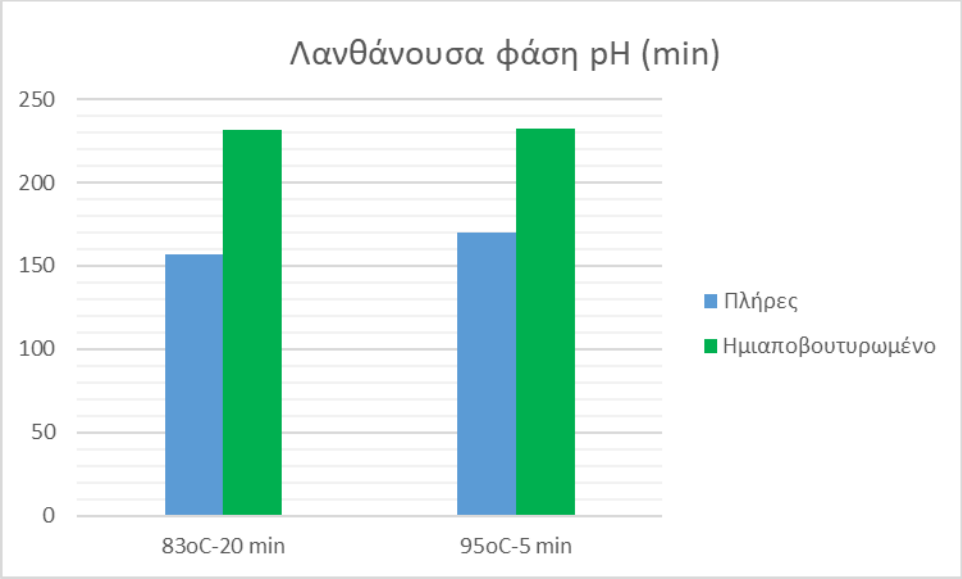
Τέλος, αξίζει να επισημανθεί ότι η προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων pH και ιξώδους στο μοντέλο Gompertz ήταν καλή (R^2>0.99) και για τα τέσσερα παραπάνω πειράματα.

3.2.3 Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH και λανθάνουσα φάση pH

Ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH (μ_{pH}) και η λανθάνουσα φάση του (λ_{pH}) υπολογίζονται μέσω των τεσσάρων παραμέτρων του μοντέλου Gompertz. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα που προέκυψαν για τα δύο αυτά μεγέθη έπειτα από τα πειράματα στα οποία παρήχθη γιαούρτι από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη (95°C-5 min) ή ήπια (83°C-20 min) θερμική κατεργασία.



Διάγραμμα 3.2.3.1 – Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH για τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη (95°C-5 min) ή ήπια (83°C-20 min) θερμική κατεργασία.



Διάγραμμα 3.2.3.2 – Λανθάνουσα φάση pH (min) για τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη (95°C-5 min) ή ήπια (83°C-20 min) θερμική κατεργασία.

Παρατηρείται ότι τα γιαούρτια που παρήχθησαν από γάλα το οποίο είχε υποβληθεί σε θερμική κατεργασία 83°C για 20 min παρουσιάζουν μεγαλύτερο ρυθμό μείωσης pH συγκριτικά με τα αντίστοιχα από γάλα που είχε θερμανθεί στους 95°C για 5 min. Επίσης, το pH του πλήρους γάλακτος φαίνεται ότι είχε την τάση να μειώνεται ταχύτερα από αυτό του ημιαποβουτυρωμένου. Σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), τόσο το είδος του γάλακτος, όσο και η θερμική κατεργασία εμφάνισαν σημαντική επίδραση στο ρυθμό μείωσης του pH. Η διαφορά στη σύσταση μεταξύ πλήρους και ημιαποβουτυρωμένου γάλακτος φαίνεται να οδήγησε σε ταχύτερο μεταβολισμό της λακτόζης κατά τη ζύμωση του πρώτου, άρα και σε πιο γρήγορη μείωση του pH. Ως συνέπεια αυτού, τα γιαούρτια από πλήρες γάλα εμφάνισαν μικρότερο χρόνο ζύμωσης σε σχέση με εκείνα από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, αν και η διαφορά δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Από την άλλη, η ήπια θερμική κατεργασία του γάλακτος οδήγησε σε μεγαλύτερο ρυθμό μεταβολής του pH, κάτι που μπορεί να υποδεικνύει ότι με την έντονη θερμική κατεργασία η διαθεσιμότητα της λακτόζης μειώνεται ελαφρώς, για αυτό και ο μεταβολισμός της γίνεται με μικρότερο ρυθμό.

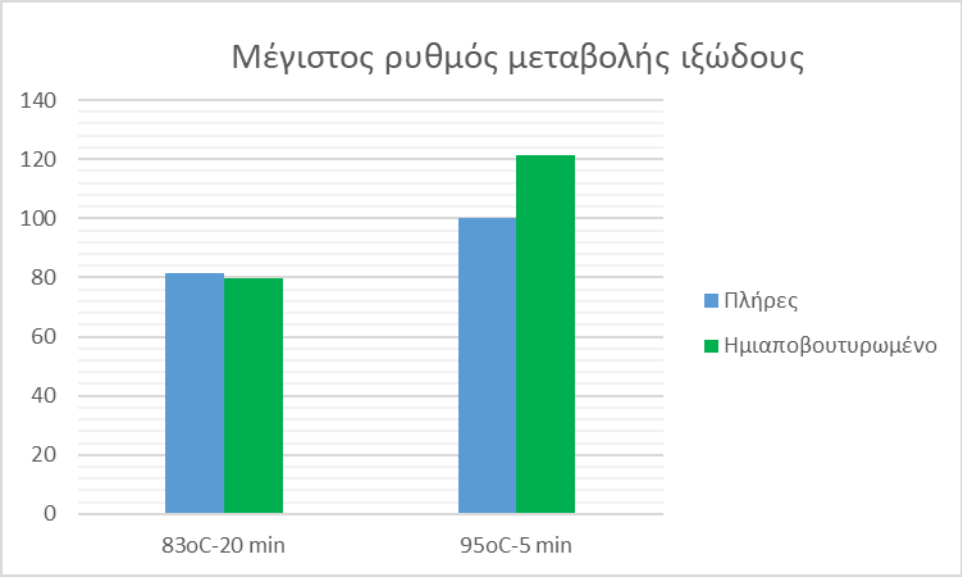
Όσον αφορά τη λανθάνουσα φάση του pH, είναι φανερό ότι το είδος του χρησιμοποιούμενου γάλακτος έπαιξε σημαντικό ρόλο στη διάρκεια αυτής. Αυτό επιβεβαιώνεται από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), η οποία υπέδειξε ότι η περιεκτικότητα του γάλακτος σε λιπαρά της ασκεί σημαντική επίδραση. Συγκεκριμένα, όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό από το διάγραμμα 3.2.3.2, τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες γάλα εμφάνισαν μικρότερη λανθάνουσα φάση pH σε σχέση με τα αντίστοιχα από ημιαποβουτυρωμένο. Η διαφορετική σύσταση του γάλακτος, όπως αναφέρθηκε και

προηγουμένως, προκαλεί ταχύτερο μεταβολισμό της λακτόζης κατά τη ζύμωση γιαουρτιού από πλήρες γάλα, με αποτέλεσμα η λανθάνουσα φάση του pH να έχει μικρότερη διάρκεια.

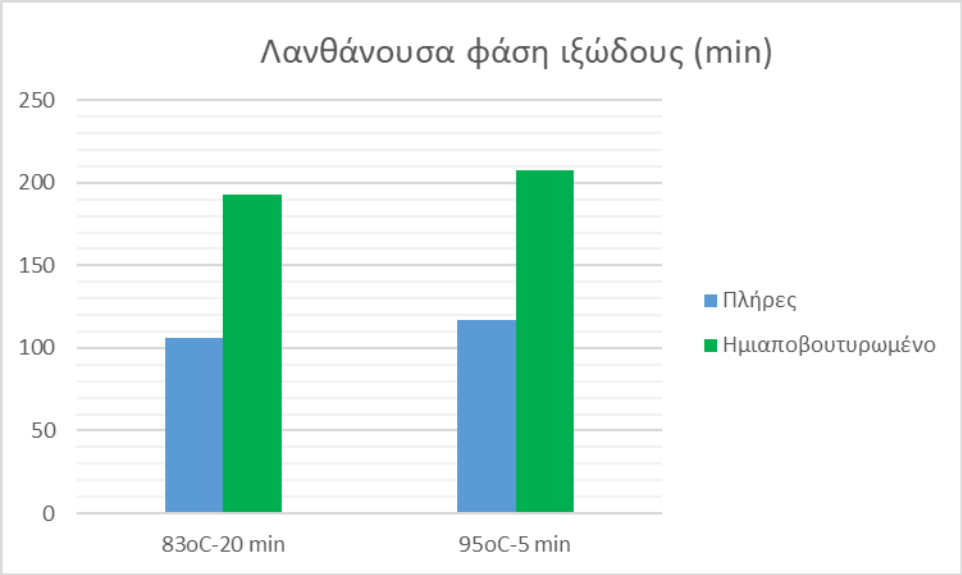
Από την άλλη, η διαφορετική θερμική κατεργασία δε φαίνεται να επηρέασε σημαντικά το εν λόγω μέγεθος, κάτι που επιβεβαιώνεται από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), ενώ και από το διάγραμμα 3.2.3.2 μπορεί να παρατηρηθεί ότι οι λανθάνουσες φάσεις του pH των γιαουρτιών από ίδιο είδος γάλακτος και διαφορετική θερμική κατεργασία έχουν σχεδόν την ίδια διάρκεια.

3.2.4 Μέγιστος ρυθμός μεταβολής ιξώδους και λανθάνουσα φάση ιξώδους

Τα μεγέθη μιξώδες και λιξώδες προκύπτουν, όπως και για τα αντίστοιχα του pH, από την εξίσωση Gompertz τεσσάρων παραμέτρων. Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προέκυψαν για τα δείγματα από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη (95°C-5 min) ή ήπια (83°C-20 min) θερμική κατεργασία.



Διάγραμμα 3.2.4.1 - Μέγιστος ρυθμός μεταβολής ιξώδους για τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη (95°C-5 min) ή ήπια (83°C-20 min) θερμική κατεργασία.



Διάγραμμα 3.2.4.2 – Λανθάνουσα φάση ιξώδους (min) για τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη (95°C-5 min) ή ήπια (83°C-20 min) θερμική κατεργασία.

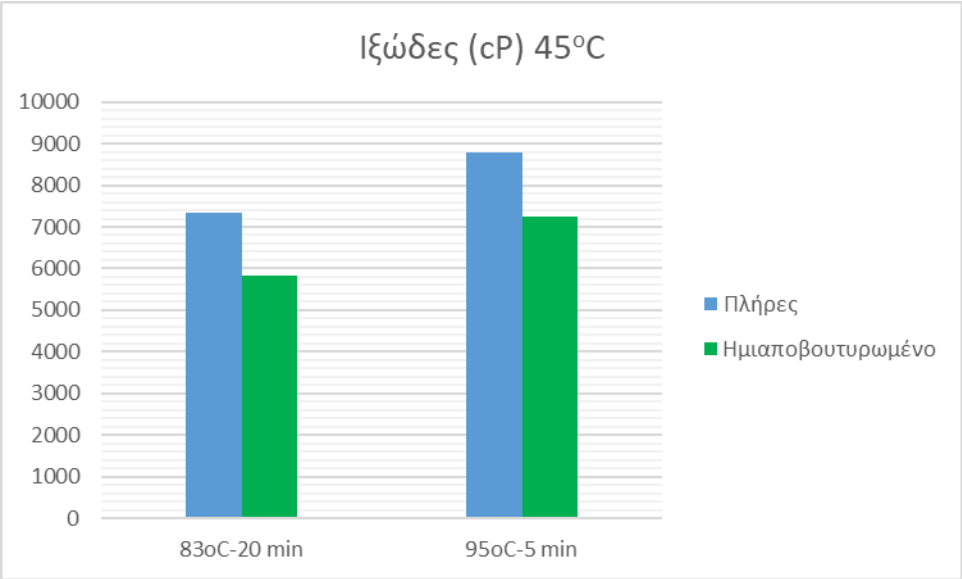
Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι ο ρυθμός αύξησης του ιξώδους ήταν παραπλήσιος για τα γιαούρτια που παρήχθησαν από γάλα ήπιας θερμικής κατεργασίας, ενώ σε αυτά στα οποία εφαρμόστηκε έντονη θερμική κατεργασία ο ρυθμός ήταν μεγαλύτερος στο γιαούρτι από ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Επίσης, στα γιαούρτια που παρήχθησαν από το γάλα με την έντονη θερμική κατεργασία, ο ρυθμός μεταβολής του ιξώδους ήταν μεγαλύτερος σε σχέση με αυτόν των γιαουρτιών της ήπιας κατεργασίας. Ωστόσο, η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε ότι δεν υφίσταται σημαντική επιρροή κάποιων από τους δύο παράγοντες στο ρυθμό αύξησης του ιξώδους. Κανονικά, εφόσον το είδος του γάλακτος και η θερμική του κατεργασία επηρεάζουν το ρυθμό μεταβολής του pH, θα έπρεπε από τη στατιστική επεξεργασία να προκύψει ότι επιδρούν και στο ρυθμό αύξησης του ιξώδους, καθώς οι δύο ρυθμοί είναι αλληλένδετοι. Κάτι τέτοιο όμως δεν έγινε και μπορεί να αποδοθεί στον περιορισμένο αριθμό των μετρήσεων του ιξώδους (μέτρηση περίπου ανά 40 min) σε σχέση με τις μετρήσεις του pH που γίνονταν ανά 5 min.

Από την άλλη, τα γιαούρτια που προέρχονταν από το ημιαποβουτυρωμένο γάλα εμφάνισαν μεγαλύτερη λανθάνουσα φάση ιξώδους, σε σύγκριση με τα αντίστοιχα από πλήρες γάλα. Συγκεκριμένα, οι λανθάνουσες φάσεις ιξώδους για τα δύο δείγματα από ημιαποβουτυρωμένο γάλα υπολογίστηκαν στα 193 min και 207 min, ενώ οι αντίστοιχες για τα δείγματα από πλήρες γάλα ήταν 106 min και 117 min. Η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) υπέδειξε ότι το είδος του γάλακτος επέδρασε σημαντικά στη διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του ιξώδους. Αντίθετα, η θερμική επεξεργασία του γάλακτος δεν άσκησε σημαντική

επιρροή στη συγκεκριμένη παράμετρο. Όπως ειπώθηκε και προηγουμένως, είναι λογικό ένας παράγοντας που επηρεάζει το ρυθμό μεταβολής ή τη λανθάνουσα φάση του pH, να ασκεί επιρροή και στις αντίστοιχες παραμέτρους του ιξώδους. Στην περίπτωση αυτή, κάτι τέτοιο επιβεβαιώνεται, αφού το είδος του γάλακτος, σύμφωνα με τη στατιστική ανάλυση, επηρέασε τη λανθάνουσα φάση του pH και του ιξώδους, ενώ η θερμική κατεργασία δεν άσκησε επιρροή στη λανθάνουσα φάση τους.

3.2.5 Ιξώδες στους 45°C

Το ιξώδες κάθε δείγματος μετρήθηκε με το πέρας της ζύμωσης σε θερμοκρασία 45°C, πριν την αποθήκευση του δείγματος στο ψυγείο. Παρακάτω, παρατίθενται τα διαγράμματα του ιξώδους στο τέλος της ζύμωσης για τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη (95°C-5 min) ή ήπια (83°C-20 min) θερμική κατεργασία.



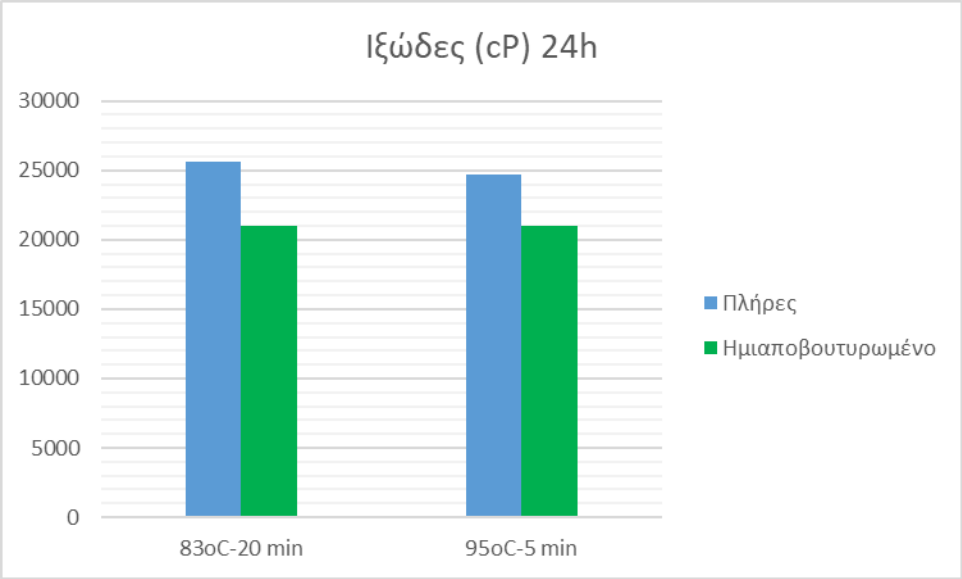
Διάγραμμα 3.2.5.1 – Ιξώδες (cP) στο τέλος της ζύμωσης (45°C) γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη (95°C-5 min) ή ήπια (83°C-20 min) θερμική κατεργασία.

Από το διάγραμμα 3.2.5.1 φαίνεται ότι τα γιαούρτια που παρασκευάστηκαν από πλήρες γάλα εμφάνισαν μεγαλύτερο ιξώδες στο τέλος της ζύμωσης, σε σύγκριση με εκείνα από ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Επίσης, η πιο έντονη θερμική κατεργασία φαίνεται να συνέβαλε στην αύξηση του ιξώδους. Οι παρατηρήσεις αυτές επιβεβαιώνονται από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), σύμφωνα με την οποία το είδος του γάλακτος και η θερμική του κατεργασία επηρέασαν σημαντικά το ιξώδες του γιαουρτιού στο τέλος της ζύμωσης, στους 45°C. Η υψηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά και η έντονη θερμική κατεργασία του γάλακτος φαίνεται να συνεισέφεραν στο σχηματισμό ισχυρότερου, πιο σταθερού πήγματος, χάρις στη μεγαλύτερη ενσωμάτωση των λιποσφαιριδίων στα συσσωματώματα

καζεϊνών - πρωτεϊνών ορού, που αποτελούν τα κομμάτια που συνθέτουν το πήγμα, καθώς και στη δημιουργία ισχυρότερων δεσμών μεταξύ των κομματιών αυτών.

3.2.6 Ιξώδες 24h (στους 4°C)

Μετά από αποθήκευση του κάθε δείγματος στο ψυγείο στους 4°C, γινόταν μέτρηση του ιξώδους του. Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την εν λόγω παράμετρο για τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη (95°C-5 min) ή ήπια (83°C-20 min) θερμική κατεργασία.



Διάγραμμα 3.2.6.1 - Ιξώδες (cP) μετά από την αποθήκευση για 24h στους 4°C γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη (95°C-5 min) ή ήπια (83°C-20 min) θερμική κατεργασία.

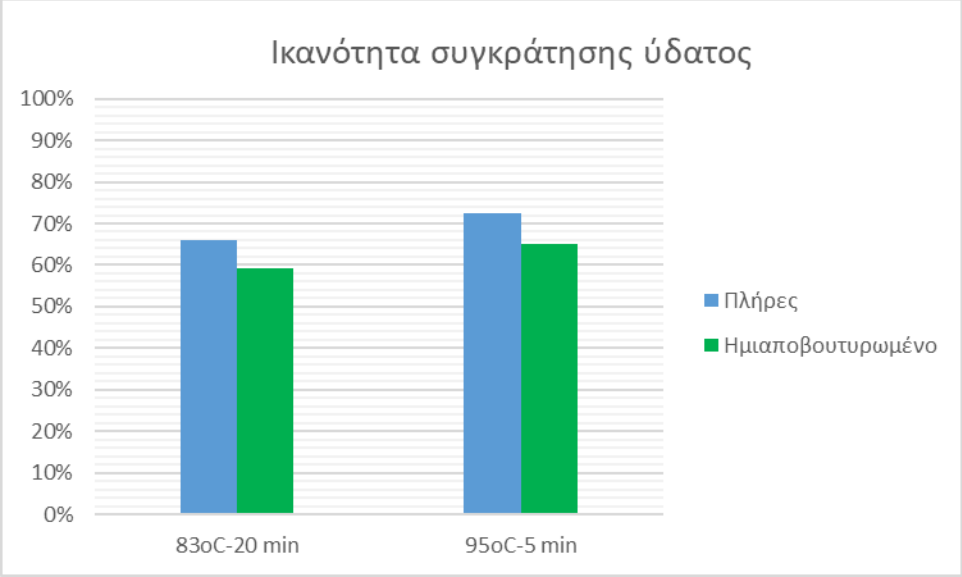
Όπως παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα, τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες γάλα εμφάνισαν μεγαλύτερο ιξώδες σε σχέση με τα αντίστοιχα που παρασκευάστηκαν από ημιαποβουτυρωμένο. Παρόλα αυτά, από τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) δεν προέκυψε σημαντική διαφορά μεταξύ των δειγμάτων από διαφορετικό είδος γάλακτος, συνεπώς η περιεκτικότητα σε λιπαρά δεν άσκησε σημαντική επιρροή στο τελικό ιξώδες του γιαουρτιού. Αν και η υψηλότερη περιεκτικότητα σε λιπαρά οδήγησε σε μεγαλύτερο ιξώδες στο τέλος της ζύμωσης, μετά από την αποθήκευση των γιαουρτιών στο ψυγείο για 24h η διαφοροποίηση αυτή εξαλείφθηκε. Φαίνεται ότι με το πέρας της ζύμωσης το πήγμα των ημιαποβουτυρωμένων γιαουρτιών ήταν λιγότερο σταθερό από εκείνο των γιαουρτιών από πλήρες γάλα, για αυτό και εμφανίστηκε διαφορά στο ιξώδες στο τέλος της ζύμωσης. Η διαφοροποίηση αυτή όμως δεν εμφανίστηκε

μετά από 24h, γεγονός που αποδεικνύει ότι κατά την αποθήκευση των γιαουρτιών στο ψυγείο το πήγμα του γιαουρτιού από ημιαποβουτυρωμένο γάλα βελτιώθηκε, δηλαδή τα συστατικά του απέκτησαν πιο ισχυρούς δεσμούς, άρα το ιξώδες αυξήθηκε και πλησίασε αυτό του πλήρους γιαουρτιού.

Η θερμική κατεργασία του γάλακτος, όπως είναι φανερό και στο διάγραμμα, δεν επέδρασε σημαντικά στο τελικό ιξώδες του γιαουρτιού, κάτι που επιβεβαιώνεται και από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA). Συμπεραίνεται επομένως ότι η επίδρασή της στο ιξώδες δεν ήταν σημαντική σε βάθος χρόνου, αφού επηρέασε μόνο το ιξώδες στο τέλος της ζύμωσης και όχι το τελικό.

3.2.7 Ικανότητα συγκράτησης ύδατος

Στην υποενότητα αυτή εξετάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν σχετικά με την ικανότητα συγκράτησης ύδατος των γιαουρτιών. Η μέτρηση της εν λόγω παραμέτρου γινόταν μετά από αποθήκευση του γιαουρτιού για 24h, με φυγοκέντρηση σε θερμοκρασία 4°C. Παρακάτω παρατίθεται το αντίστοιχο διάγραμμα για τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη (95°C-5 min) ή ήπια (83°C-20 min) θερμική κατεργασία.



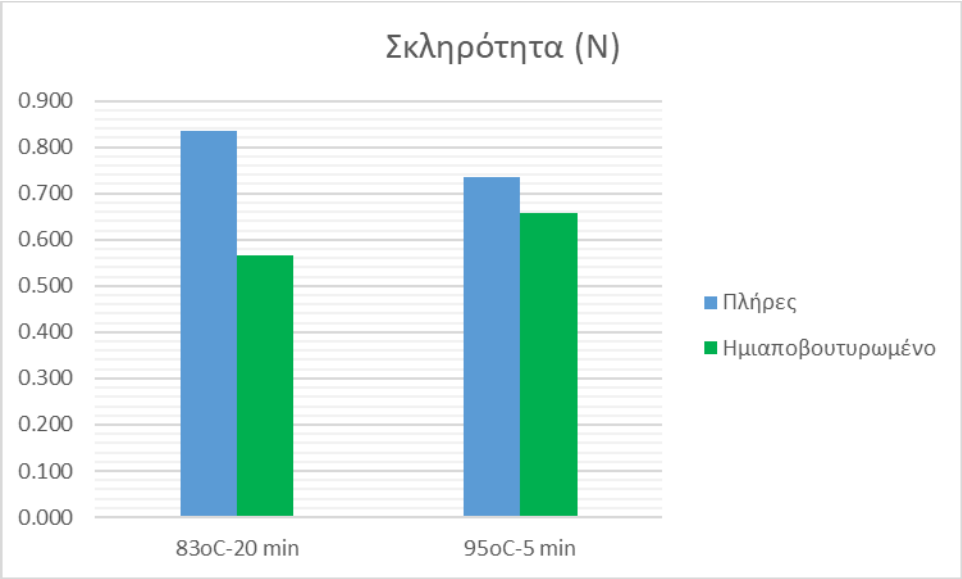
Διάγραμμα 3.2.7.1 – Ικανότητα συγκράτησης ύδατος γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη (95°C-5 min) ή ήπια (83°C-20 min) θερμική κατεργασία.

Από το διάγραμμα συμπεραίνεται ότι τα γιαούρτια που προέρχονταν από πλήρες γάλα διέθεταν μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης ύδατος σε σχέση με αυτά από το ημιαποβουτυρωμένο. Επίσης, η έντονη θερμική κατεργασία του γάλακτος φαίνεται να οδήγησε σε γιαούρτι υψηλότερης ικανότητας συγκράτησης ύδατος. Με άλλα λόγια, η συναίρεση φαίνεται να μειώθηκε με την αύξηση της περιεκτικότητας του γάλακτος σε λιπαρά

και με την πιο έντονη θερμική κατεργασία. Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνεται από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), η οποία έδειξε ότι τόσο το είδος του γάλακτος, όσο και η θερμική του κατεργασία συνεισέφεραν σημαντικά στη διαμόρφωση της ικανότητας συγκράτησης ύδατος του γιαουρτιού. Τη μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης νερού (72%), ή αλλιώς την ελάχιστη εμφάνιση συναίρεσης, διέθετε το γιαούρτι από πλήρες γάλα έντονης θερμικής κατεργασίας. Ακολουθεί το γιαούρτι από πλήρες γάλα ήπιας θερμικής κατεργασίας με 66%, και τέλος τα δύο δείγματα από ημιαποβουτυρωμένο γάλα έντονης και ήπιας θερμικής κατεργασίας με ικανότητα συγκράτησης ύδατος 65% και 59% αντιστοίχως. Η αύξηση της ικανότητας συγκράτησης ύδατος στα γιαούρτια από γάλα υψηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά και έντονης θερμικής κατεργασίας μπορεί να αποδοθεί στη δημιουργία ισχυρότερου πλέγματος, το οποίο εγκλωβίζει σε μεγαλύτερο βαθμό το νερό, ελαττώνοντας έτσι το διαχωρισμό του ορού από το κύριο σώμα του γιαουρτιού.

3.2.8 Ανάλυση αντικειμενικής υφής Σκληρότητα, Συνεκτικότητα, Προσκολλησιμότητα

Στη συγκεκριμένη ενότητα αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις παραμέτρους αντικειμενικής υφής των γιαουρτιών που παρασκευάστηκαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη (95°C-5 min) ή ήπια (83°C-20 min) θερμική κατεργασία. Αρχικά, εξετάστηκε η παράμετρος της σκληρότητας του γιαουρτιού, τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται παρακάτω.



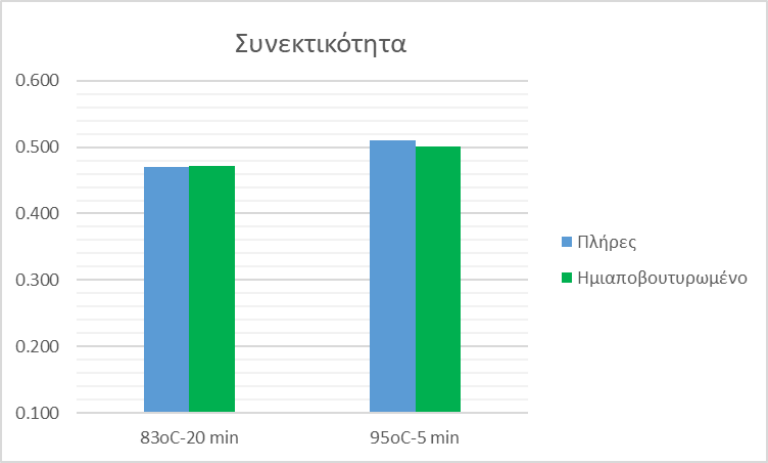
Διάγραμμα 3.2.8.1 – Σκληρότητα γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη (95°C-5 min) ή ήπια (83°C-20 min) θερμική κατεργασία.

Από το παραπάνω διάγραμμα μπορεί να γίνει η παρατήρηση ότι τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες γάλα εμφάνισαν μεγαλύτερη σκληρότητα σε σχέση με εκείνα στα οποία χρησιμοποιήθηκε ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Κάτι τέτοιο ωστόσο, δεν επιβεβαιώνεται

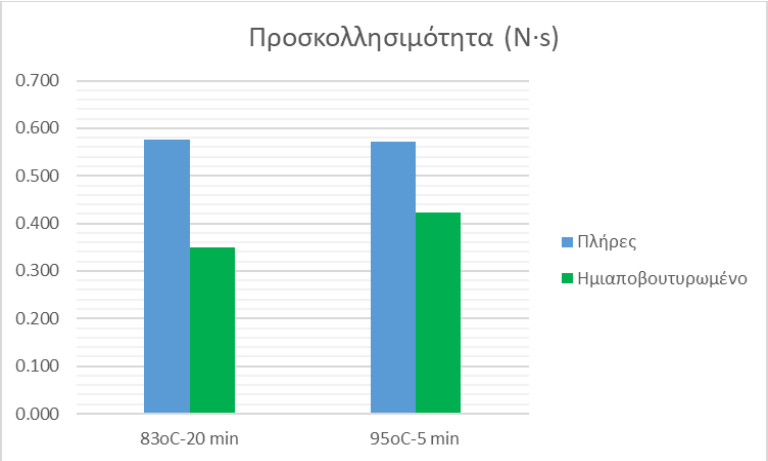
από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), η οποία έδειξε ότι το είδος του γάλακτος δεν είχε σημαντική επίδραση στη σκληρότητα του τελικού προϊόντος.

Όσον αφορά το ρόλο της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος, αυτός δεν είναι ξεκάθαρος, καθώς στα γιαούρτια από πλήρες γάλα η έντονη κατεργασία οδήγησε σε χαμηλότερη τιμή σκληρότητας, ενώ στα γιαούρτια από ημιαποβουτυρωμένο γάλα συνέβη το αντίστροφο. Επομένως, με βάση το διάγραμμα, αλλά και την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η θερμική κατεργασία του γάλακτος δεν άσκησε σημαντική επιρροή στη σκληρότητα του γιαουρτιού.

Ακολούθως, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις άλλες δύο παραμέτρους της αντικειμενικής υφής του γιαουρτιού, τη συνεκτικότητα και την προσκολλησιμότητά του.



Διάγραμμα 3.2.8.2 – Συνεκτικότητα γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη (95°C-5 min) ή ήπια (83°C-20 min) θερμική κατεργασία.



Διάγραμμα 3.2.8.3 - Προσκολλησιμότητα γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη (95°C-5 min) ή ήπια (83°C-20 min) θερμική κατεργασία.

Όπως παρατηρείται στο διάγραμμα 3.2.8.2, τα παραχθέντα από διαφορετικό γάλα και ίδια θερμική κατεργασία γιαούρτια εμφάνισαν παραπλήσιες τιμές συνεκτικότητας. Η εν λόγω παράμετρος δεν φαίνεται να παρουσιάζει σημαντικές διαφορές ούτε και στα γιαούρτια που προέρχονται από γάλα ίδιας περιεκτικότητας σε λιπαρά αλλά διαφορετικής θερμικής κατεργασίας. Κάτι τέτοιο επιβεβαιώνεται και από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), σύμφωνα με την οποία το είδος του γάλακτος και της θερμικής κατεργασίας που αυτό υφίσταται δεν επηρέασαν σημαντικά τη συνεκτικότητα του γιαουρτιού.

Τέλος, όσον αφορά την προσκολλησιμότητα του γιαουρτιού, από το διάγραμμα 3.2.8.3 αυτή φαίνεται να έλαβε μεγαλύτερες τιμές στα γιαούρτια με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε λιπαρά, ενώ δεν παρατηρήθηκε σημαντική μεταβολή μεταξύ των γιαουρτιών που προήλθαν από γάλα διαφορετικής θερμικής κατεργασίας. Η στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) υπέδειξε ότι ούτε η περιεκτικότητα του γάλακτος σε λιπαρά, ούτε και η θερμική κατεργασία στην οποία υποβάλλεται είχαν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της προσκολλησιμότητας του γιαουρτιού.

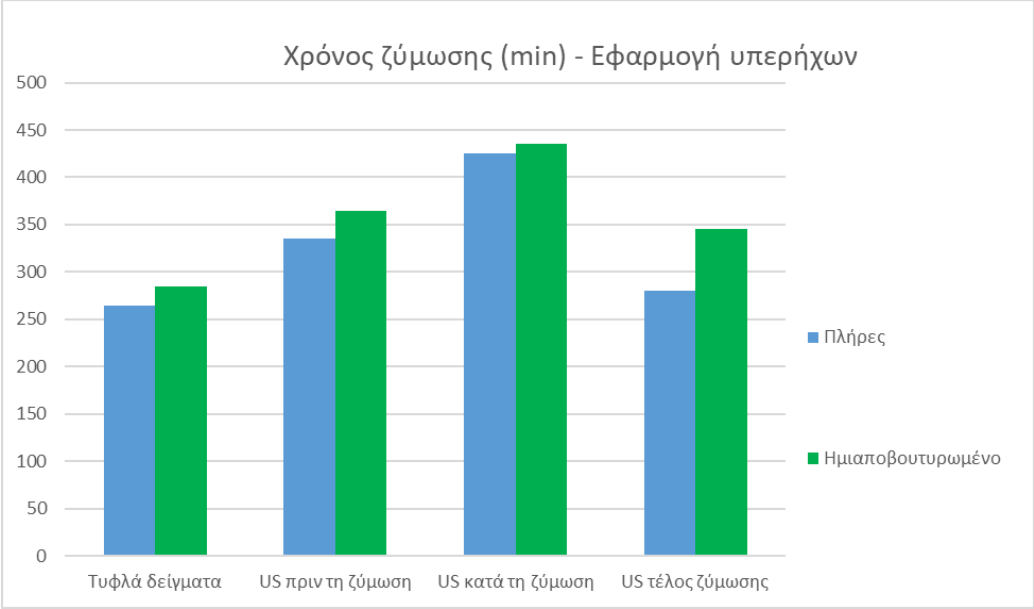
Συμπερασματικά, οι δύο παράγοντες (είδος γάλακτος, θερμική κατεργασία) δεν επηρέασαν σημαντικά κάποια από τις παραμέτρους αντικειμενικής υφής. Η διαφορά στην περιεκτικότητα σε λιπαρά των δύο ειδών γάλακτος φαίνεται ότι δεν ήταν αρκετά μεγάλη, ώστε να προκαλέσει σημαντική διαφοροποίηση στην υφή των γιαουρτιών. Επίσης, όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 3.2.6, η επίδραση της θερμικής κατεργασίας φαίνεται να περιορίστηκε κυρίως στη ζύμωση και στην ενίσχυση της ικανότητας συγκράτησης ύδατος. Μετά από την αποθήκευση του γιαουρτιού για 24h και τη σταθεροποίηση του πήγματος που λαμβάνει χώρα στο διάστημα αυτό, οι συνέπειές της στο γιαούρτι ελαχιστοποιούνταν, άρα έτσι θα μπορούσε να εξηγηθεί η μη επίδρασή της στις παραμέτρους αντικειμενικής υφής.

3.3 Εφαρμογή υπερήχων (US)

Στο γιαούρτι εφαρμόστηκαν υπέρηχοι υψηλής έντασης (High Intensity Ultrasound) σε τρεις διαφορετικές σειρές πειραμάτων για κάθε είδος γάλακτος. Η πρώτη σειρά περιλάμβανε εφαρμογή υπερήχων πριν τη θερμική κατεργασία του γάλακτος (άρα και πριν από τη ζύμωση), στη δεύτερη σειρά εφαρμόστηκαν υπέρηχοι τρεις φορές κατά τη διάρκεια της ζύμωσης και τέλος, στην τρίτη σειρά η εφαρμογή τους έγινε μετά το πέρας της. Στην ενότητα αυτή αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα πειράματα αυτά για τις διάφορες παραμέτρους του γιαουρτιού.

3.3.1 Χρόνος ζύμωσης γιαουρτιών με εφαρμογή US

Παρακάτω παρουσιάζονται οι χρόνοι ζύμωσης γιαουρτιών που παρασκευάστηκαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη θερμική κατεργασία (95°C-5 min) και με εφαρμογή υπερήχων (US) υψηλής έντασης πριν τη ζύμωση, κατά τη διάρκεια αυτής και μετά την ολοκλήρωσή της. Για λόγους σύγκρισης έχουν προστεθεί και τα αποτελέσματα των συμβατικών γιαουρτιών.



Διάγραμμα 3.3.1.1– Χρόνος ζύμωσης γιαουρτιού από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με US πριν τη ζύμωση, (γ) με US κατά τη διάρκεια της ζύμωσης και (δ) με US στο τέλος της ζύμωσης

Από το παραπάνω διάγραμμα, αρχικά παρατηρείται ότι, όπως και στα συμβατικά γιαούρτια, το πλήρες γάλα ζυμώθηκε ταχύτερα από το ημιαποβουτυρωμένο γάλα σε όλες τις σειρές πειραμάτων με υπερήχους. Επιπλέον, είναι φανερό ότι τα γιαούρτια που υποβλήθηκαν σε κατεργασία με υπερήχους εμφάνισαν μεγαλύτερους χρόνους ζύμωσης σε σχέση με τα συμβατικά γιαούρτια. Τους μεγαλύτερους χρόνους παρουσίασαν τα γιαούρτια στα οποία οι υπέρηχοι εφαρμόστηκαν κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Ακολούθησαν αυτά στα οποία η εφαρμογή υπερήχων έγινε πριν τη ζύμωση, ενώ στα γιαούρτια όπου η

κατεργασία έλαβε χώρα μετά το τέλος αυτής παρατηρήθηκε αύξηση στο χρόνο ζύμωσης του γιαουρτιού από ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Η μεγάλη διαφορά στο χρόνο ζύμωσης μεταξύ της δεύτερης σειράς πειραμάτων με υπερήχους (US κατά τη ζύμωση) και των συμβατικών γιαουρτιών μπορεί να αποδοθεί στη διατάραξη του πήγματος κατά τη μεταφορά των δειγμάτων από τον επωαστήρα στο λουτρό υπερήχων, καθώς και στην πρόσκαιρη μείωση της θερμοκρασίας τους (υπενθυμίζεται ότι η βέλτιστη θερμοκρασία για τη δράση της οξυγαλακτικής καλλιέργειας είναι οι 45°C) κάθε φορά που γινόταν η κατεργασία.

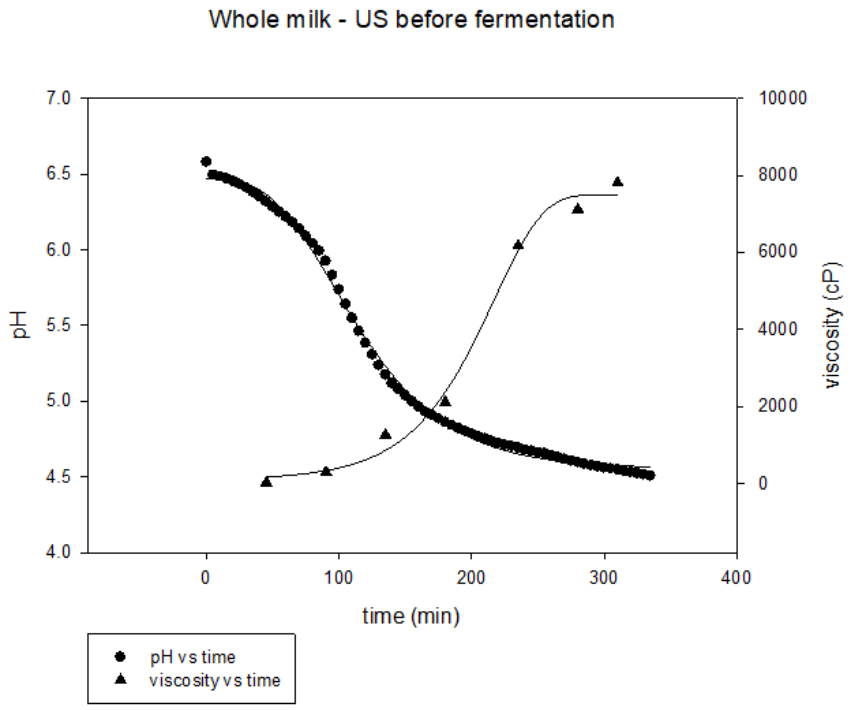
Από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε ότι η κατεργασία με υπερήχους επηρέασε σημαντικά το χρόνο ζύμωσης, κάτι το οποίο επιβεβαιώνεται και από τους (Sfakianakis and Tzia, 2011). Ο μεγαλύτερος χρόνος (435 min) παρατηρήθηκε για το γιαούρτι από ημιαποβουτυρωμένο γάλα με εφαρμογή US κατά τη ζύμωση, ενώ το γιαούρτι από πλήρες γάλα με την ίδια κατεργασία χρειάστηκε 425 min. Αντίστοιχα, στη σειρά πειραμάτων με εφαρμογή US πριν τη θερμική κατεργασία, για τη ζύμωση του πλήρους γάλακτος χρειάστηκαν 335 min και για του ημιαποβουτυρωμένου γάλακτος 365 min. Στα συμβατικά γιαούρτια οι αντίστοιχοι χρόνοι ήταν 265 min και 285 min.

Η εφαρμογή υπερήχων πριν τη θερμική κατεργασία του γάλακτος φαίνεται να προκάλεσε μεταβολές στα συστατικά του, όπως μετουσίωση των πρωτεϊνών ορού, οι οποίες καθυστέρησαν το μεταβολισμό της λακτόζης από την καλλιέργεια εκκίνησης αυξάνοντας το χρόνο ζύμωσης. Επίσης, έχει διαπιστωθεί (Riener *et al.*, 2009) ότι η εφαρμογή υπερήχων στο γάλα οδηγεί σε σχηματισμό ουσιών όπως βενζόλιο, τολουόλιο, χλωροφόρμιο και άλλες οι οποίες μπορεί να επηρέασαν αρνητικά τη δράση των βακτηρίων της καλλιέργειας.

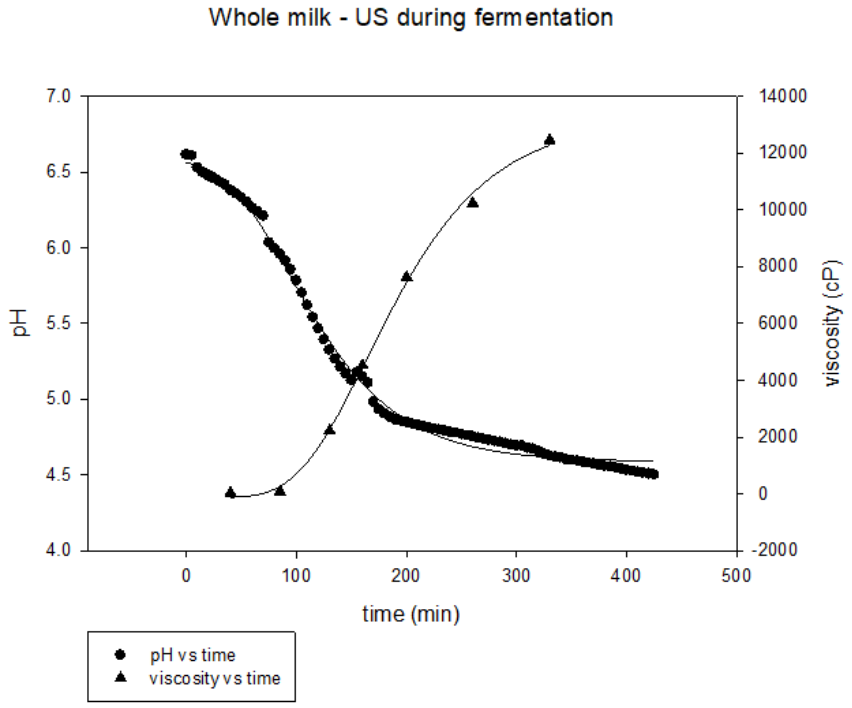
Ακολούθως, αναλύονται τα αποτελέσματα για τη μεταβολή του pH και του ιξώδους κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, σύμφωνα με το μοντέλο Gompertz.

3.3.2 Μεταβολή pH και ιξώδους κατά τη διάρκεια της ζύμωσης γιαουρτιών με εφαρμογή US

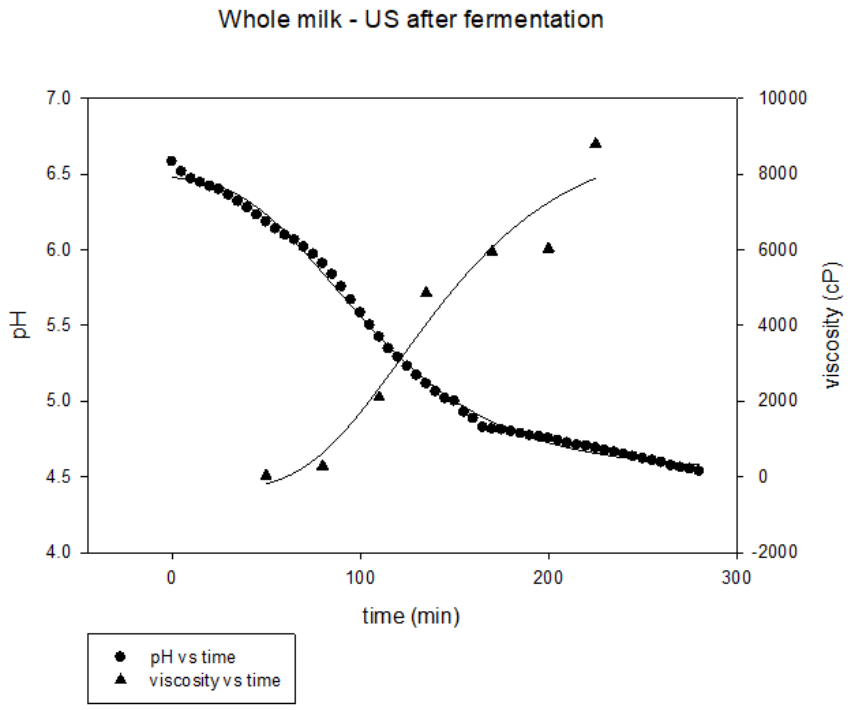
Παρακάτω παρουσιάζονται, όπως προέκυψαν έπειτα από προσαρμογή των δεδομένων στο μοντέλο Gompertz, οι καμπύλες pH και ιξώδους κατά τη διάρκεια της ζύμωσης γιαουρτιών από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη θερμική κατεργασία (95°C-5 min) και εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση, κατά τη διάρκεια αυτής και μετά το πέρας της.



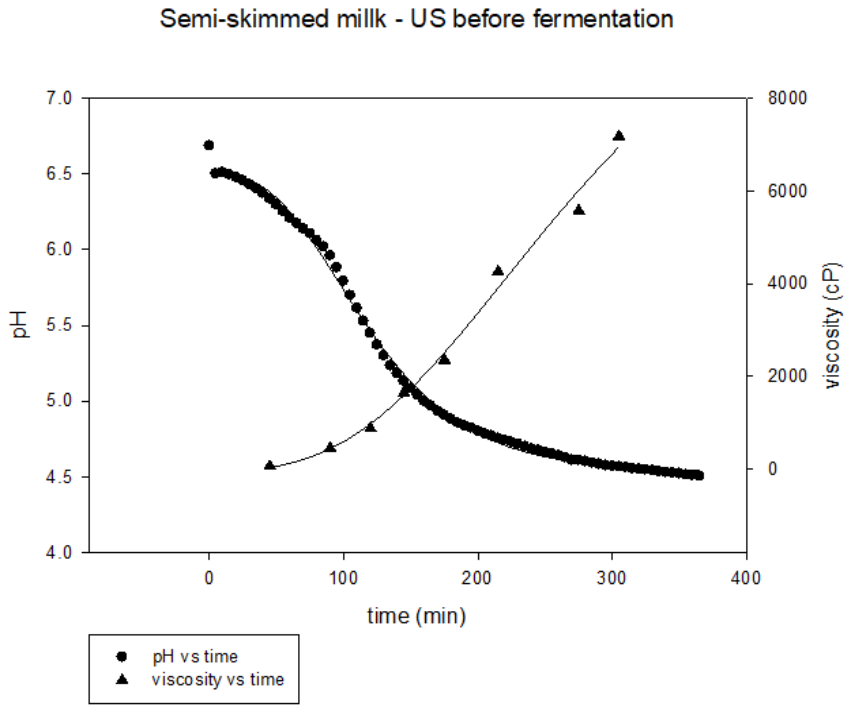
Διάγραμμα 3.3.2.1 - Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη ζύμωση γιαουρτιού από πλήρες γάλα, με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση



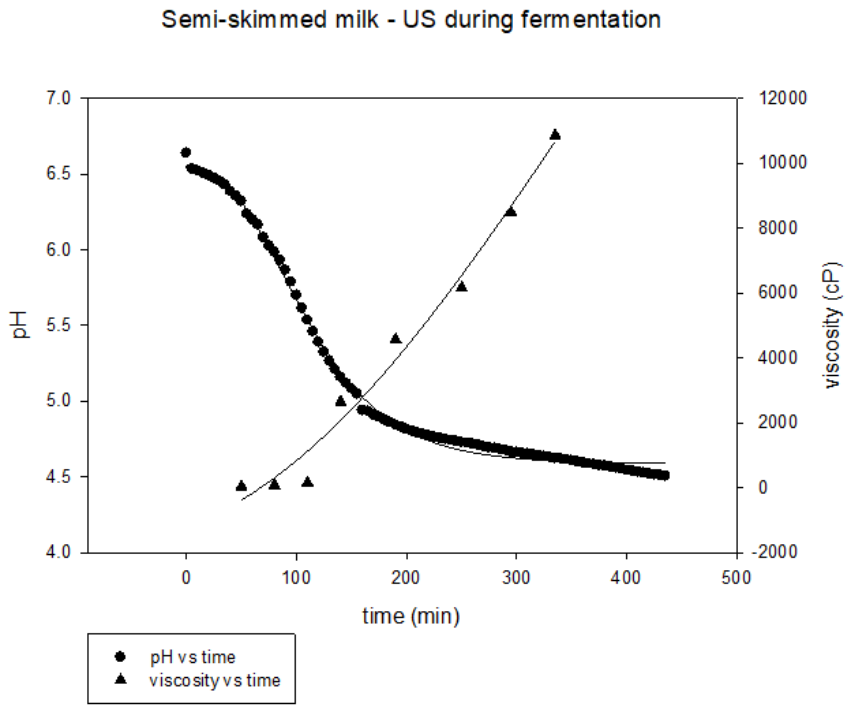
Διάγραμμα 3.3.2.2 - Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη ζύμωση γιαουρτιού από πλήρες γάλα, με εφαρμογή υπερήχων κατά τη διάρκεια της ζύμωσης



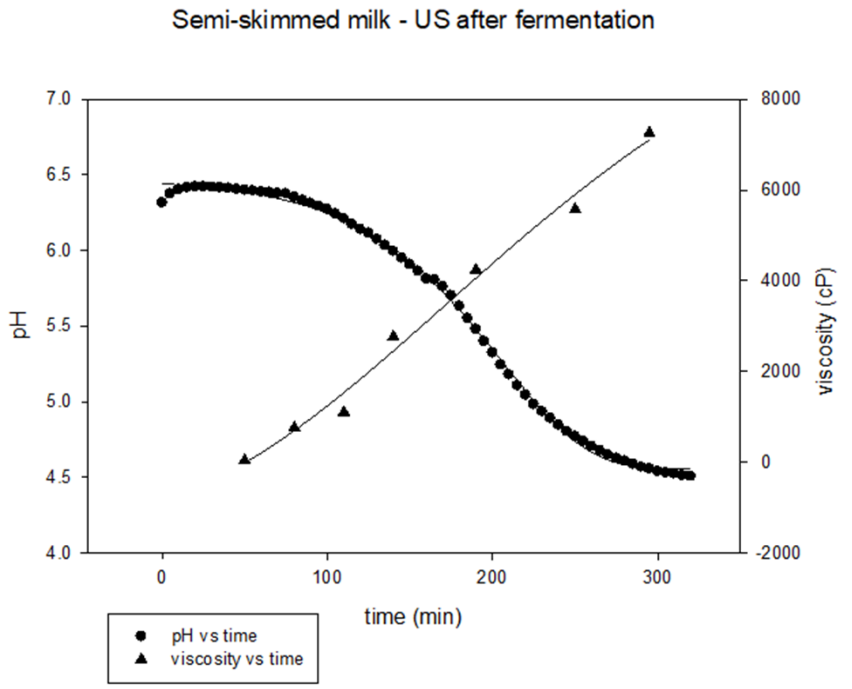
Διάγραμμα 3.3.2.3 - Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη ζύμωση γιαουρτιού από πλήρες γάλα, με εφαρμογή υπερήχων μετά τη ζύμωση



Διάγραμμα 3.3.2.4 - Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη ζύμωση γιαουρτιού από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση



Διάγραμμα 3.3.2.5 - Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη ζύμωση γιαουρτιού από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με εφαρμογή υπερήχων κατά τη διάρκεια της ζύμωσης



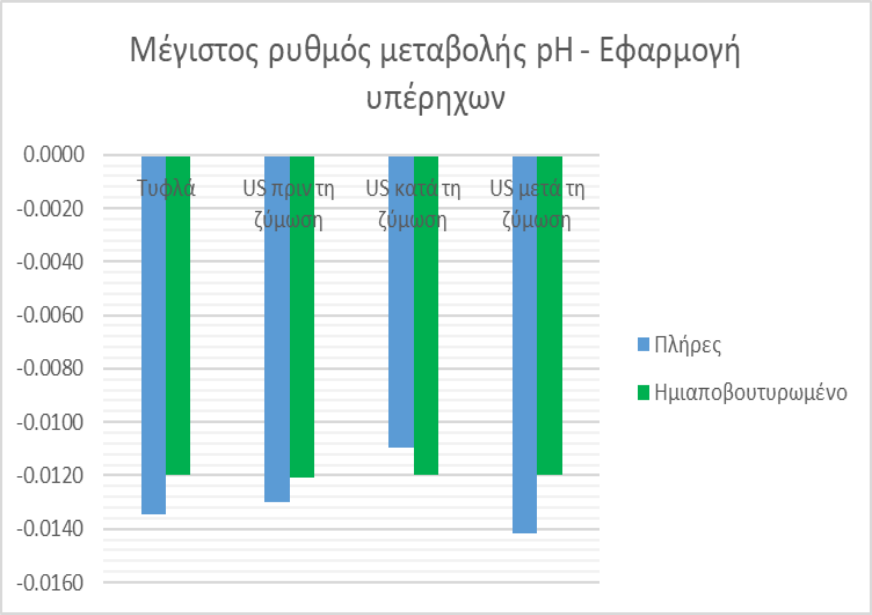
Διάγραμμα 3.3.2.6 - Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη ζύμωση γιαουρτιού από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με εφαρμογή υπερήχων μετά τη ζύμωση

Όπως φαίνεται στα διαγράμματα, τα δεδομένα pH και ιξώδους έχουν προσαρμοστεί στο μοντέλο Gompertz, από το οποίο μπορούν να διακριθούν οι τρεις φάσεις της ζύμωσης, παρατηρώντας κυρίως τις καμπύλες pH-χρόνου, όπου οι φάσεις είναι πιο διακριτές. Σε σχέση με τα αντίστοιχα διαγράμματα των συμβατικών γιαουρτιών δεν παρατηρείται κάποια αλλαγή στη μορφή των καμπυλών, ενώ και σε αυτή τη σειρά πειραμάτων το pH φαίνεται να μειώθηκε πιο γρήγορα σε σχέση με το ιξώδες, καθώς, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η ραγδαία αύξηση του ιξώδους λαμβάνει χώρα αφού το pH μειωθεί στην τιμή 4.6, που αποτελεί το ισοηλεκτρικό σημείο των καζεϊνών. Στα διαγράμματα 3.4.2.2 και 3.4.2.5, όπου απεικονίζεται η εξέλιξη pH και ιξώδους των γιαουρτιών στα οποία έγινε εφαρμογή US κατά τη ζύμωση παρατηρούνται ορισμένα σημεία ασυνέχειας στην καμπύλη pH-χρόνου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τη χρονική στιγμή εκείνη τα δείγματα είχαν μεταφερθεί από τον επωαστήρα στο λουτρό υπερήχων για να γίνει η κατεργασία, επομένως δεν ήταν δυνατό να ληφθούν μετρήσεις pH για τα 10 min που αυτή διήρκησε. Τέλος, επισημαίνεται ότι η προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στο μοντέλο Gompertz ήταν καλή (R^2>0.99) για τα πειράματα που περιλάμβαναν εφαρμογή US.

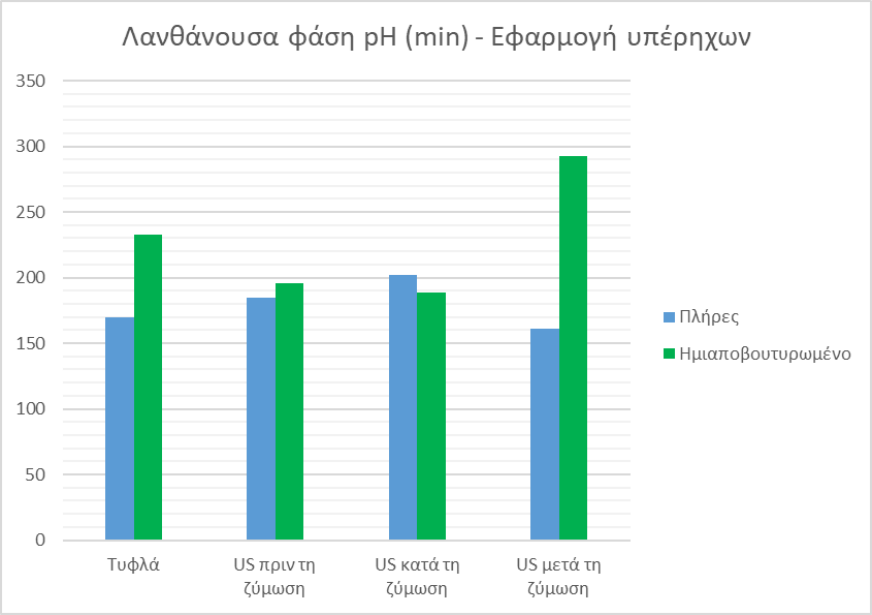
Στις επόμενες υποενότητες μελετώνται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το μοντέλο Gompertz για τις τιμές των ρυθμών μεταβολής pH και ιξώδους, καθώς και για τη λανθάνουσα φάση τους.

3.3.3 Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH και λανθάνουσα φάση pH των γιαουρτιών με εφαρμογή US

Στην υποενότητα αυτή εξετάζονται ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH (μ_{pH}) και η λανθάνουσα φάση του (λ_{pH}), όπως προέκυψαν από την προσαρμογή στο μοντέλο Gompertz. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα που προέκυψαν για τα δύο αυτά μεγέθη έπειτα από τα πειράματα στα οποία παρήχθησαν γιαούρτια από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη θερμική κατεργασία (95°C-5 min), και εφαρμογή US πριν τη ζύμωση, κατά τη διάρκεια αυτής και μετά το πέρας της.



Διάγραμμα 3.3.3.1 – Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH των γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση, (γ) με εφαρμογή υπερήχων κατά τη ζύμωση, (δ) με εφαρμογή υπερήχων μετά τη ζύμωση



Διάγραμμα 3.3.3.2 – Λανθάνουσα φάση pH (min) των γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, α) με συμβατική παραγωγή, (β) με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση, (γ) με εφαρμογή υπερήχων κατά τη ζύμωση, (δ) με εφαρμογή υπερήχων μετά τη ζύμωση

Αρχικά, παρατηρείται ότι, όπως συνέβη και στα συμβατικά γιαούρτια, τα γιαούρτια από πλήρες γάλα εμφάνισαν μεγαλύτερο κατά απόλυτη τιμή ρυθμό μείωσης του pH σε σχέση με τα αντίστοιχα από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με εξαίρεση αυτά στο οποία έγινε εφαρμογή US κατά τη ζύμωση. Επιπλέον, για τα γιαούρτια από πλήρες γάλα, στην πρώτη

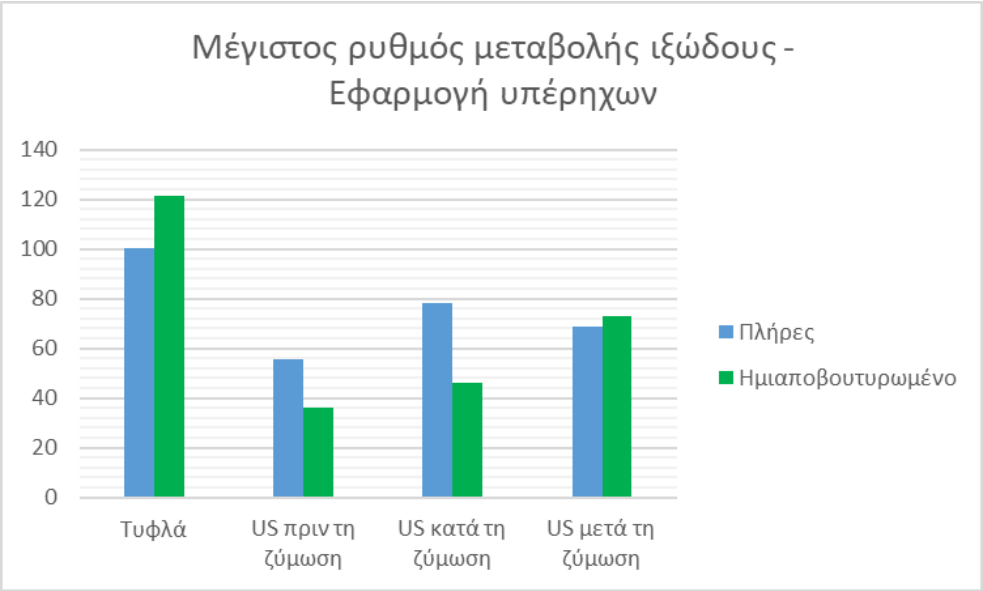
σειρά πειραμάτων με υπερήχους (US πριν τη ζύμωση) ο ρυθμός παρέμεινε σχεδόν ίδιος με αυτόν των συμβατικών γιαουρτιών, ενώ στη δεύτερη σειρά (US κατά τη ζύμωση) μειώθηκε, και στην τρίτη σειρά (US μετά τη ζύμωση) αυξήθηκε. Από την άλλη, ο ρυθμός μείωσης pH των γιαουρτιών ημιαποβουτυρωμένου γάλακτος παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητος (μ_{pH}=-0.0120) σε όλες τις σειρές πειραμάτων με εφαρμογή US, αλλά και στα συμβατικά γιαούρτια. Σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), η εφαρμογή US στο γιαούρτι δεν είχε σημαντική επίδραση στο ρυθμό μείωσης του pH κατά τη ζύμωση.

Όσον αφορά τη λανθάνουσα φάση του pH (λ_{pH}), αυτή ήταν μικρότερη στα γιαούρτια από πλήρες γάλα, με εξαίρεση τα πειράματα όπου εφαρμόστηκαν υπέρηχοι κατά τη ζύμωση. Επίσης, για τα γιαούρτια πλήρους γάλακτος παρατηρείται ελαφριά αύξηση του λ_{pH} στην πρώτη (US πριν τη ζύμωση) και στη δεύτερη (US κατά τη ζύμωση) σειρά πειραμάτων με υπερήχους, ενώ στην τρίτη (US μετά τη ζύμωση) η λανθάνουσα φάση του pH είναι σχεδόν ίση με αυτήν των συμβατικών γιαουρτιών. Στο ημιαποβουτυρωμένο γάλα, από την άλλη, παρατηρείται αντίθετη συμπεριφορά, δηλαδή μείωση στις πρώτες δύο σειρές και αύξηση στην τρίτη. Η στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε ότι η εφαρμογή US στο γιαούρτι δεν επηρέασε σημαντικά τη διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του pH.

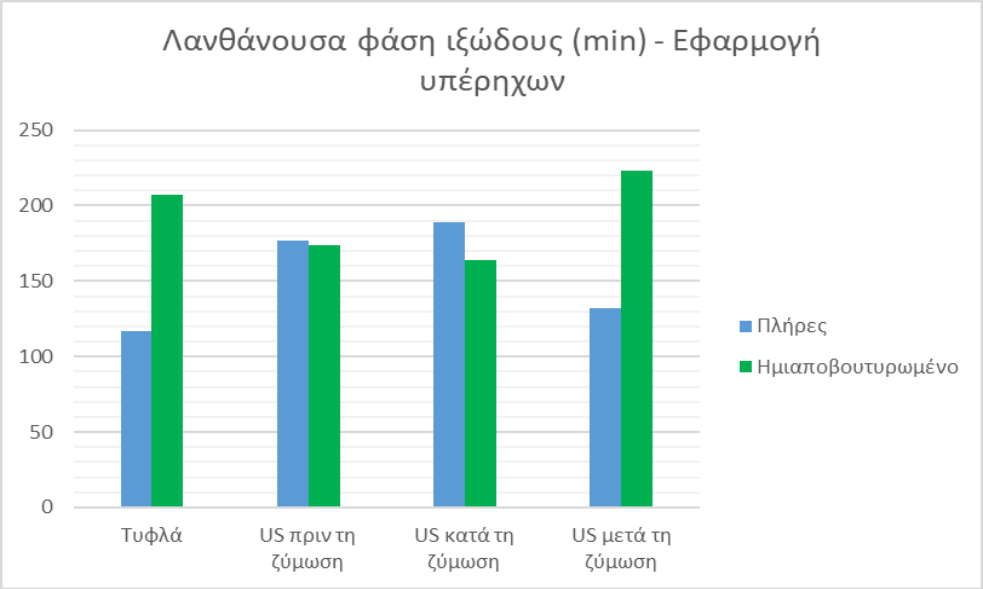
Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η μετουσίωση των πρωτεϊνών ορού που προκαλείται από την εφαρμογή υπερήχων δεν έγινε σε τέτοιο βαθμό, ώστε να επηρεαστούν σημαντικά οι παράμετροι ζύμωσης του pH. Για αυτό ίσως ευθύνεται η σχετικά χαμηλή συχνότητα που εφαρμόστηκε (37 kHz). Με εφαρμογή υψηλότερης συχνότητας και έντασης θα μπορούσε να επιτευχθεί πιο έντονη μεταβολή στη δομή των πρωτεϊνών ορού, κάτι που θα οδηγούσε σε ταχύτερο σχηματισμό πήγματος, άρα θα επηρέαζε το ρυθμό μείωσης και τη λανθάνουσα φάση του pH.

3.3.4 Μέγιστος ρυθμός μεταβολής ιξώδους και λανθάνουσα φάση ιξώδους γιαουρτιών με εφαρμογή US

Στην υποενότητα αυτή εξετάζονται ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής ιξώδους ($\mu_{\text{ιξώδες}}$) και η λανθάνουσα φάση του ($\lambda_{\text{ιξώδες}}$), όπως προέκυψαν από την προσαρμογή στο μοντέλο Gompertz. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα που προέκυψαν για τα δύο αυτά μεγέθη από τα πειράματα στα οποία παρήχθησαν γιαούρτια από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη θερμική κατεργασία (95°C-5 min) και εφαρμογή US πριν τη ζύμωση, κατά τη διάρκειας αυτής και μετά το πέρας της.



Διάγραμμα 3.3.4.1 - Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH των γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση, (γ) με εφαρμογή υπερήχων κατά τη ζύμωση, (δ) με εφαρμογή υπερήχων μετά τη ζύμωση



Διάγραμμα 3.3.4.2 – Λανθάνουσα φάση ιξώδους των γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση, (γ) με εφαρμογή υπερήχων κατά τη ζύμωση, (δ) με εφαρμογή υπερήχων μετά τη ζύμωση

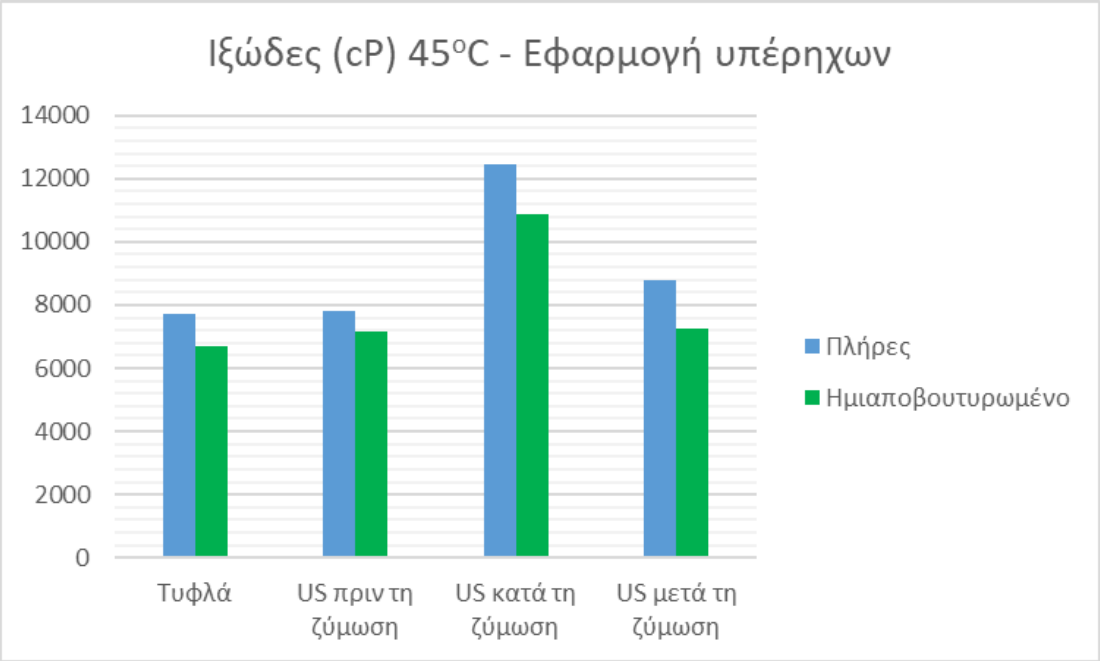
Αρχικά, παρατηρείται ότι, αντίθετα από ότι παρατηρήθηκε στα συμβατικά γιαούρτια, τα γιαούρτια από πλήρες γάλα εμφάνισαν μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης του ιξώδους σε σχέση με τα αντίστοιχα από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με εξαίρεση αυτά στο οποία έγινε εφαρμογή US κατά τη ζύμωση, όπου το $\mu_{\text{ιξώδες}}$ ήταν ελαφρώς μεγαλύτερο για το γιαούρτι από ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Επιπλέον, από το διάγραμμα φαίνεται ότι στα γιαούρτια με εφαρμογή US υπήρξε μείωση του ρυθμού μεταβολής του ιξώδους. Συγκεκριμένα, για τα γιαούρτια από πλήρες γάλα, η μεγαλύτερη διαφορά με τα συμβατικά γιαούρτια σημειώθηκε στην πρώτη σειρά πειραμάτων με υπερήχους (US πριν τη ζύμωση), όπου ο ρυθμός αύξησης από 100 μειώθηκε στο 56 ενώ στη δεύτερη σειρά (US κατά τη ζύμωση) έλαβε την τιμή 78 και στην τρίτη σειρά (US μετά τη ζύμωση) την τιμή 69. Αντίστοιχα, ο ρυθμός μείωσης ιξώδους των γιαουρτιών ημιαποβουτυρωμένου γάλακτος μειώθηκε ακόμη περισσότερο σε όλες τις σειρές πειραμάτων με εφαρμογή US, με τη μεγαλύτερη διαφορά να παρατηρείται πάλι στην πρώτη σειρά, στην οποία έλαβε την τιμή 36, παρουσιάζοντας σημαντική μείωση σε σχέση με το τυφλό δείγμα (121). Ωστόσο, σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), η εφαρμογή US στο γιαούρτι δεν είχε σημαντική επίδραση στο ρυθμό αύξησης του ιξώδους κατά τη ζύμωση.

Όσον αφορά τη λανθάνουσα φάση του ιξώδους ($\lambda_{\text{ιξώδες}}$), αυτή ήταν ελαφρώς μεγαλύτερη στα γιαούρτια από πλήρες γάλα, με εξαίρεση τα πειράματα όπου εφαρμόστηκαν υπέρηχοι μετά τη ζύμωση. Επίσης, για τα γιαούρτια πλήρους γάλακτος παρατηρείται αύξηση του $\lambda_{\text{ιξώδες}}$ στην πρώτη (US πριν τη ζύμωση) και στη δεύτερη (US κατά τη ζύμωση) σειρά πειραμάτων με υπερήχους, ενώ στην τρίτη (US μετά τη ζύμωση) η λανθάνουσα φάση του ιξώδους είναι σχεδόν ίση με αυτήν των συμβατικών γιαουρτιών. Στα γιαούρτια από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, από την άλλη, παρατηρείται αντίθετη συμπεριφορά, δηλαδή μείωση της διάρκειας της λανθάνουσας φάσης στις πρώτες δύο σειρές και μικρή αύξηση στην τρίτη. Η στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε ότι η εφαρμογή US στο γιαούρτι δεν επηρέασε σημαντικά τη διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του ιξώδους.

Όπως επισημάνθηκε και στην ενότητα που αφορούσε τα συμβατικά γιαούρτια, οι παράμετροι ζύμωσης του ιξώδους εξαρτώνται από εκείνες του pH, αφού η μεταβολή του τελευταίου αποτελεί την αιτία που μεταβάλλεται το ιξώδες. Επομένως, είναι λογικό ότι, εφόσον η εφαρμογή υπερήχων δεν επηρέασε σημαντικά το ρυθμό μείωσης και τη λανθάνουσα φάση του pH, παρομοίως δεν επηρεάστηκαν και οι αντίστοιχες παράμετροι του ιξώδους.

3.3.5 Ιξώδες στους 45°C γιαουρτιών με εφαρμογή US

Το ιξώδες κάθε δείγματος μετρήθηκε με το πέρας της ζύμωσης σε θερμοκρασία 45°C, πριν την αποθήκευση του δείγματος στο ψυγείο. Παρακάτω, παρατίθενται τα διαγράμματα του ιξώδους στο τέλος της ζύμωσης για τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη (95°C-5 min) θερμική κατεργασία και με εφαρμογή US πριν τη ζύμωση, κατά τη διάρκεια αυτής και μετά το πέρας της.



Διάγραμμα 3.3.5.1 – Ιξώδες (cP) στο τέλος της ζύμωσης (45°C) γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση, (γ) με εφαρμογή υπερήχων κατά τη ζύμωση, (δ) με εφαρμογή υπερήχων μετά τη ζύμωση

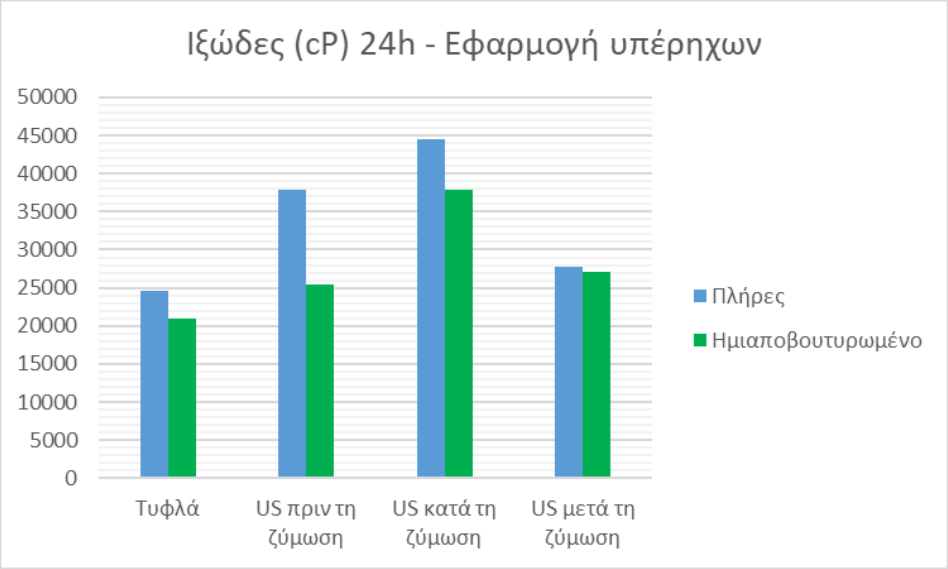
Από το διάγραμμα 3.4.5.1 αρχικά παρατηρείται ότι το ιξώδες στους 45°C παρέμεινε υψηλότερο στα γιαούρτια πλήρους γάλακτος σε σχέση με αυτά από ημιαποβουτυρωμένο, όπως συνέβη και στα συμβατικά γιαούρτια. Η κατεργασία με υπερήχους φαίνεται ότι οδήγησε σε αύξηση του ιξώδους των γιαουρτιών στο τέλος της ζύμωσης. Ειδικότερα, για τα γιαούρτια από πλήρες γάλα, στην πρώτη σειρά πειραμάτων με εφαρμογή υπερήχων (US πριν τη ζύμωση) παρατηρείται ελάχιστη αύξηση του ιξώδους, το οποίο παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητο και ίσο με των συμβατικών γιαουρτιών. Το ίδιο ισχύει και για το γιαούρτι στο οποίο η εφαρμογή US έγινε μετά τη ζύμωση, αν και εκεί παρατηρήθηκε ελαφρώς μεγαλύτερη αύξηση. Αντιθέτως, σημαντική διαφορά παρατηρείται μεταξύ του ιξώδους του γιαουρτιού που υπεβλήθη σε εφαρμογή US κατά τη ζύμωση, το οποίο αυξήθηκε κατά 38% σε σχέση με το γιαούρτι συμβατικής παραγωγής από πλήρες γάλα. Το ίδιο μοτίβο παρατηρείται και στα γιαούρτια από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, όπου η πρώτη (US πριν τη ζύμωση) και η τρίτη

(US μετά τη ζύμωση) σειρά πειραμάτων με χρήση υπερήχων παρουσίασαν μικρή αύξηση του ιξώδους, ενώ στη δεύτερη (US κατά τη ζύμωση) η αύξηση ήταν της τάξης του 38%.

Από τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε ότι η κατεργασία με US είχε σημαντική επίδραση στο ιξώδες των γιαουρτιών στο τέλος της ζύμωσης στους 45°C. Η αύξηση του ιξώδους μπορεί να αποδοθεί στη μετουσίωση των πρωτεϊνών ορού και στη σύνδεσή τους με τα μόρια των καζεϊνών, η οποία ενισχύεται από τις διατμητικές δυνάμεις που ασκούνται από τα κύματα υπερήχων. Η διαδικασία αυτή οδηγεί στη δημιουργία ισχυρότερου πλέγματος, αυξάνοντας το ιξώδες του γιαουρτιού. Επίσης, πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι στη δεύτερη σειρά πειραμάτων με χρήση υπερήχων (US κατά τη ζύμωση) εφαρμόστηκαν τρεις φορές υπέρηχοι, ενώ στις άλλες μία φορά. Συνεπώς, είναι λογικό η επίδραση των υπερήχων να είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση αυτή, άρα και το ιξώδες να είναι ιδιαίτερα αυξημένο.

3.3.6 Ιξώδες 24h (στους 4°C) γιαουρτιών με εφαρμογή US

Μετά από αποθήκευση του κάθε δείγματος στο ψυγείο στους 4°C, γινόταν μέτρηση του ιξώδους του. Στην υποενότητα αυτή παρατίθενται τα διαγράμματα του ιξώδους στο τέλος της ζύμωσης για τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη (95°C-5 min) θερμική κατεργασία και με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση, κατά τη διάρκεια αυτής και μετά το πέρας της.



Διάγραμμα 3.3.6.1 - Ιξώδες (cP) μετά από την αποθήκευση για 24h στους 4°C γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση, (γ) με εφαρμογή υπερήχων κατά τη ζύμωση, (δ) με εφαρμογή υπερήχων μετά τη ζύμωση

Όπως παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα, τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες γάλα εμφάνισαν μεγαλύτερο ιξώδες σε σχέση με τα αντίστοιχα που

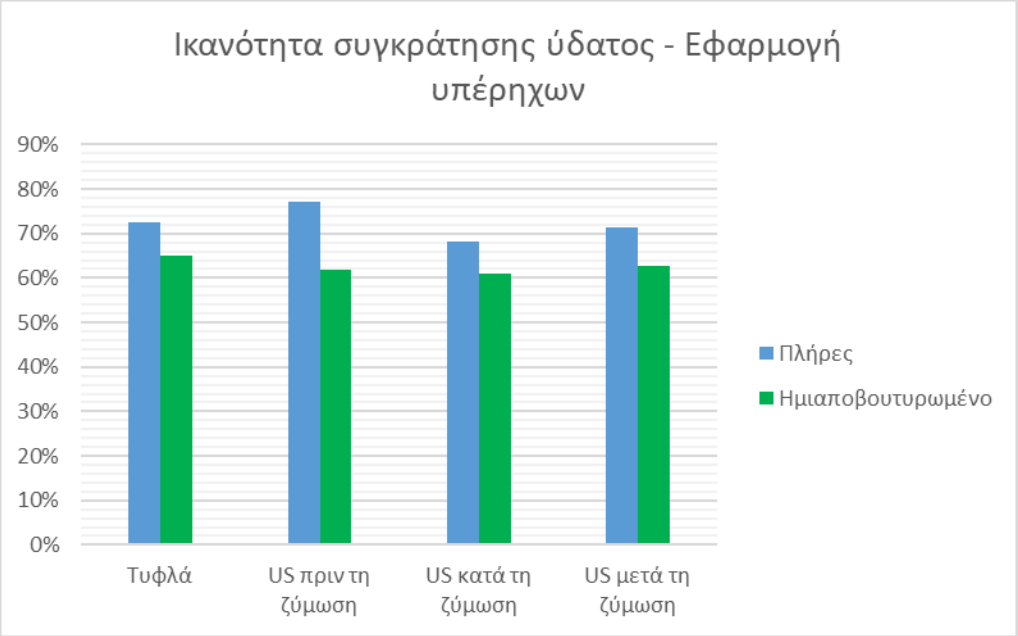
παρασκευάστηκαν από ημιαποβουτυρωμένο, με εξαίρεση τα γιαούρτια στα οποία η κατεργασία με υπερήχους έλαβε χώρα στο τέλος της ζύμωσης, όπου η διαφορά είναι σχεδόν αμελητέα.

Η κατεργασία με υπερήχους φαίνεται ότι οδήγησε σε αύξηση του τελικού ιξώδους των γιαουρτιών. Ειδικότερα, για τα γιαούρτια από πλήρες γάλα, στην πρώτη σειρά πειραμάτων όπου χρησιμοποιήθηκε η εν λόγω μέθοδος (US πριν τη ζύμωση), παρατηρείται μεγάλη αύξηση του ιξώδους, ενώ ακόμα μεγαλύτερη είναι η αύξηση που παρουσίασε το γιαούρτι που υπεβλήθη σε εφαρμογή US κατά τη ζύμωση. Από την άλλη, το γιαούρτι της τρίτης σειράς (US μετά τη ζύμωση) εμφάνισε ιξώδες μόνο ελαφρώς μεγαλύτερο από του αντίστοιχου τυφλού. Στα γιαούρτια από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, η πρώτη (US πριν τη ζύμωση) και η τρίτη (US μετά τη ζύμωση) σειρά πειραμάτων παρουσίασαν μικρή αύξηση του ιξώδους, ενώ στη δεύτερη (US κατά τη ζύμωση) η αύξηση ήταν πολύ μεγάλη σε σύγκριση με το τυφλό.

Από τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε ότι η κατεργασία με US είχε σημαντική επίδραση στο ιξώδες των γιαουρτιών μετά από 24h αποθήκευσής τους στους 4°C. Όπως προαναφέρθηκε, η αύξηση του ιξώδους μπορεί να αποδοθεί στη μετουσίωση των πρωτεϊνών ορού και στη σύνδεσή τους με τις καζεΐνες, κάτι που οδηγεί στη δημιουργία ισχυρότερου πλέγματος, αυξάνοντας το ιξώδες του γιαουρτιού. Τέλος, είναι λογικό η μεγαλύτερη αύξησή του να παρατηρείται στα γιαούρτια στα οποία η εφαρμογή US έγινε κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, καθώς αυτή έλαβε χώρα τρεις φορές, σε αντίθεση με τις άλλες περιπτώσεις, όπου έγινε μόνο για μία φορά.

3.3.7 Ικανότητα συγκράτησης ύδατος γιαουρτιών με εφαρμογή US

Στην υποενότητα αυτή παρατίθενται τα αποτελέσματα σχετικά με την ικανότητα συγκράτησης ύδατος των γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη (95°C-5 min) θερμική κατεργασία και με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση, κατά τη διάρκεια αυτής και μετά το πέρας της. Η μέτρησή της έγινε με φυγοκέντρηση των γιαουρτιών μετά από την αποθήκευσή τους στους 4°C για 24h.



Διάγραμμα 3.3.7.1 – Ικανότητα συγκράτησης ύδατος γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση, (γ) με εφαρμογή υπερήχων κατά τη ζύμωση, (δ) με εφαρμογή υπερήχων μετά τη ζύμωση

Από το παραπάνω διάγραμμα, αρχικά επιβεβαιώνεται η παρατήρηση που είχε γίνει και σε προηγούμενη ενότητα, ότι τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες γάλα διέθεταν μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης ύδατος σε σχέση με αυτά από το ημιαποβουτυρωμένο γάλα.

Η εφαρμογή US πριν τη ζύμωση αύξησε την ικανότητα συγκράτησης ύδατος του πλήρους γιαουρτιού κατά 5% σε σχέση με το αντίστοιχο τυφλό δείγμα. Αντίθετα, στα γιαούρτια πλήρους γάλακτος στα οποία εφαρμόστηκαν υπέρηχοι κατά τη ζύμωση και μετά από αυτή, παρουσιάστηκε ελαφριά μείωσή της.

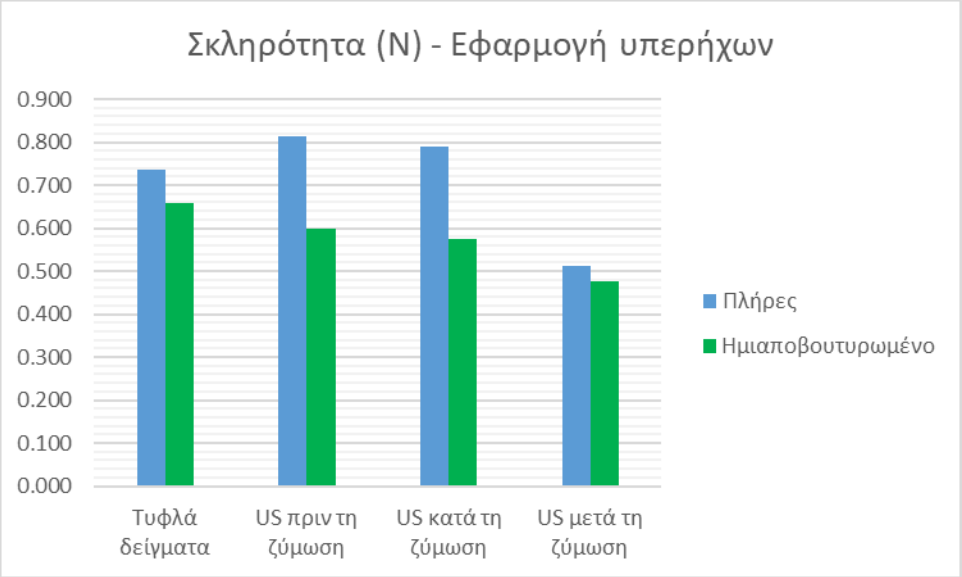
Στα γιαούρτια ημιαποβουτυρωμένου γάλακτος παρατηρήθηκε μείωση της ικανότητας συγκράτησης ύδατος σε σχέση με το τυφλό δείγμα, κυρίως στην περίπτωση εφαρμογής των υπερήχων κατά τη ζύμωση, όπου η συγκεκριμένη ιδιότητα μειώθηκε κατά 4%.

Και στα δύο είδη γιαουρτιών, στη δεύτερη σειρά πειραμάτων με υπερήχους (US κατά τη ζύμωση) παρουσιάστηκε η μεγαλύτερη μείωση. Αυτό ίσως οφείλεται στη διατάραξη που υφίσταται το πήγμα κατά τις τρεις φορές στις οποίες γίνεται μεταφορά του στο λουτρό υπερήχων, κάτι που οδηγεί στην καταστροφή των συμπλόκων καζεϊνών, πρωτεϊνών ορού και λιποσφαιρίων που περικλείουν το νερό, άρα και στην απελευθέρωση αυτού.

Η στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε ότι η εφαρμογή US στο γιαούρτι δεν επηρέασε σημαντικά την ικανότητα συγκράτησης ύδατος. Η διαταραχή που προκαλείται στο πήγμα φαίνεται ότι δεν επέτρεψε τον περαιτέρω εγκλωβισμό νερού στο εσωτερικό του, με αποτέλεσμα να μην παρατηρηθεί στατιστικά σημαντική διαφορά στην ικανότητα συγκράτησης ύδατος των γιαουρτιών που είχαν υποβληθεί σε κατεργασία με υπερήχους.

3.3.8 Ανάλυση αντικειμενικής υφής γιαουρτιών με εφαρμογή US: Σκληρότητα, Συνεκτικότητα, Προσκολλησιμότητα

Παρακάτω αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις παραμέτρους αντικειμενικής υφής των γιαουρτιών που παρασκευάστηκαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη (95°C-5 min) θερμική κατεργασία, και που υποβλήθηκαν σε εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση, κατά τη διάρκεια αυτής και μετά το πέρας της. Αρχικά, εξετάστηκε η παράμετρος της σκληρότητας του γιαουρτιού, τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται παρακάτω.



Διάγραμμα 3.3.8.1 - Σκληρότητα γιαουρτιών από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με US πριν τη ζύμωση, (γ) με US κατά τη διάρκεια της ζύμωσης και (δ) με US στο τέλος της ζύμωσης

Από το παραπάνω διάγραμμα μπορεί να γίνει η παρατήρηση ότι τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες γάλα εμφάνισαν μεγαλύτερη σκληρότητα σε όλες τις περιπτώσεις.

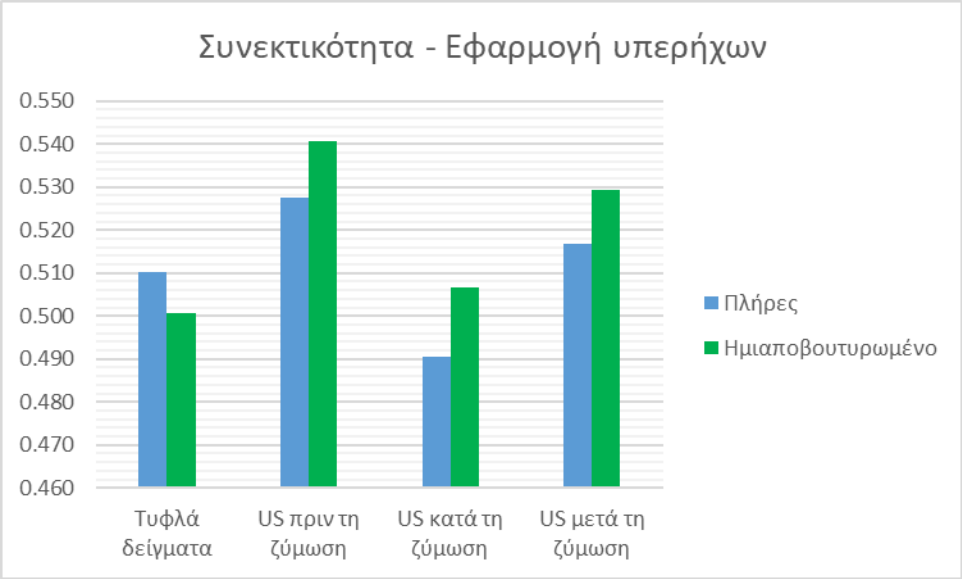
Τα γιαούρτια πλήρους γάλακτος στα οποία η εφαρμογή US έλαβε χώρα πριν τη ζύμωση και κατά τη διάρκεια αυτής παρουσίασαν αυξημένη σκληρότητα σε σχέση με τα συμβατικά γιαούρτια. Αντίθετα, αυτά με εφαρμογή US μετά τη ζύμωση εμφάνισαν μείωση της παραμέτρου. Η μέγιστη τιμή της παρατηρήθηκε στο γιαούρτι με US πριν τη ζύμωση και

ήταν 0.813 N. Οι αντίστοιχες τιμές για το τυφλό δείγμα και το γιαούρτι με εφαρμογή US κατά τη ζύμωση ήταν 0.736 N και 0.789 N.

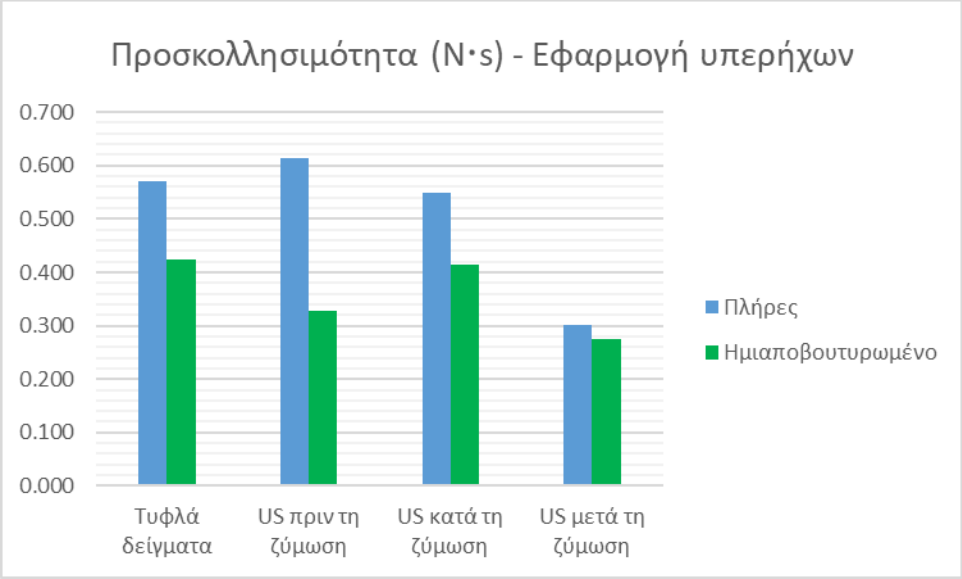
Από την άλλη, στα γιαούρτια από ημιαποβουτυρωμένο γάλα η σκληρότητα μειώθηκε σε όλες τις περιπτώσεις όπου υπήρξε εφαρμογή US. Η μεγαλύτερη μείωση παρατηρήθηκε στο γιαούρτι στο οποίο εφαρμόστηκαν υπέρηχοι μετά τη ζύμωση. Η σκληρότητά του ήταν 0.476 N, ενώ η αντίστοιχη του τυφλού δείγματος ήταν 0.657 N.

Παρόλα αυτά, από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε ότι η εφαρμογή υπερήχων δεν διαφοροποίησε σημαντικά τη σκληρότητα του τελικού προϊόντος.

Ακολούθως, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις άλλες δύο παραμέτρους της αντικειμενικής υφής του γιαουρτιού, τη συνεκτικότητα και την προσκολλησιμότητά του.



Διάγραμμα 3.3.8.2 – Συνεκτικότητα γιαουρτιών από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με US πριν τη ζύμωση, (γ) με US κατά τη διάρκεια της ζύμωσης και (δ) με US στο τέλος της ζύμωσης



Διάγραμμα 3.3.8.3 - Προσκολλησιμότητα γιαουρτιών από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με US πριν τη ζύμωση, (γ) με US κατά τη διάρκεια της ζύμωσης και (δ) με US στο τέλος της ζύμωσης

Όπως παρατηρείται στο διάγραμμα 3.4.8.2, στα πειράματα όπου εφαρμόστηκαν υπέρηχοι, η συνεκτικότητα ήταν μεγαλύτερη στα γιαούρτια ημιαποβουτυρωμένου γάλακτος σε σχέση με τα γιαούρτια πλήρους γάλακτος, κάτι που δεν παρατηρήθηκε στα συμβατικά γιαούρτια.

Επίσης, στα πειράματα με εφαρμογή US τα γιαούρτια από πλήρες γάλα εμφάνισαν αυξημένη συνεκτικότητα όταν οι υπέρηχοι εφαρμοστήκαν πριν τη ζύμωση και μετά από αυτήν, ενώ το γιαούρτι με εφαρμογή US κατά τη ζύμωση παρουσίασε μειωμένη συνεκτικότητα. Στα γιαούρτια από ημιαποβουτυρωμένο γάλα παρατηρείται αύξηση της συνεκτικότητας κυρίως στην πρώτη σειρά πειραμάτων με υπερήχους (US πριν τη ζύμωση), έπειτα στην τρίτη (US μετά τη ζύμωση) και λιγότερο στη δεύτερη (US κατά τη ζύμωση). Πάντως, και για τα δύο είδη γιαουρτιών η μεγαλύτερη αύξηση στη συνεκτικότητα παρατηρείται με την εφαρμογή US πριν τη ζύμωση, ακολουθούν τα γιαούρτια με εφαρμογή US μετά τη ζύμωση, ενώ αυτά στα οποία έγινε κατεργασία με υπερήχους κατά τη διάρκεια της ζύμωσης εμφάνισαν τη μικρότερη συνεκτικότητα. Από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε ότι η εφαρμογή υπερήχων δεν διαφοροποίησε σημαντικά τη συνεκτικότητα του τελικού προϊόντος.

Όσον αφορά την προσκολλησιμότητα, αυτή παρατηρείται πως παρέμεινε υψηλότερη για τα γιαούρτια με τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε λιπαρά. Στα πειράματα όπου έλαβε χώρα εφαρμογή US πριν από τη ζύμωση η συγκεκριμένη παράμετρος παρουσίασε αύξηση στο γιαούρτι από πλήρες γάλα, ενώ μειώθηκε στο ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Αντίθετα, παρατηρήθηκε μείωσή της και στα δύο είδη γιαουρτιού στην περίπτωση της εφαρμογής US

μετά τη ζύμωση, ενώ τα γιαούρτια στα οποία η εφαρμογή US έγινε κατά τη διάρκεια της ζύμωσης δεν παρουσίασαν μεταβολή στην προσκολλησιμότητα. Η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε ότι η εφαρμογή υπερήχων δεν επηρέασε σημαντικά την προσκολλησιμότητα των γιαουρτιών.

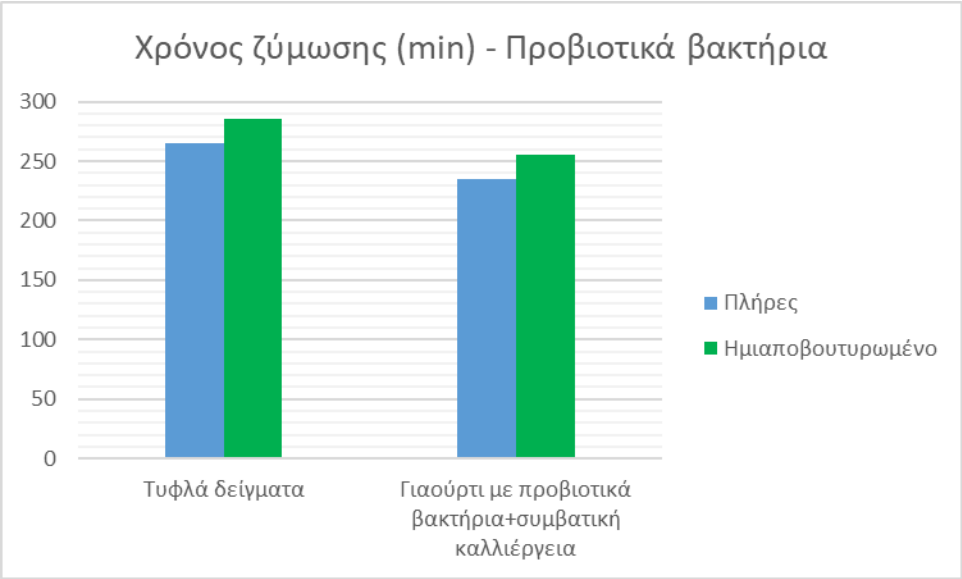
Συμπερασματικά, από τα παραπάνω φαίνεται ότι η εφαρμογή των υπερήχων δεν επηρέασε σημαντικά καμία από τις παραμέτρους αντικειμενικής υφής των γιαουρτιών. Επομένως, οι φυσικοχημικές μεταβολές που πρέπει να γίνουν στα συστατικά του γάλακτος, για να επιτευχθούν καλύτερα χαρακτηριστικά υφής, είτε διαφέρουν από εκείνες που απαιτούνται για αύξηση του ιξώδους, η οποία επετεύχθη με τη χρήση υπερήχων, είτε απαιτούν μεγαλύτερη ένταση από εκείνη που παρέχει το λουτρό υπερήχων.

3.4 Γιαούρτι με προβιοτικά βακτήρια

Στην ενότητα αυτή εξετάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις μελετώμενες παραμέτρους των γιαουρτιών, τα οποία παρήχθησαν με συνδυασμό οξυγαλακτικής καλλιέργειας και προβιοτικών βακτηρίων. Για κάθε εξεταζόμενη παράμετρο του γιαουρτιού παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα, στα οποία απεικονίζεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των γιαουρτιών με τα προβιοτικά βακτήρια και εκείνων που παρήχθησαν με το συμβατικό τρόπο (τυφλά δείγματα), τα οποία παρουσιάστηκαν στην ενότητα 3.2.

3.4.1 Χρόνος ζύμωσης γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τους χρόνους ζύμωσης των γιαουρτιών που παρασκευάστηκαν με συνδυασμό προβιοτικών βακτηρίων και συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης, από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, το οποίο είχε υποστεί έντονη (95°C-5 min) θερμική κατεργασία.



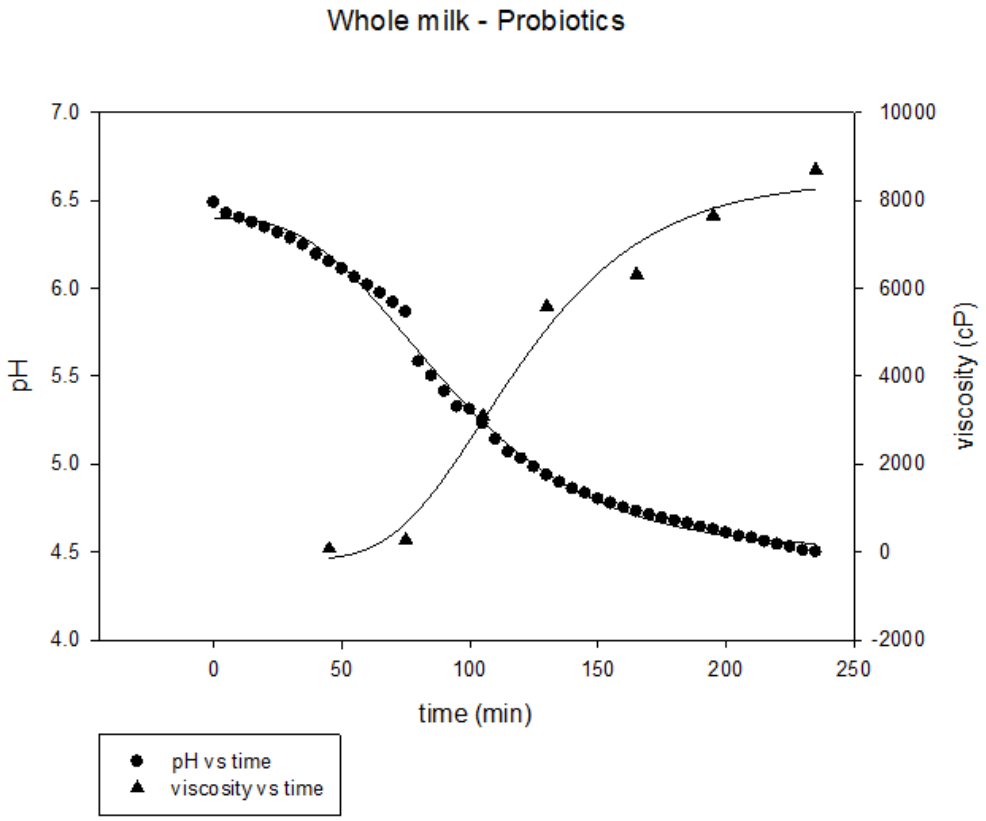
Διάγραμμα 3.4.1.1 – Χρόνος ζύμωσης (α) γιαουρτιών συμβατικής παραγωγής από πλήρες και ημιαποβουτυρωμένο γάλα και (β) γιαουρτιών στα οποία προστέθηκαν προβιοτικά βακτήρια πριν τη ζύμωση

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα, φαίνεται ότι τα γιαούρτια στα οποία χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός προβιοτικών βακτηρίων με τη συμβιωτική καλλιέργεια εμφάνισαν ελαφρώς μικρότερους χρόνους ζύμωσης σε σχέση με τα γιαούρτια συμβατικής παραγωγής. Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν είναι 30 min (265-235 min) για τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες γάλα και επίσης 30 min (285-255 min) για τα αντίστοιχα από ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε ότι η προσθήκη των προβιοτικών βακτηρίων επέδρασε σημαντικά στο χρόνο ζύμωσης του γιαουρτιού. Πιθανή εξήγηση για αυτό είναι η συμβολή των προβιοτικών βακτηρίων στο μεταβολισμό της

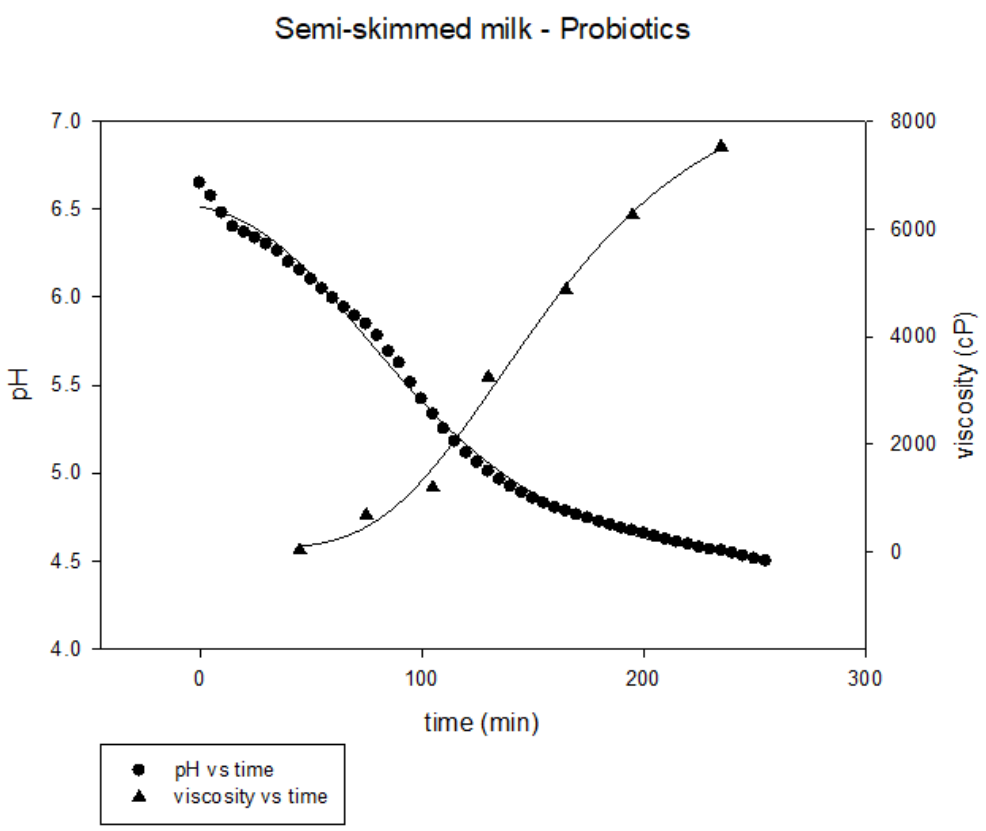
λακτόζης. Έτσι η μετατροπή της σε γαλακτικό οξύ γίνεται ταχύτερα, άρα απαιτείται μικρότερος χρόνος για τη ζύμωση του γιαουρτιού.

3.4.2 Μεταβολή pH και ιξώδους κατά τη διάρκεια της ζύμωσης γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια

Παρακάτω παρουσιάζονται οι καμπύλες pH και ιξώδους (κατά τη διάρκεια της ζύμωσης) των γιαουρτιών που παρασκευάστηκαν με συνδυασμό προβιοτικών βακτηρίων και συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης, από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, το οποίο είχε υποστεί έντονη (95°C-5 min) θερμική κατεργασία.



Διάγραμμα 3.4.2.1 - Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη ζύμωση γιαουρτιού από πλήρες γάλα, με προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων



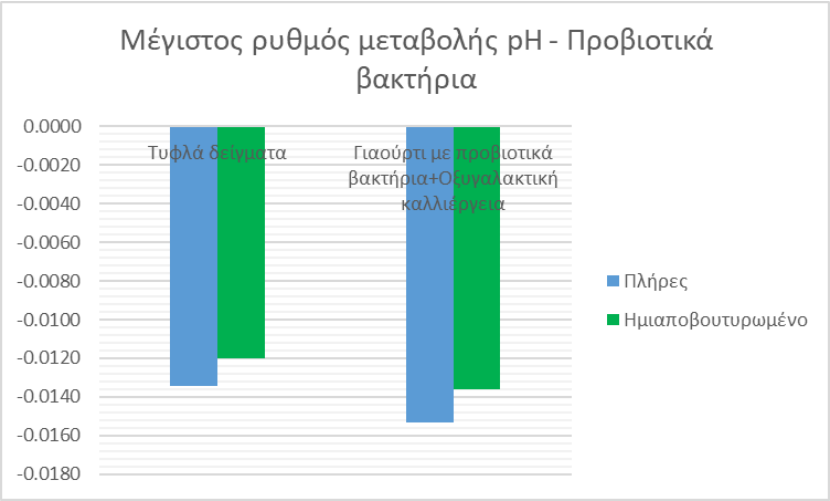
Διάγραμμα 3.4.2.2 - Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη ζύμωση γιαουρτιού από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων

Στα παραπάνω διαγράμματα μπορούν να διακριθούν, όπως και στο συμβατικό γιαούρτι, οι τρεις φάσεις της ζύμωσης, παρατηρώντας κυρίως τις καμπύλες pH-χρόνου. Αρχικά, ο ρυθμός μείωσης του pH είναι χαμηλός, έπειτα αυξάνεται και τελικά στην περιοχή του 4.7 μειώνεται και πάλι. Το ιξώδες φαίνεται να έχει χαμηλές τιμές μέχρι τα 100 min ζύμωσης, έπειτα όμως λόγω του σχηματισμού του πήγματος αρχίζει να αυξάνεται ταχέως. Σε σχέση με τις αντίστοιχες καμπύλες των συμβατικών γιαουρτιών, δεν παρατηρείται κάποια σημαντική διαφορά στη μορφή τους, γεγονός που υποδεικνύει ότι τα προβιοτικά βακτήρια δεν επηρέασαν σημαντικά τη μεταβολή pH και ιξώδους κατά τη διαδικασία της ζύμωσης. Τέλος, επισημαίνεται ότι η προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στο μοντέλο Gompertz ήταν καλή (R^2>0.99) και για τα δύο παραπάνω πειράματα.

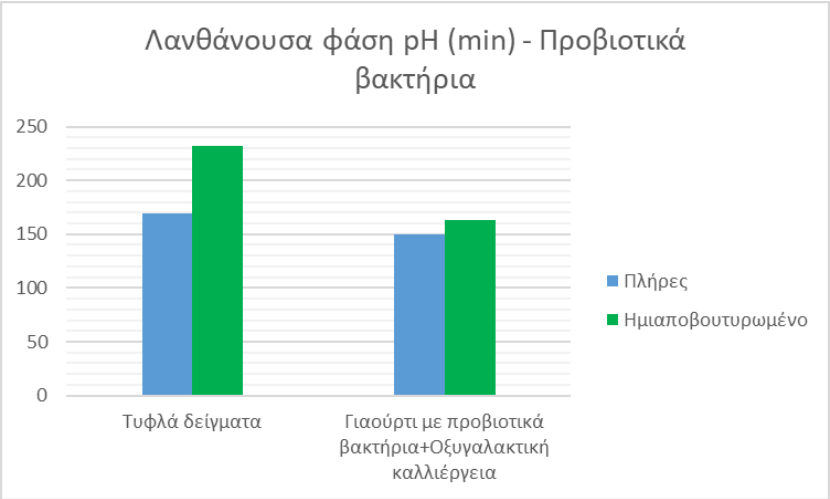
3.4.3 Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH και λανθάνουσα φάση pH των γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια

Στην υποενότητα αυτή εξετάζονται ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH (μ_{pH}) και η λανθάνουσα φάση του (λ_{pH}) των γιαουρτιών που παρασκευάστηκαν με συνδυασμό

προβιοτικών βακτηρίων και συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης, από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, το οποίο είχε υποστεί έντονη (95°C-5 min) θερμική κατεργασία, όπως προέκυψαν από την προσαρμογή στο μοντέλο Gompertz. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα που προέκυψαν για τα δύο αυτά μεγέθη και γίνεται σύγκριση με τα αντίστοιχα των γιαουρτιών συμβατικής παραγωγής.



Διάγραμμα 3.4.3.1 – Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH για τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) μόνο με καλλιέργεια εκκίνησης και (β) με προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων.



Διάγραμμα 3.4.3.2 – Λανθάνουσα φάση pH (min) για τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) μόνο με καλλιέργεια εκκίνησης και (β) με προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων.

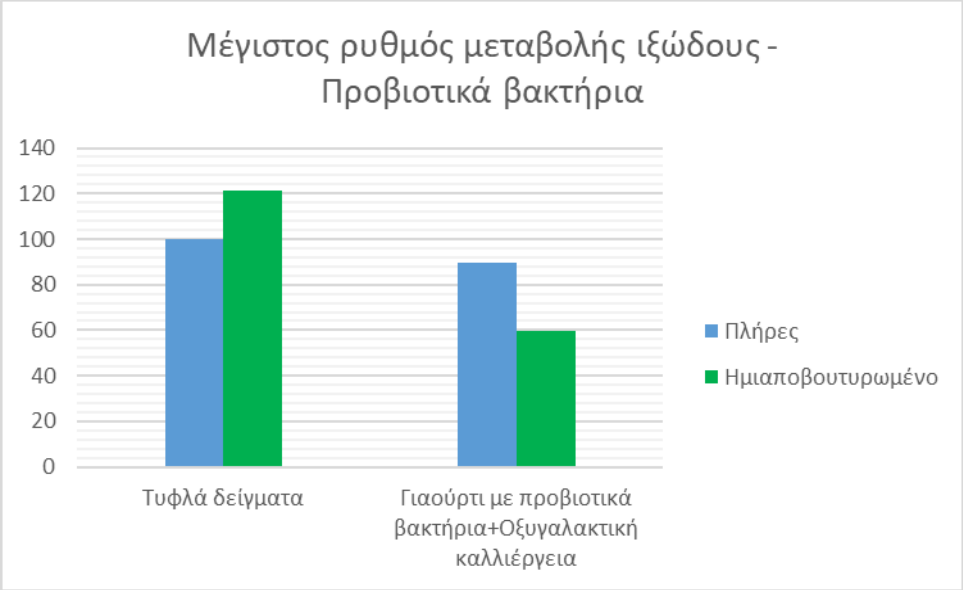
Παρατηρείται ότι τα γιαούρτια στα οποία έγινε προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων παρουσίασαν μεγαλύτερο ρυθμό μείωσης του pH συγκριτικά με τα συμβατικά γιαούρτια. Η διαφορά αυτή ήταν ελαφρώς πιο έντονη στα γιαούρτια από πλήρες γάλα. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), η προσθήκη

των προβιοτικών βακτηρίων στο γιαούρτι δεν είχε σημαντική επίδραση στο ρυθμό μείωσης του pH.

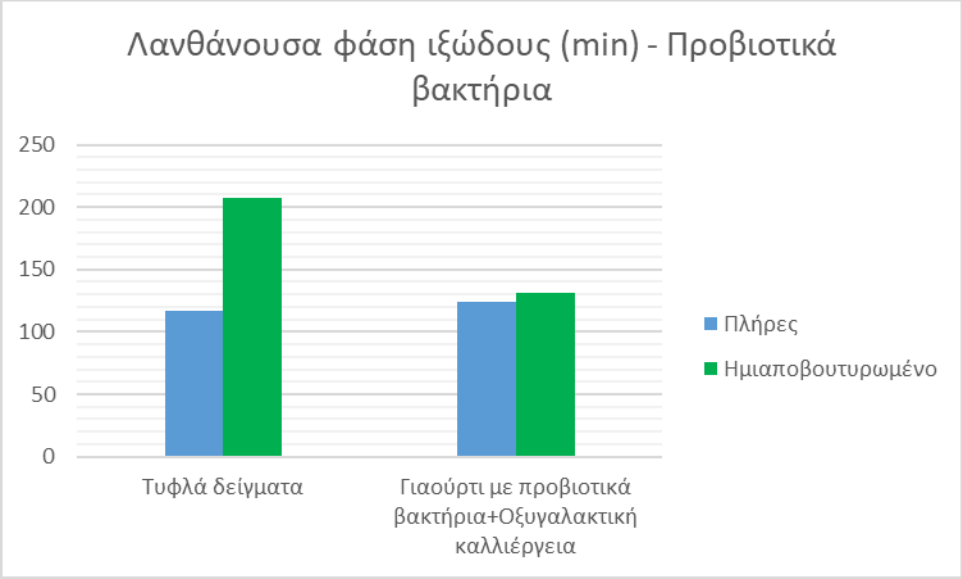
Όσον αφορά τη λανθάνουσα φάση του pH, παρατηρήθηκε μείωση της διάρκειάς της με την προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων, ιδίως στην παραγωγή του γιαουρτιού από ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Όμως, και σε αυτήν την περίπτωση η στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε ότι η προσθήκη προβιοτικών δεν επηρέασε σημαντικά τη διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του pH.

3.4.4 Μέγιστος ρυθμός μεταβολής ιξώδους και λανθάνουσα φάση ιξώδους των γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια

Όπως έγινε για το pH, έτσι και για το ιξώδες, τα δεδομένα προσαρμόστηκαν στο μοντέλο Gompertz και υπολογίστηκαν ο ρυθμός αύξησης και η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του για τα γιαούρτια που παρασκευάστηκαν με συνδυασμό προβιοτικών βακτηρίων και συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης, από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, το οποίο είχε υποστεί έντονη (95°C-5 min) θερμική κατεργασία. Στα παρακάτω διαγράμματα γίνεται σύγκριση των εν λόγω μεγεθών μεταξύ γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια και των αρχικών συμβατικών γιαουρτιών.



Διάγραμμα 3.4.4.1 - Μέγιστος ρυθμός μεταβολής ιξώδους για τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) μόνο με καλλιέργεια εκκίνησης και (β) με προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων.

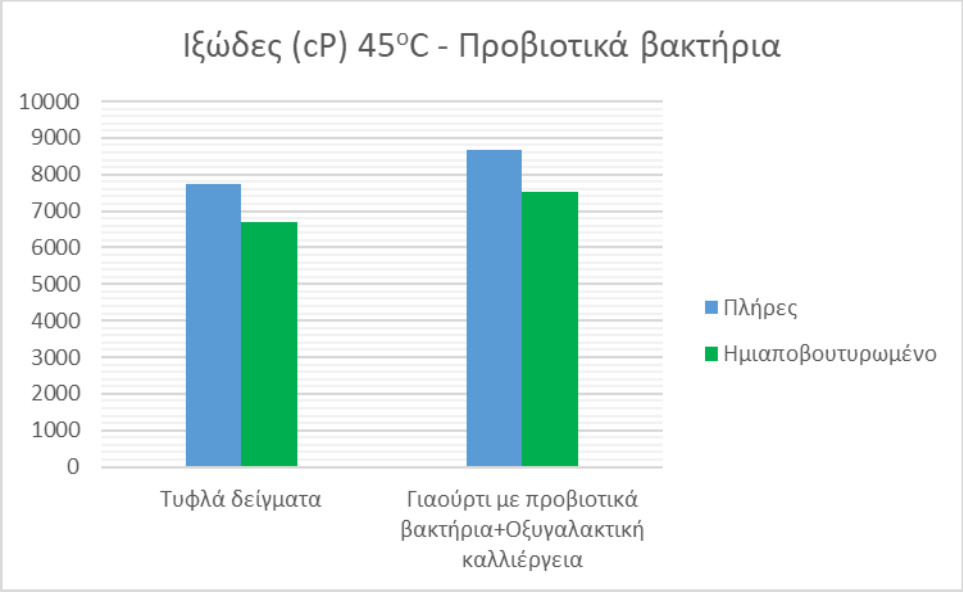


Διάγραμμα 3.4.4.2 – Λανθάνουσα φάση ιξώδους (min) για τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) μόνο με καλλιέργεια εκκίνησης και (β) με προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων.

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται αρχικά, ότι τόσο στα συμβατικά γιαούρτια, όσο και σε εκείνα με προβιοτικά βακτήρια, ο ρυθμός αύξησης του ιξώδους στα γιαούρτια από πλήρες γάλα ήταν μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο των γιαουρτιών από ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Επίσης, τα γιαούρτια στα οποία έγινε προσθήκη προβιοτικών παρουσίασαν μικρότερη τιμή μιξώδες, με τη μεγαλύτερη διαφοροποίηση να παρατηρείται στο γιαούρτι με τα χαμηλότερα λιπαρά. Από την άλλη, με την προσθήκη των προβιοτικών βακτηρίων η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του ιξώδους παρέμεινε σταθερή για τα γιαούρτια από πλήρες γάλα, ενώ μειώθηκε για τα αντίστοιχα από ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Τελικά, η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε ότι η προσθήκη βακτηρίων δεν άσκησε σημαντική επιρροή ούτε στο ρυθμό αύξησης του ιξώδους, ούτε στη διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του, κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο, αφού δεν είχε επίδραση ούτε στις αντίστοιχες παραμέτρους του pH, οι οποίες όπως έχει επισημανθεί και στις προηγούμενες ενότητες είναι αλληλεξαρτώμενες με εκείνες του ιξώδους.

3.4.5 Ιξώδες στους 45°C γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια

Το ιξώδες κάθε δείγματος μετρήθηκε με το πέρας της ζύμωσης σε θερμοκρασία 45°C, πριν την αποθήκευσή του στο ψυγείο. Παρακάτω, παρατίθενται τα διαγράμματα του ιξώδους στο τέλος της ζύμωσης για τα γιαούρτια που παρασκευάστηκαν με συνδυασμό προβιοτικών βακτηρίων και συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης, από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, το οποίο είχε υποστεί έντονη (95°C-5 min) θερμική κατεργασία.

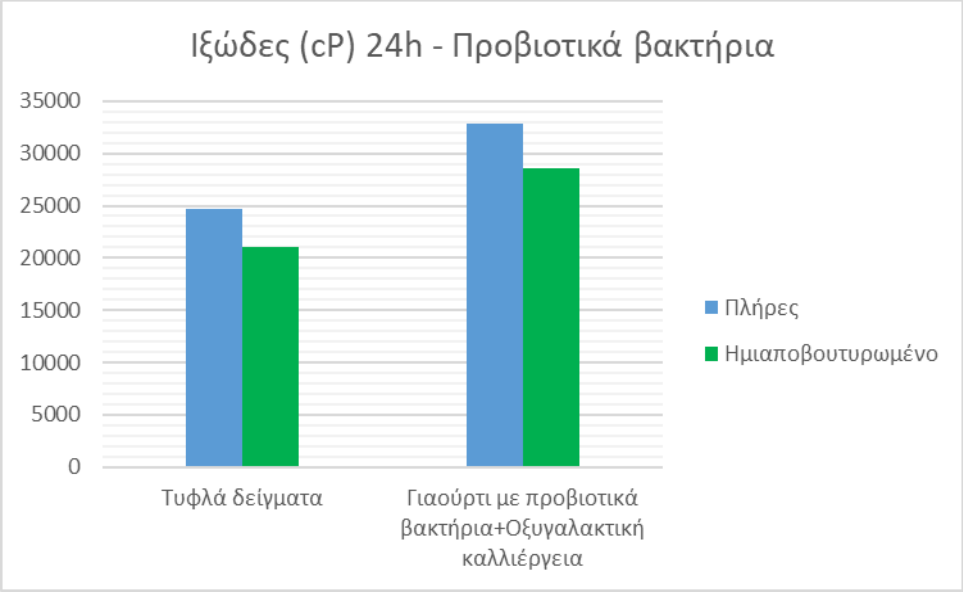


Διάγραμμα 3.4.5.1 – Ιξώδες (cP) στο τέλος της ζύμωσης (στους 45°C) γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) μόνο με καλλιέργεια εκκίνησης και (β) με προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων.

Από το διάγραμμα 3.4.5.1 φαίνεται ότι, όπως και στα συμβατικά γιαούρτια, έτσι και σε αυτά με τα προβιοτικά βακτήρια, τα γιαούρτια με την υψηλότερη περιεκτικότητα σε λιπαρά εμφάνισαν μεγαλύτερο ιξώδες. Επιπλέον, τα γιαούρτια που παρασκευάστηκαν με προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων είχαν ελαφρώς μεγαλύτερο ιξώδες στο τέλος της ζύμωσης, σε σύγκριση με τα συμβατικά. Από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), προέκυψε ότι πέρα από το είδος του γάλακτος, σημαντική επίδραση στο ιξώδες στο τέλος της ζύμωσης είχε και η προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων. Μία εξήγηση είναι πιθανή συνεισφορά των εν λόγω βακτηρίων στη δημιουργία πιο ισχυρού πλέγματος κατά τη ζύμωση, γεγονός που οδήγησε σε γιαούρτι με μεγαλύτερο ιξώδες.

3.4.6 Ιξώδες 24h (στους 4°C) γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια

Μετά από την αποθήκευση του κάθε δείγματος στο ψυγείο στους 4°C, ακολούθησε μέτρηση του ιξώδους του. Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την εν λόγω παράμετρο των γιαουρτιών που παρασκευάστηκαν με συνδυασμό προβιοτικών βακτηρίων και συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης, από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, το οποίο είχε υποστεί έντονη (95°C-5 min) θερμική κατεργασία.

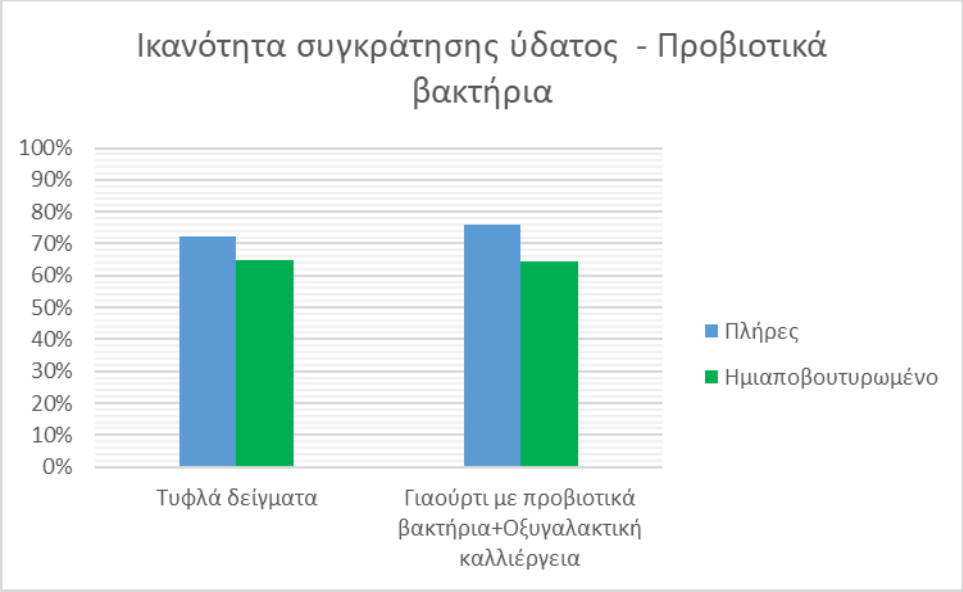


Διάγραμμα 3.4.6.1 - Ιξώδες (cP) μετά από αποθήκευση για 24h στους 4°C γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) μόνο με καλλιέργεια εκκίνησης και (β) με προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων.

Όπως παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα, και πάλι τα γιαούρτια πλήρους γάλακτος εμφάνισαν μεγαλύτερο ιξώδες από τα αντίστοιχα από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, ενώ εκείνα που περιείχαν προβιοτικά βακτήρια παρουσίασαν μεγαλύτερο τελικό ιξώδες σε σχέση με αυτά που περιείχαν μόνο την καλλιέργεια εκκίνησης. Η διαφοροποίηση αυτή επιβεβαιώνεται από τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), σύμφωνα με την οποία υπήρξε σημαντική επιρροή στο τελικό ιξώδες του γιαουρτιού από τα προβιοτικά βακτήρια. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες γάλα, αυτά στα οποία έγινε προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων εμφάνισαν ιξώδες αυξημένο κατά 8169 cP, ενώ στα γιαούρτια από ημιαποβουτυρωμένο γάλα η αντίστοιχη αύξηση ήταν 7565 cP. Άρα, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι τα προβιοτικά βακτήρια συνέβαλαν στη δημιουργία ισχυρότερων δεσμών στο πλέγμα του γιαουρτιού τόσο κατά τη ζύμωση, όσο και κατά την αποθήκευση στο ψυγείο, για αυτό και παρατηρήθηκε αύξηση στο ιξώδες του.

3.4.7 Ικανότητα συγκράτησης ύδατος γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια

Στην υποενότητα αυτή εξετάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν σχετικά με την ικανότητα συγκράτησης ύδατος των γιαουρτιών που παρασκευάστηκαν με συνδυασμό προβιοτικών βακτηρίων και συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης, από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, το οποίο είχε υποστεί έντονη (95°C-5 min) θερμική κατεργασία. Η μέτρηση της συγκεκριμένης ιδιότητας έγινε με φυγοκέντρηση μετά την αποθήκευση των γιαουρτιών στους 4 °C για 24h.

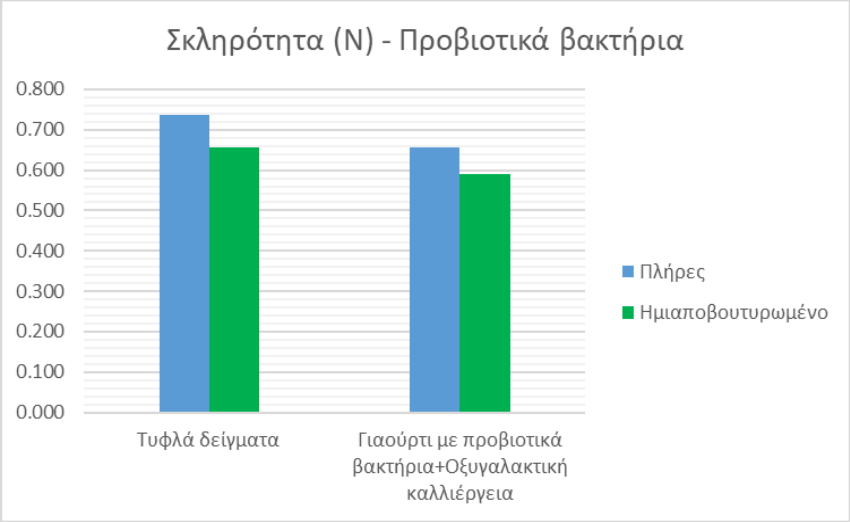


Διάγραμμα 3.4.7.1 – Ικανότητα συγκράτησης ύδατος γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) μόνο με καλλιέργεια εκκίνησης και (β) με προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων.

Από το παραπάνω διάγραμμα, αρχικά επιβεβαιώνεται η παρατήρηση που είχε γίνει στην υποενότητα 3.2.7, ότι τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες γάλα διέθεταν μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης ύδατος σε σχέση με εκείνα από το ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Στα γιαούρτια με προβιοτικά, η διαφορά αυτή ήταν 9%. Αντιθέτως, δε φαίνεται να επετεύχθη κάποια σημαντική διαφοροποίηση στην παράμετρο αυτή λόγω της προσθήκης προβιοτικών βακτηρίων, κάτι που επιβεβαιώνεται από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), η οποία έδειξε ότι η παρουσία των προβιοτικών δεν επηρέασε σημαντικά την ικανότητα συγκράτησης ύδατος του γιαουρτιού.

3.4.8 Ανάλυση αντικειμενικής υφής γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια: Σκληρότητα, Συνεκτικότητα, Προσκολλησιμότητα

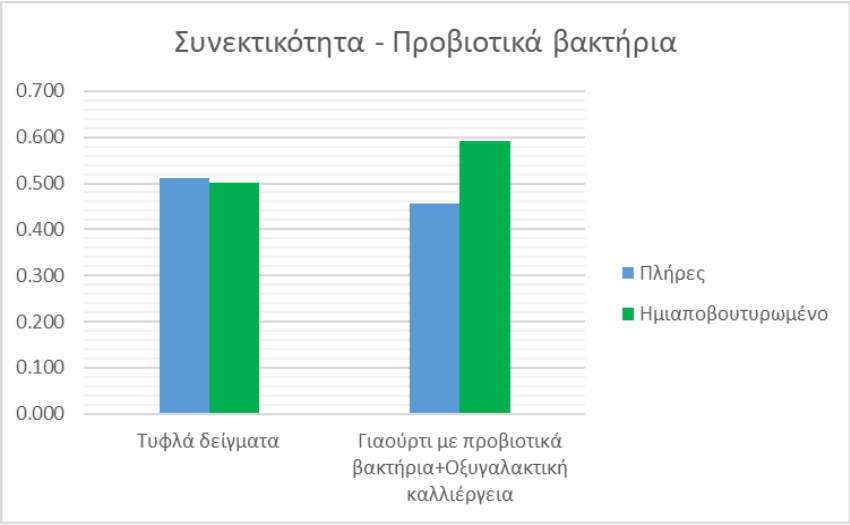
Στη συγκεκριμένη ενότητα θα αναλυθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις παραμέτρους αντικειμενικής υφής των γιαουρτιών που παρασκευάστηκαν με συνδυασμό προβιοτικών βακτηρίων και συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης, από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, το οποίο είχε υποστεί έντονη (95°C-5 min) θερμική κατεργασία. Αρχικά, εξετάστηκε η παράμετρος της σκληρότητας του γιαουρτιού, τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται παρακάτω.



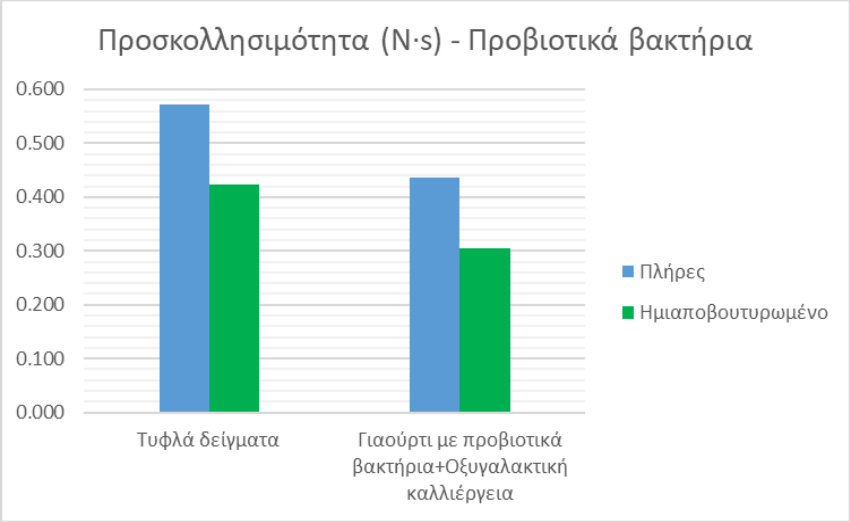
Διάγραμμα 3.4.8.1 – Σκληρότητα γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) μόνο με καλλιέργεια εκκίνησης και (β) με προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων.

Από το παραπάνω διάγραμμα μπορεί να γίνει η παρατήρηση ότι τα γιαούρτια που παρήχθησαν με προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων εμφάνισαν ελαφρώς μικρότερη σκληρότητα σε σχέση με τα συμβατικά, ενώ όπως και στα συμβατικά γιαούρτια, τα γιαούρτια πλήρους γάλακτος εμφάνισαν υψηλότερη σκληρότητα. Πάντως, από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε ότι η προσθήκη προβιοτικών δεν διαφοροποίησε σημαντικά την παράμετρο αυτή του γιαουρτιού.

Ακολούθως, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις άλλες δύο παραμέτρους της αντικειμενικής υφής, τη συνεκτικότητα και την προσκολλησιμότητα του γιαουρτιού.



Διάγραμμα 3.4.8.2 – Συνεκτικότητα γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) μόνο με καλλιέργεια εκκίνησης και (β) με προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων.



Διάγραμμα 3.4.8.3 - Προσκολλησιμότητα γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) μόνο με καλλιέργεια εκκίνησης και (β) με προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων.

Όπως παρατηρείται στο διάγραμμα 3.3.8.2, στα παραχθέντα από πλήρες γάλα γιαούρτια η συνεκτικότητα μειώθηκε με την προσθήκη προβιοτικών, ενώ το αντίθετο συνέβη στα γιαούρτια ημιαποβουτυρωμένου γάλακτος, όπου αυξήθηκε. Ωστόσο η εν λόγω παράμετρος δεν φαίνεται να επηρεάστηκε σημαντικά από την προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων, κάτι που επιβεβαιώνεται και από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), σύμφωνα με την οποία δεν υπήρξε σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο σειρών δειγμάτων.

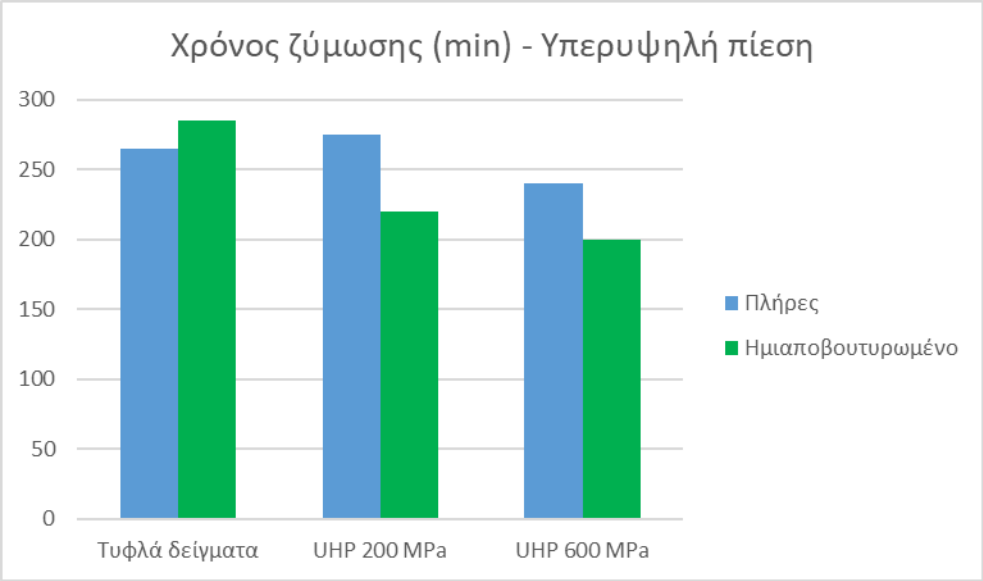
Τέλος, όσον αφορά την προσκολλησιμότητα του γιαουρτιού, από το διάγραμμα 3.4.8.3 αυτή ήταν μεγαλύτερη στα γιαούρτια πλήρους γάλακτος και μειώθηκε με την παρουσία των προβιοτικών στο γιαούρτι. Η στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) υπέδειξε ότι η προσθήκη τους έπαιξε σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της προσκολλησιμότητας του γιαουρτιού, καθώς τόσο στο γιαούρτι από πλήρες γάλα όσο και σε εκείνο από ημιαποβουτυρωμένο, η συγκεκριμένη παράμετρος εμφανίστηκε μειωμένη σε σχέση με τα συμβατικά γιαούρτια κατά 0,135 N·s και 0,119 N·s αντίστοιχα.

3.5 Εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης (UHP)

Στο γιαούρτι εφαρμόστηκε υπερυψηλή πίεση (Ultra-High Pressure) σε δύο διαφορετικές σειρές πειραμάτων για κάθε είδος γάλακτος. Στην πρώτη σειρά, η τιμή της εφαρμοζόμενης πίεσης ήταν 200 MPa, ενώ στη δεύτερη 600 MPa. Στην ενότητα αυτή αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα πειράματα αυτά για τις διάφορες παραμέτρους του γιαουρτιού.

3.5.1 Χρόνος ζύμωσης γιαουρτιών με εφαρμογή UHP

Παρακάτω παρουσιάζονται οι χρόνοι ζύμωσης γιαουρτιών που παρασκευάστηκαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα έντονης θερμικής κατεργασίας (95°C-5 min), με εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης 200 MPa ή 600 MPa.



Διάγραμμα 3.5.1.1 – Χρόνος ζύμωσης γιαουρτιού από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με UHP 200 MPa, (γ) με UHP 600 MPa

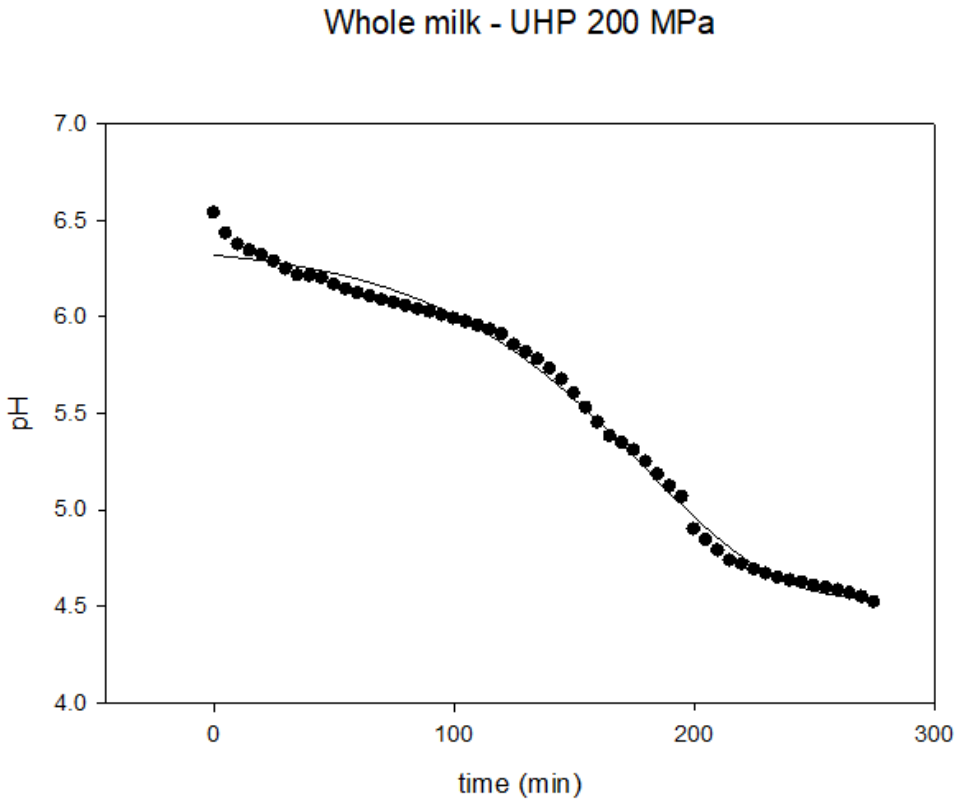
Από το παραπάνω διάγραμμα, αρχικά παρατηρείται ότι, σε αντίθεση με ότι συνέβη στα συμβατικά γιαούρτια, το ημιαποβουτυρωμένο γάλα ζυμώθηκε ταχύτερα από το πλήρες γάλα στις σειρές πειραμάτων που περιλάμβαναν εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης. Επιπλέον, όσον αφορά τα πλήρη γιαούρτια, ο χρόνος ζύμωσης στο πείραμα με εφαρμογή πίεσης 200 MPa ήταν σχεδόν ίσος με των συμβατικών γιαουρτιών, ενώ όταν εφαρμόστηκε πίεση 600 MPa, ο χρόνος μειώθηκε κατά 25 min σε σχέση με το τυφλό δείγμα. Από την άλλη, στα γιαούρτια ημιαποβουτυρωμένου γάλακτος παρουσιάστηκε μείωση του χρόνου ζύμωσης και στις δύο σειρές πειραμάτων με UHP, με τη μεγαλύτερη μείωση να παρατηρείται στο γιαούρτι που υπεβλήθη σε κατεργασία με 600 MPa. Πάντως, από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε ότι η κατεργασία με υπερυψηλή πίεση δεν επηρέασε σημαντικά το

χρόνο ζύμωσης των γιαουρτιών. Επομένως, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οι μεταβολές στη δομή των συστατικών του γάλακτος που προκλήθηκαν από την εφαρμογή της υπερυψηλής πίεσης δεν προκάλεσαν κάποια σημαντική διαφοροποίηση στο μεταβολισμό της λακτόζης από τα γαλακτικά βακτήρια.

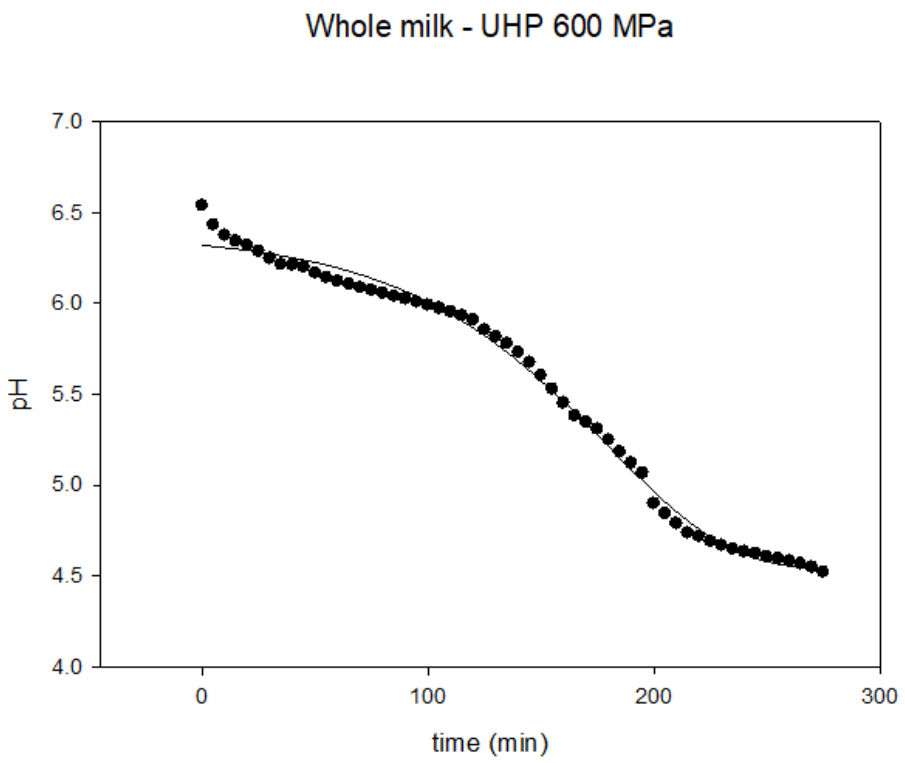
Ακολούθως, αναλύονται τα αποτελέσματα για τη μεταβολή του pH κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, σύμφωνα με το μοντέλο Gompertz.

3.5.2 Μεταβολή pH κατά τη διάρκεια της ζύμωσης γιαουρτιών με εφαρμογή UHP

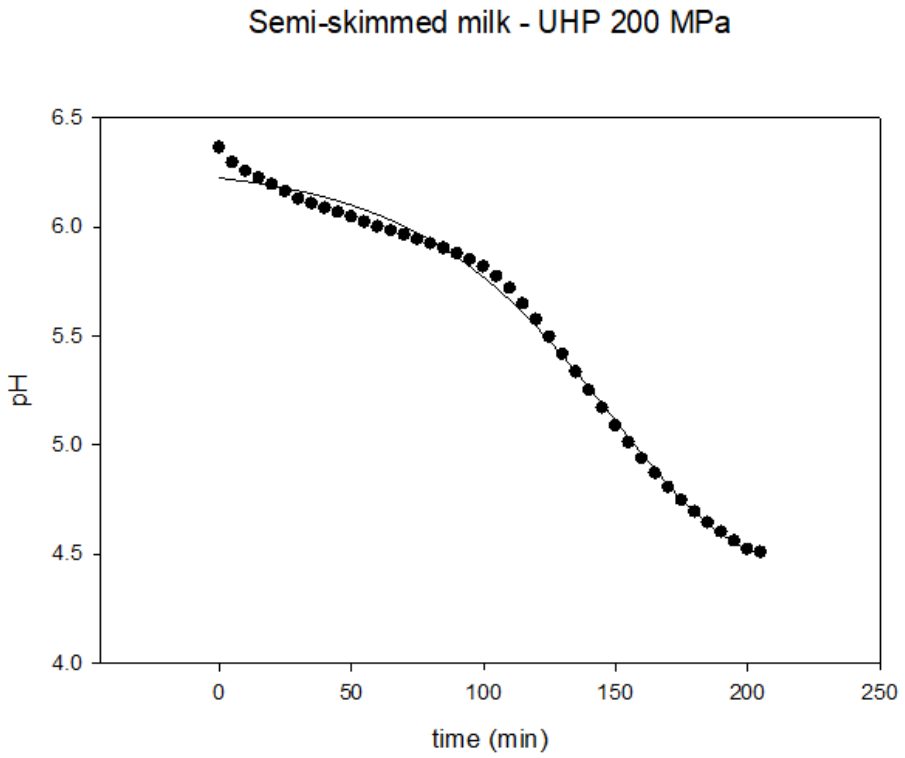
Παρακάτω παρουσιάζονται, όπως προέκυψαν έπειτα από προσαρμογή των δεδομένων στο μοντέλο Gompertz, οι καμπύλες pH κατά τη διάρκεια της ζύμωσης γιαουρτιών από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα έντονης θερμικής κατεργασίας (95°C-5 min), με εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης 200 MPa ή 600 MPa.



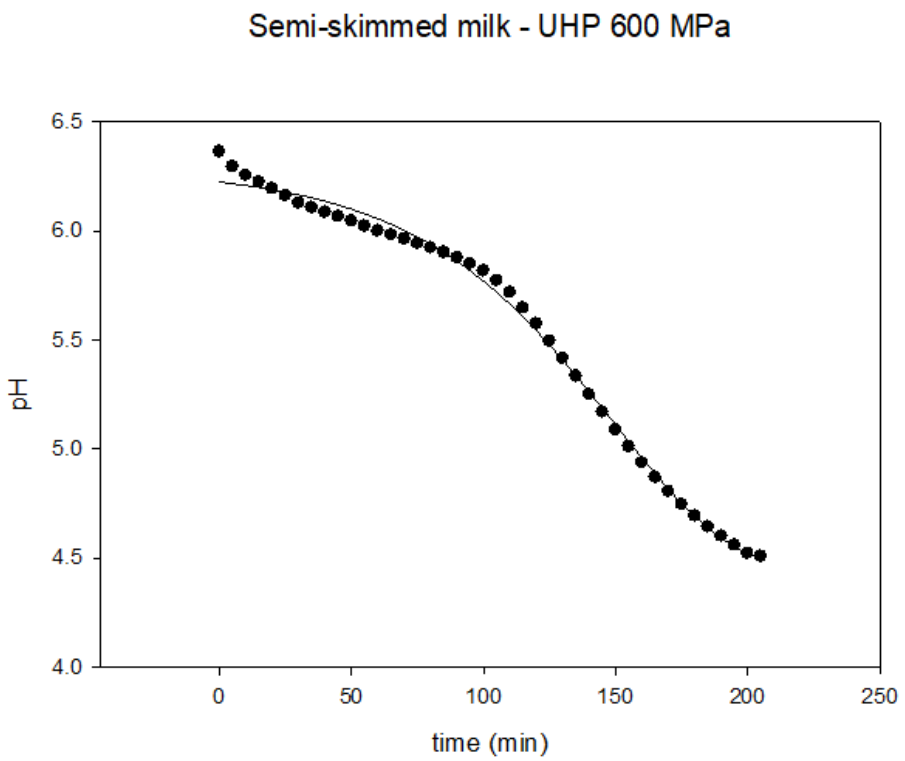
Διάγραμμα 3.5.2.1 - Μεταβολή pH με το χρόνο κατά τη ζύμωση γιαουρτιού από πλήρες γάλα, το οποίο έχει υποβληθεί σε κατεργασία με UHP 200 MPa



Διάγραμμα 3.5.2.2 - Μεταβολή pH με το χρόνο κατά τη ζύμωση γιαουρτιού από πλήρες γάλα, το οποίο έχει υποβληθεί σε κατεργασία με UHP 600 MPa



Διάγραμμα 3.5.2.3 - Μεταβολή pH με το χρόνο κατά τη ζύμωση γιαουρτιού από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, το οποίο έχει υποβληθεί σε κατεργασία με UHP 200 MPa



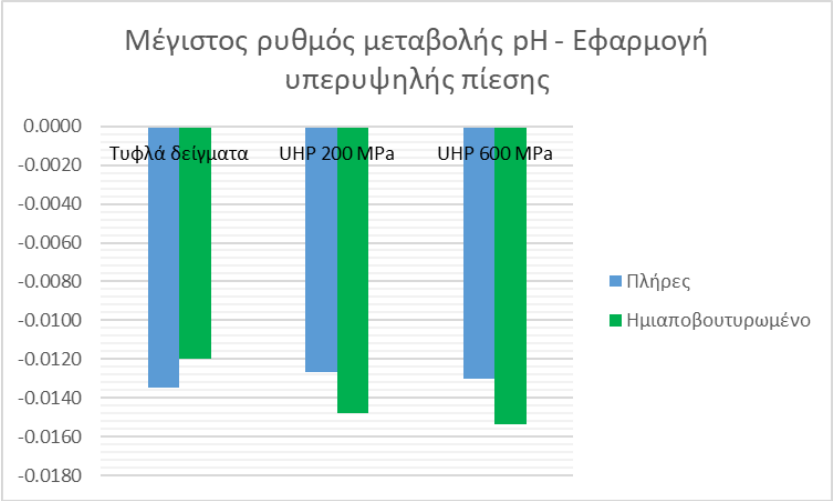
Διάγραμμα 3.5.2.4 - Μεταβολή pH με το χρόνο κατά τη ζύμωση γιαουρτιού από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, το οποίο έχει υποβληθεί σε κατεργασία με UHP 600 MPa

Όπως φαίνεται στα διαγράμματα, τα δεδομένα του pH έχουν προσαρμοστεί στο μοντέλο Gompertz, από το οποίο μπορούν να διακριθούν οι τρεις φάσεις της ζύμωσης. Αρχικά, το pH μειώνεται με αργό ρυθμό, έπειτα μειώνεται με το μέγιστο ρυθμό λόγω της δράσης και των δύο βακτηρίων της καλλιέργειας εκκίνησης και τέλος παρατηρείται επιβράδυνση της μείωσής του. Σε σχέση με τις αντίστοιχες καμπύλες των συμβατικών γιαουρτιών δεν παρατηρήθηκε κάποια αξιοσημείωτη διαφορά.

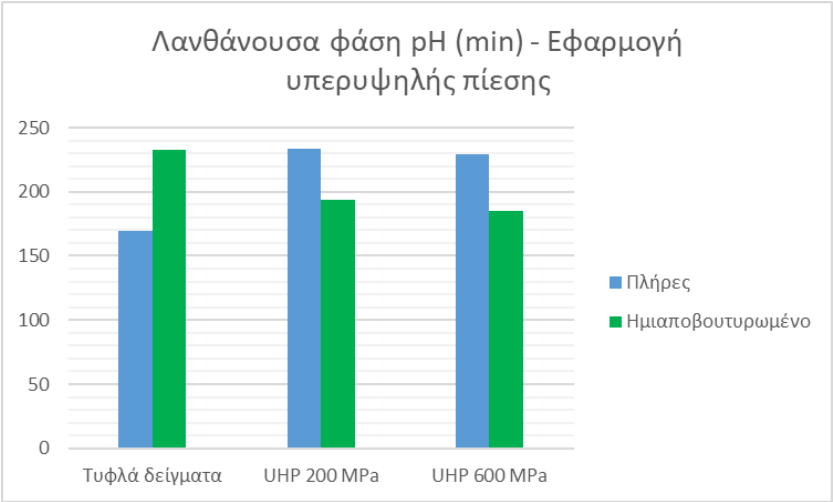
Στις επόμενες υποενότητες μελετώνται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το μοντέλο Gompertz για τις τιμές του ρυθμού μεταβολής pH, καθώς και για τη λανθάνουσα φάση του. Τέλος, σημειώνεται ότι η προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στο μοντέλο Gompertz ήταν καλή (R^2>0.99) για τα πειράματα που περιελάμβαναν εφαρμογή UHP.

3.5.3 Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH και λανθάνουσα φάση pH των γιαουρτιών με εφαρμογή UHP

Στην υποενότητα αυτή εξετάζονται ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH (μ_{pH}) και η λανθάνουσα φάση του (λ_{pH}), όπως προέκυψαν από την προσαρμογή στο μοντέλο Gompertz. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα που προέκυψαν για τα δύο αυτά μεγέθη έπειτα από τα πειράματα στα οποία παρήχθησαν γιαούρτια από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα έντονης θερμικής κατεργασίας (95°C-5 min), με εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης 200 MPa ή 600 MPa.



Διάγραμμα 3.5.3.1 – Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH των γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με UHP 200 MPa, (γ) με UHP 600 MPa



Διάγραμμα 3.5.3.2 – Λανθάνουσα φάση pH (min) των γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με UHP 200 MPa, (γ) με UHP 600 MPa

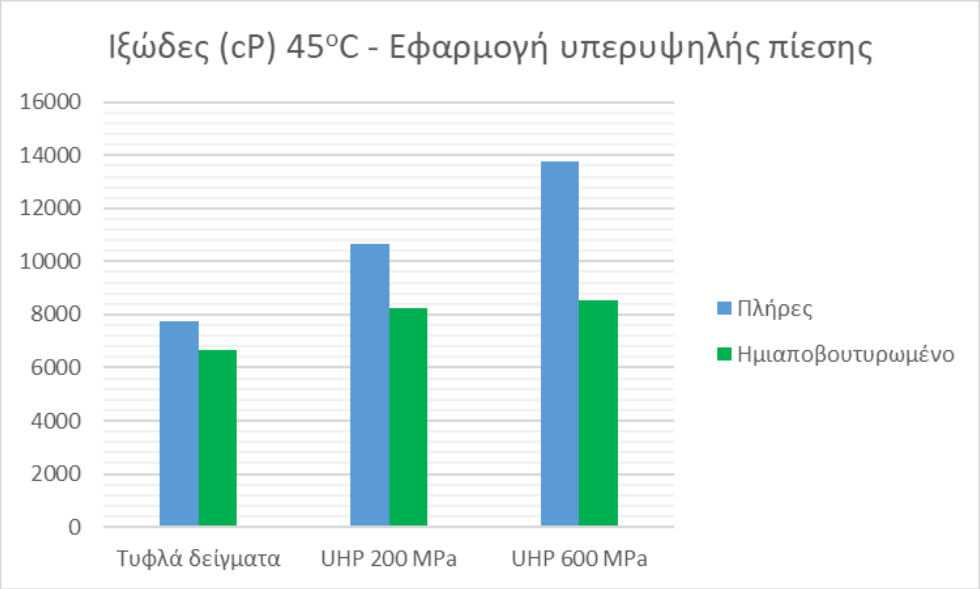
Αρχικά, παρατηρείται ότι, αντίθετα με ότι συνέβη στα συμβατικά γιαούρτια, τα γιαούρτια από πλήρες γάλα εμφάνισαν μικρότερο κατά απόλυτη τιμή ρυθμό μείωσης του pH σε σχέση με τα αντίστοιχα από ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Επιπλέον, για τα γιαούρτια από πλήρες γάλα, στην πρώτη σειρά πειραμάτων με εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης (UHP 200 MPa) το μ_{pH} μειώθηκε ελαφρώς σε σχέση με αυτό των συμβατικών γιαουρτιών, ενώ στη δεύτερη σειρά (UHP 600 MPa) παρέμεινε σχεδόν ίδιο. Από την άλλη, ο ρυθμός μείωσης pH των γιαουρτιών ημιαποβουτυρωμένου γάλακτος αυξήθηκε κατά απόλυτη τιμή και στις δύο σειρές πειραμάτων με εφαρμογή UHP, κυρίως κατά την εφαρμογή 600 MPa. Ωστόσο, σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), η εφαρμογή UHP στο γάλα δεν είχε σημαντική επίδραση στο ρυθμό μείωσης του pH κατά τη ζύμωση.

Όσον αφορά τη λανθάνουσα φάση του pH (λ_{pH}), αυτή είχε μεγαλύτερη διάρκεια στα γιαούρτια από πλήρες γάλα, κάτι που δεν παρατηρήθηκε στα συμβατικά γιαούρτια. Επίσης, για τα γιαούρτια πλήρους γάλακτος παρατηρείται αύξησή της και στις δύο περιπτώσεις όπου υπήρξε εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης. Στα γιαούρτια με τη χαμηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά, από την άλλη, παρατηρείται αντίθετη συμπεριφορά, δηλαδή μείωση της διάρκειας της λανθάνουσας φάσης και στις δύο περιπτώσεις εφαρμογής UHP. Παρόλα αυτά, η στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε ότι η εφαρμογή UHP στο γάλα δεν επηρέασε σημαντικά τη διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του pH.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι η εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης στο γάλα πριν από τη θερμική του κατεργασία προκαλεί φυσικοχημικές μεταβολές σε αυτό, οι οποίες όμως δεν επηρεάζουν τη διαδικασία της ζύμωσης. Η λακτόζη φαίνεται να μην επηρεάζεται καθόλου από τη συγκεκριμένη μέθοδο ή οι μεταβολές που υφίσταται να μην επιδρούν στο μεταβολισμό της από τα βακτήρια.

3.5.4 Ιξώδες στους 45°C γιαουρτιών με εφαρμογή UHP

Το ιξώδες κάθε δείγματος μετρήθηκε με το πέρας της ζύμωσης σε θερμοκρασία 45°C, πριν την αποθήκευση του δείγματος στο ψυγείο. Παρακάτω, παρατίθενται τα διαγράμματα του ιξώδους στο τέλος της ζύμωσης για τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα έντονης θερμικής κατεργασίας (95°C-5 min), με εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης 200 MPa ή 600 MPa.



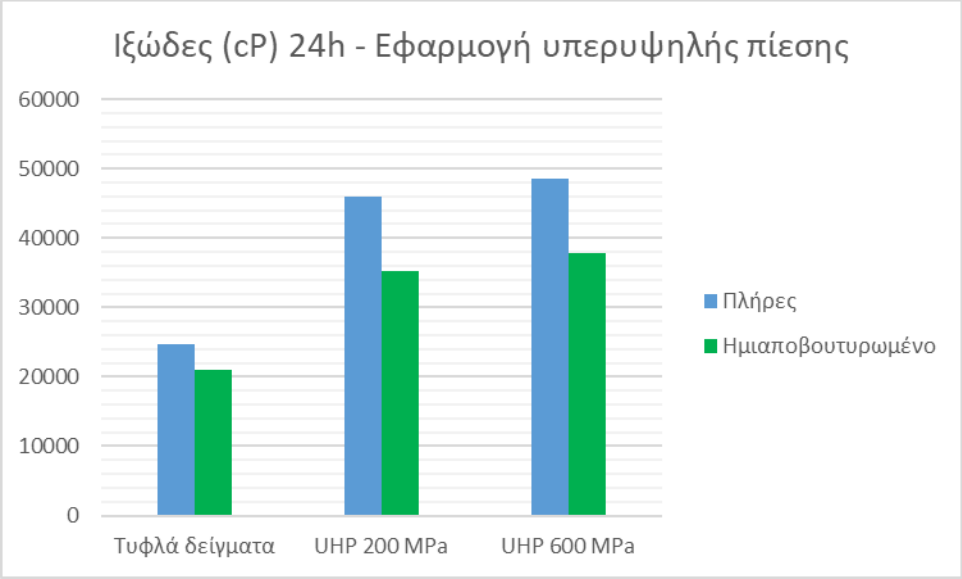
Διάγραμμα 3.5.4.1 – Ιξώδες (cP) στο τέλος της ζύμωσης (45°C) γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με UHP 200 MPa, (γ) με UHP 600 MPa

Από το διάγραμμα 3.5.4.1 αρχικά παρατηρείται ότι το ιξώδες στους 45°C παρέμεινε υψηλότερο στα γιαούρτια πλήρους γάλακτος σε σχέση με αυτά από ημιαποβουτυρωμένο, όπως συνέβη και στα συμβατικά γιαούρτια. Επιπλέον, για τα γιαούρτια από πλήρες γάλα στην πρώτη σειρά πειραμάτων με χρήση υπερυψηλής πίεσης (UHP 200 MPa) παρατηρείται αύξηση του ιξώδους της τάξης των 2000 cP, ενώ ακόμα μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται στη δεύτερη σειρά (UHP 200 MPa). Στα γιαούρτια από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, επίσης παρατηρήθηκε αύξηση του ιξώδους στο τέλος της ζύμωσης, όμως σε αρκετά μικρότερο βαθμό συγκριτικά με τα γιαούρτια υψηλότερης περιεκτικότητας σε λιπαρά.

Από τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε ότι η κατεργασία με UHP δεν είχε σημαντική επίδραση στο ιξώδες των γιαουρτιών στο τέλος της ζύμωσης στους 45°C.

3.5.5 Ιξώδες 24h (στους 4°C) γιαουρτιών με εφαρμογή UHP

Μετά από αποθήκευση του κάθε δείγματος στο ψυγείο στους 4°C, γινόταν μέτρηση του ιξώδους του. Στην υποενότητα αυτή παρατίθενται τα διαγράμματα του ιξώδους στο τέλος της ζύμωσης για τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα έντονης θερμικής κατεργασίας (95°C-5 min), με εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης 200 MPa ή 600 MPa.



Διάγραμμα 3.5.5.1 - Ιξώδες (cP) μετά από την αποθήκευση για 24h στους 4°C γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με UHP 200 MPa, (γ) με UHP 600 MPa

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες γάλα εμφάνισαν μεγαλύτερο ιξώδες σε σχέση με τα αντίστοιχα που παρασκευάστηκαν από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, σε όλες τις σειρές πειραμάτων.

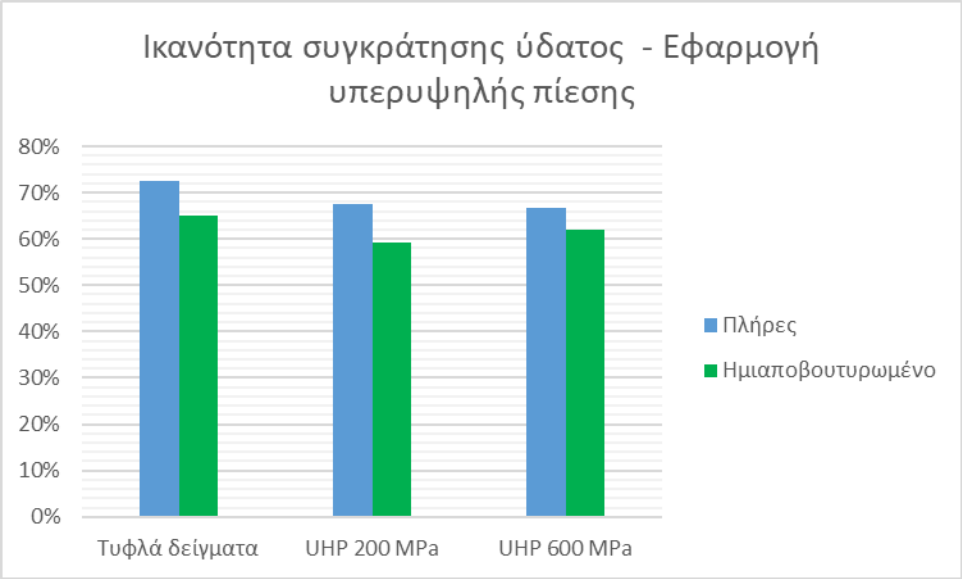
Η κατεργασία με υπερυψηλή πίεση φαίνεται ότι οδήγησε σε αύξηση του τελικού ιξώδους των γιαουρτιών. Ειδικότερα, για τα γιαούρτια από πλήρες γάλα, και για τις δύο τιμές πίεσης που εφαρμόστηκαν, παρατηρείται μεγάλη αύξηση του ιξώδους, ενώ τα γιαούρτια από ημιαποβουτυρωμένο γάλα εμφάνισαν και εκείνα, σε μικρότερο βαθμό, αύξηση του ιξώδους τους σε σύγκριση με τα τυφλά.

Από τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε ότι η κατεργασία με UHP είχε σημαντική επίδραση στο ιξώδες των γιαουρτιών μετά από 24h αποθήκευσής τους στους 4°C. Η διαφορά αυτή μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι, λόγω της μείωσης του μεγέθους των σωματιδίων του γάλακτος και της διάσπασης των καζεϊνικών συμπλόκων από την εφαρμογή πίεσης, σχηματίστηκαν νέα σύμπλοκα που περιείχαν καζεΐνες, πρωτεΐνες ορού και λιπίδια και ήταν πιο ισχυρά, ενώ ταυτόχρονα συμμετείχαν σε αυτά περισσότερα μόρια, επομένως δημιουργήθηκε πιο πυκνό πήγμα, άρα αυξάνεται και το τελικό ιξώδες του γιαουρτιού.

3.5.6 Ικανότητα συγκράτησης ύδατος γιαουρτιών με εφαρμογή UHP

Στην υποενότητα αυτή παρατίθενται τα αποτελέσματα σχετικά με την ικανότητα συγκράτησης ύδατος των γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα έντονης θερμικής κατεργασίας (95°C-5 min), με εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης 200 MPa ή 600 MPa.

Η μέτρηση της ικανότητας συγκράτησης ύδατος έγινε με φυγοκέντρηση των γιαουρτιών μετά από την αποθήκευσή τους στους 4°C για 24h.



Διάγραμμα 3.5.6.1 – Ικανότητα συγκράτησης ύδατος γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με UHP 200 MPa, (γ) με UHP 600 MPa

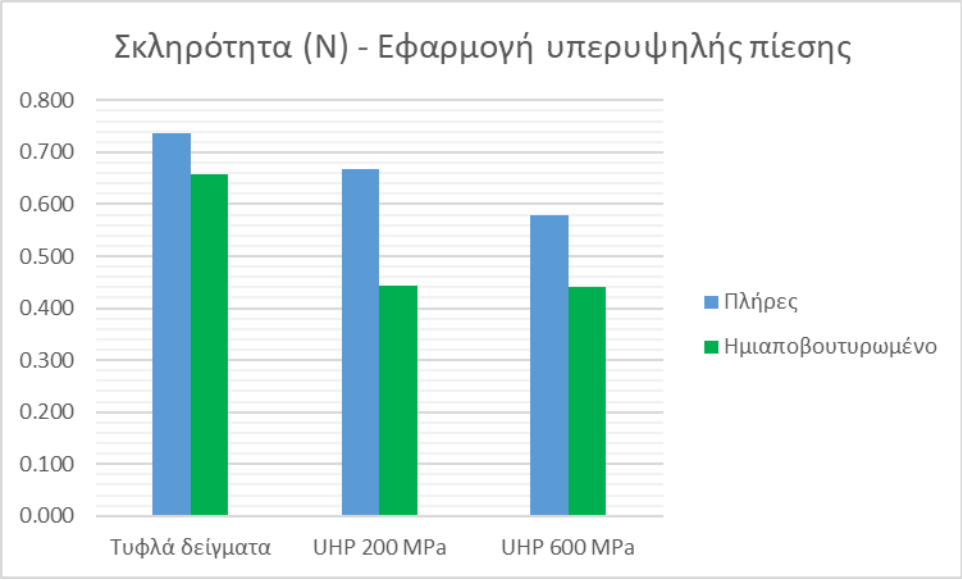
Από το παραπάνω διάγραμμα, αρχικά επιβεβαιώνεται η παρατήρηση που είχε γίνει και σε προηγούμενη ενότητα, ότι τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες γάλα διέθεταν μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης ύδατος σε σχέση με εκείνα από το ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Τα γιαούρτια που παρήχθησαν με εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης φαίνεται να εμφάνισαν ελαφρώς χαμηλότερη ικανότητα συγκράτησης ύδατος, κάτι που παρατηρείται και για τα δύο είδη γιαουρτιών. Η στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε ότι η εφαρμογή UHP στο γιαούρτι δεν επηρέασε σημαντικά την ικανότητα συγκράτησης ύδατος.

Μία πιθανή εξήγηση για αυτό είναι ότι η υπερυψηλή πίεση ελάττωσε το μέγεθος των λιποσφαιριδίων, τα οποία μετά τη ζύμωση ενώθηκαν με τις πρωτεΐνες ορού και τις καζεΐνες σχηματίζοντας ισχυρότερο πλέγμα, κάτι που αποδεικνύεται και από την αύξηση του ιξώδους του γιαουρτιού. Όμως, φαίνεται ότι δε βελτιώθηκε η πρόσληψη νερού από το

πλέγμα, για αυτό και δεν σημειώθηκε σημαντική μεταβολή στην ικανότητα συγκράτησης ύδατος.

3.5.7 Ανάλυση αντικειμενικής υφής γιαουρτιών με εφαρμογή UHP: Σκληρότητα, Συνεκτικότητα, Προσκολλησιμότητα

Παρακάτω αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις παραμέτρους αντικειμενικής υφής των γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα έντονης θερμικής κατεργασίας (95°C-5 min), με εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης 200 MPa ή 600 MPa. Αρχικά, εξετάστηκε η παράμετρος της σκληρότητας του γιαουρτιού, τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται παρακάτω.



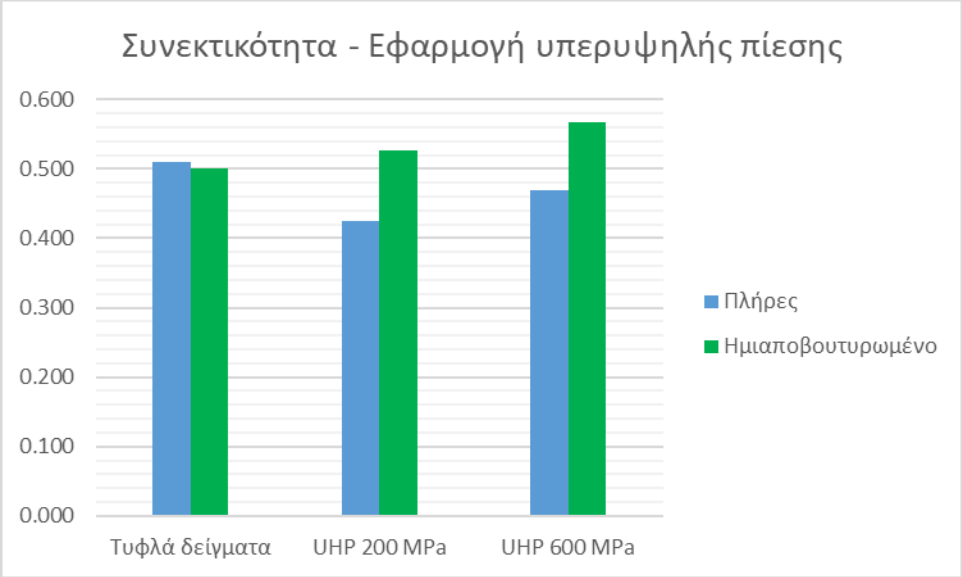
Διάγραμμα 3.5.7.1 - Σκληρότητα γιαουρτιών από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με UHP 200 MPa, (γ) με UHP 600 MPa

Από το παραπάνω διάγραμμα μπορεί να γίνει η παρατήρηση ότι τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες γάλα εμφάνισαν μεγαλύτερη σκληρότητα σε όλες τις περιπτώσεις.

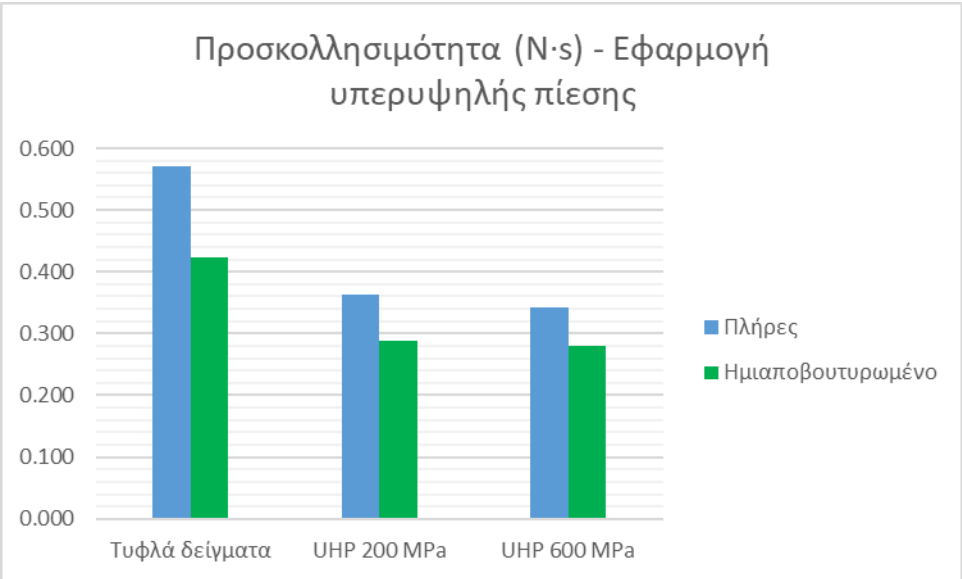
Τα γιαούρτια πλήρους γάλακτος στα οποία έγινε εφαρμογή UHP παρουσίασαν χαμηλότερη σκληρότητα σε σχέση με τα συμβατικά γιαούρτια. Ειδικότερα, το γιαούρτι με την εντονότερη κατεργασία παρουσίασε τη μικρότερη σκληρότητα. Όσον αφορά τα γιαούρτια από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, σε αυτά παρουσιάστηκε ακόμα μεγαλύτερη διαφοροποίηση, καθώς η σκληρότητά τους παρουσίασε μεγαλύτερη μείωση σε σχέση με τα συμβατικά γιαούρτια.

Παρόλα αυτά, από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε ότι η εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης δεν επηρέασε σημαντικά τη σκληρότητα του τελικού προϊόντος.

Ακολούθως, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις άλλες δύο παραμέτρους της αντικειμενικής υφής του γιαουρτιού, τη συνεκτικότητα και την προσκολλησιμότητά του.



Διάγραμμα 3.5.7.2 – Συνεκτικότητα γιαουρτιών από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με UHP 200 MPa, (γ) με UHP 600 MPa



Διάγραμμα 3.5.7.3 - Προσκολλησιμότητα γιαουρτιών από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με UHP 200 MPa, (γ) με UHP 600 MPa

Όπως παρατηρείται στο διάγραμμα 3.5.7.2, στα πειράματα όπου εφαρμόστηκε υπερυψηλή πίεση, η συνεκτικότητα ήταν μεγαλύτερη στα γιαούρτια ημιαποβουτυρωμένου γάλακτος σε σχέση με τα γιαούρτια πλήρους γάλακτος, κάτι που δεν παρατηρήθηκε στα συμβατικά γιαούρτια.

Στα γιαούρτια από πλήρες γάλα παρατηρείται μείωση της συνεκτικότητας κυρίως στην πρώτη σειρά πειραμάτων με υπερυψηλή πίεση (UHP 200 MPa). Αντιθέτως, η συνεκτικότητα αυξήθηκε στα γιαούρτια με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε λιπαρά, με τη μεγαλύτερη αύξηση να εμφανίζεται στο γιαούρτι του οποίου το γάλα υπεβλήθη σε εφαρμογή UHP 600 MPa. Ωστόσο, από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε ότι η εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης δεν διαφοροποίησε σημαντικά τη συνεκτικότητα του τελικού προϊόντος.

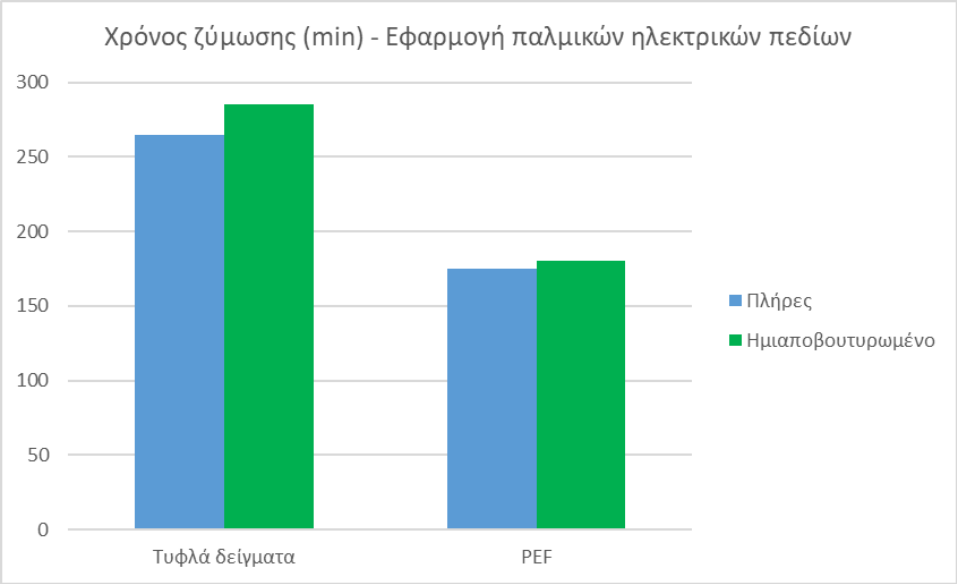
Όσον αφορά την προσκολλησιμότητα, αυτή παρατηρείται πως παρέμεινε υψηλότερη για τα γιαούρτια με τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε λιπαρά. Στα πειράματα όπου έλαβε χώρα εφαρμογή UHP η συγκεκριμένη παράμετρος παρουσίασε μεγάλη μείωση και στα δύο είδη γιαουρτιού, ενώ παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητη με την αύξηση της τιμής της πίεσης από τα 200 MPa στα 600 MPa. Τη χαμηλότερη τιμή προσκολλησιμότητας εμφάνισε το γιαούρτι από ημιαποβουτυρωμένο γάλα με εφαρμογή 600 MPa. Η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε ότι η εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης επηρέασε σημαντικά την προσκολλησιμότητα των γιαουρτιών.

3.6 Εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF)

Στα δύο είδη γάλακτος εφαρμόστηκε κατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (Pulsed Electric Field) πριν τη θερμική τους κατεργασία. Στην ενότητα αυτή αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα πειράματα αυτά για τις διάφορες παραμέτρους του γιαουρτιού.

3.6.1 Χρόνος ζύμωσης γιαουρτιών με εφαρμογή PEF

Παρακάτω παρουσιάζονται οι χρόνοι ζύμωσης γιαουρτιών που παρασκευάστηκαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα έντονης θερμικής κατεργασίας (95°C-5 min), με εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων.



Διάγραμμα 3.6.1.1 – Χρόνος ζύμωσης γιαουρτιού από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με εφαρμογή PEF

Από το παραπάνω διάγραμμα, αρχικά παρατηρείται ότι στα πειράματα με εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων υπήρξε πολύ μικρή διαφορά στους χρόνους ζύμωσης των δύο διαφορετικών γιαουρτιών. Επιπλέον, όσον αφορά το πλήρες γιαούρτι, ο χρόνος ζύμωσης στο πείραμα με εφαρμογή PEF παρουσίασε σημαντική μείωση σε σχέση με το τυφλό δείγμα, ενώ το ίδιο συνέβη και για το αντίστοιχο ημιαποβουτυρωμένο.

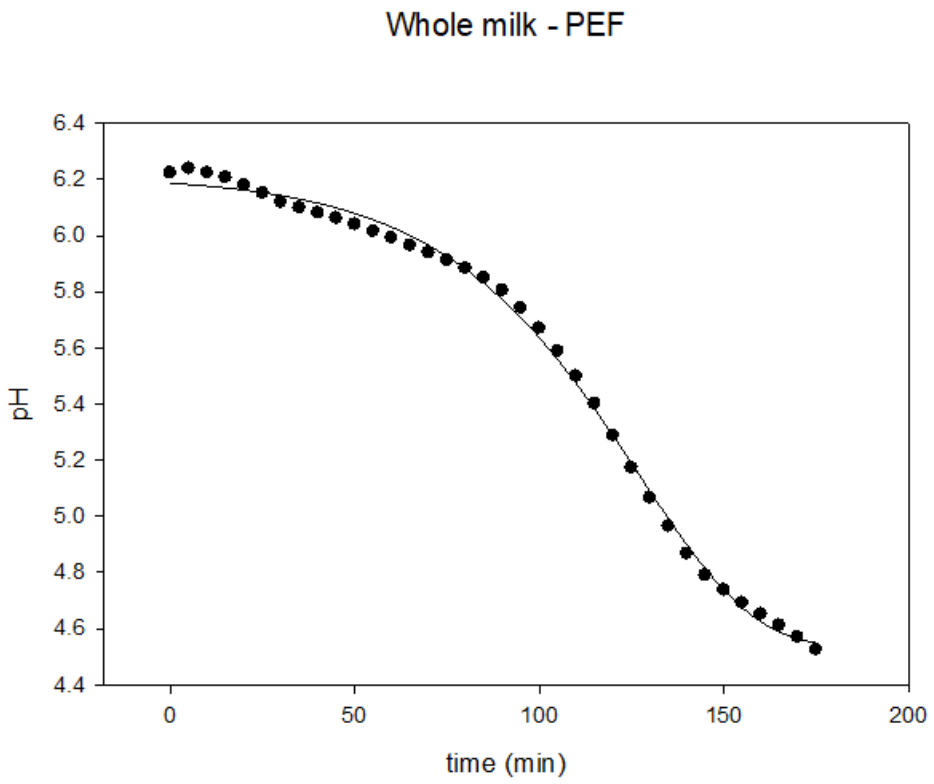
Από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) επιβεβαιώνεται ότι η κατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία επηρέασε σημαντικά το χρόνο ζύμωσης των γιαουρτιών. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην ικανότητα των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων να διασπούν τα συστατικά του γάλακτος, διευκολύνοντας το μεταβολισμό τους από τα βακτήρια της

καλλιέργειας εκκίνησης. Συνεπώς, ο μεταβολισμός της λακτόζης προς γαλακτικό οξύ λαμβάνει χώρα πιο γρήγορα, άρα ο χρόνος ζύμωσης μειώνεται.

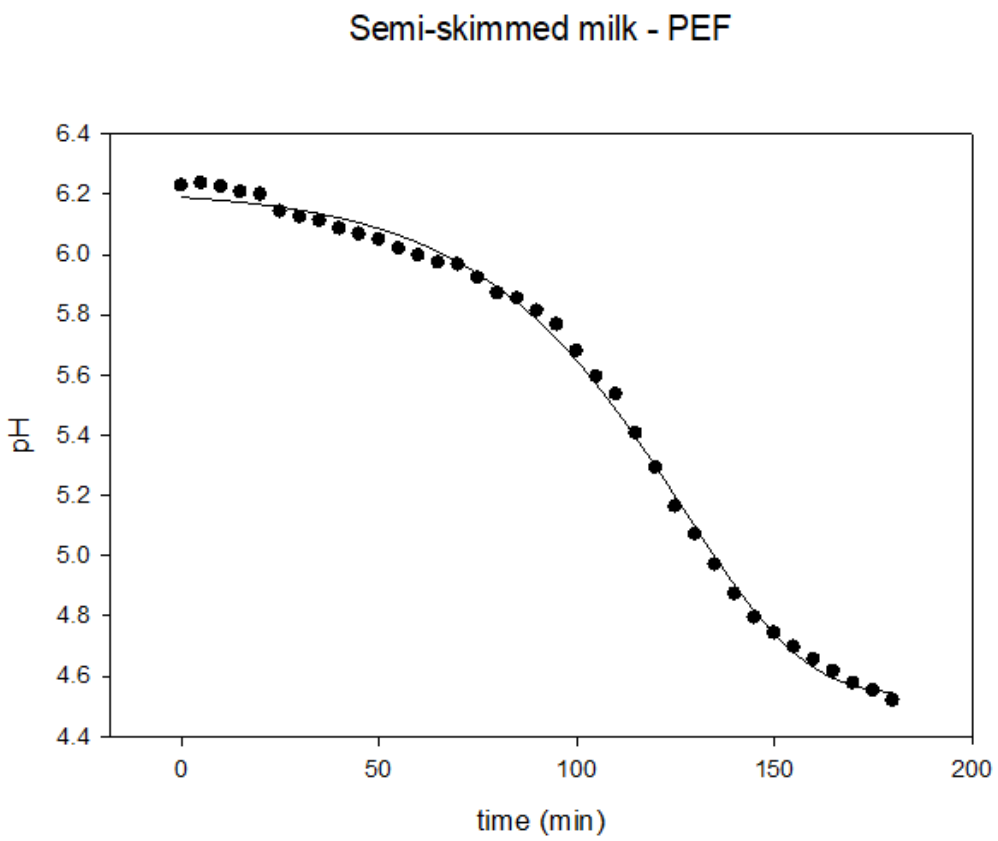
Ακολούθως, αναλύονται τα αποτελέσματα για τη μεταβολή του pH κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, σύμφωνα με το μοντέλο Gompertz.

3.6.2 Μεταβολή pH κατά τη διάρκεια της ζύμωσης γιαουρτιών με εφαρμογή PEF

Παρακάτω παρουσιάζονται, όπως προέκυψαν έπειτα από προσαρμογή των δεδομένων στο μοντέλο Gompertz, οι καμπύλες pH κατά τη διάρκεια της ζύμωσης γιαουρτιών από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα έντονης θερμικής κατεργασίας (95°C-5 min), με εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων.



Διάγραμμα 3.6.2.1 - Μεταβολή pH με το χρόνο κατά τη ζύμωση γιαουρτιού από πλήρες γάλα, το οποίο έχει υποβληθεί σε κατεργασία με PEF



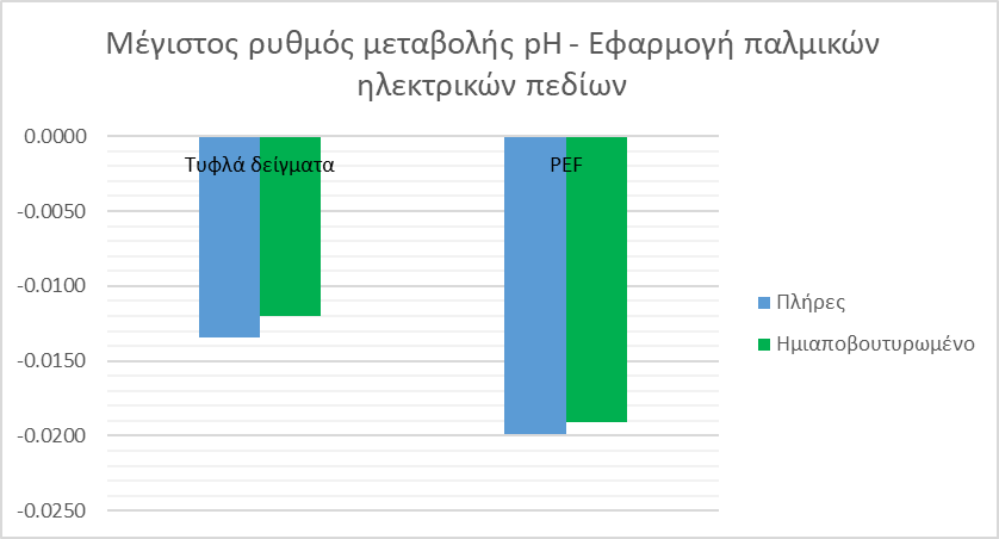
Διάγραμμα 3.6.2.2 - Μεταβολή pH με το χρόνο κατά τη ζύμωση γιαουρτιού από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, το οποίο έχει υποβληθεί σε κατεργασία με PEF

Όπως φαίνεται στα διαγράμματα, τα δεδομένα του pH έχουν προσαρμοστεί στο μοντέλο Gompertz, από το οποίο μπορούν να διακριθούν οι τρεις φάσεις της ζύμωσης. Αρχικά, το pH μειώνεται με αργό ρυθμό, έπειτα μειώνεται με τον μέγιστο ρυθμό, λόγω της δράσης και των δύο βακτηρίων της καλλιέργειας εκκίνησης και τέλος παρατηρείται πιο αργή μείωσή του, που σημαίνει ότι η ζύμωση βρίσκεται στη στατική φάση.

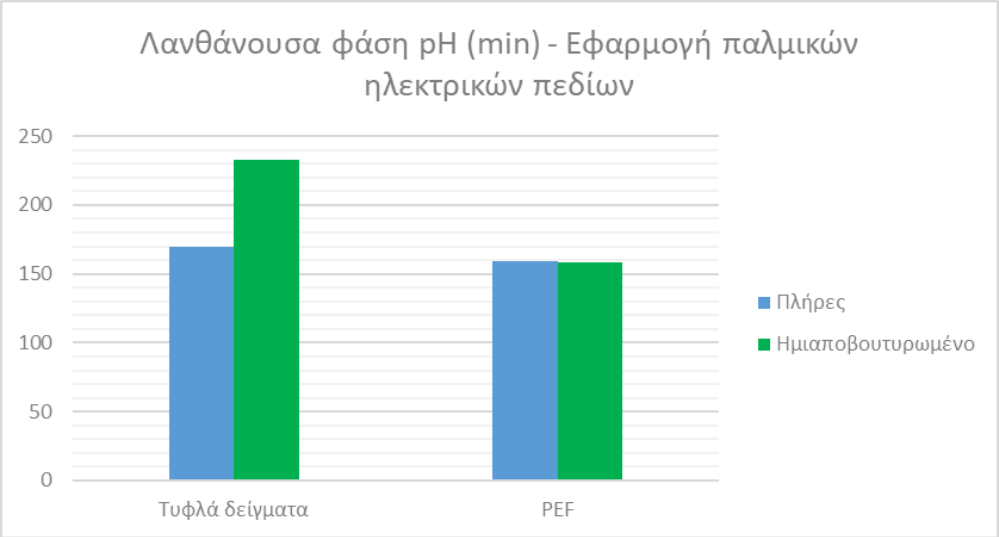
Στις επόμενες υποενότητες μελετώνται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το μοντέλο Gompertz για τις τιμές του ρυθμού μεταβολής pH, καθώς και για τη λανθάνουσα φάση του. Τέλος, σημειώνεται ότι η προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στο μοντέλο Gompertz ήταν καλή (R^2>0.99) και για τη σειρά πειραμάτων που περιελάμβανε εφαρμογή PEF.

3.6.3 Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH και λανθάνουσα φάση pH των γιαουρτιών με εφαρμογή PEF

Στην υποενότητα αυτή εξετάζονται ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH (μ_{pH}) και η λανθάνουσα φάση του (λ_{pH}), όπως προέκυψαν από την προσαρμογή στο μοντέλο Gompertz. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα που προέκυψαν για τα δύο αυτά μεγέθη έπειτα από τα πειράματα στα οποία παρήχθησαν γιαούρτια από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα έντονης θερμικής κατεργασίας (95°C-5 min), με εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων.



Διάγραμμα 3.6.3.1 – Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH των γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με εφαρμογή PEF



Διάγραμμα 3.6.3.2 – Λανθάνουσα φάση pH (min) των γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με εφαρμογή PEF

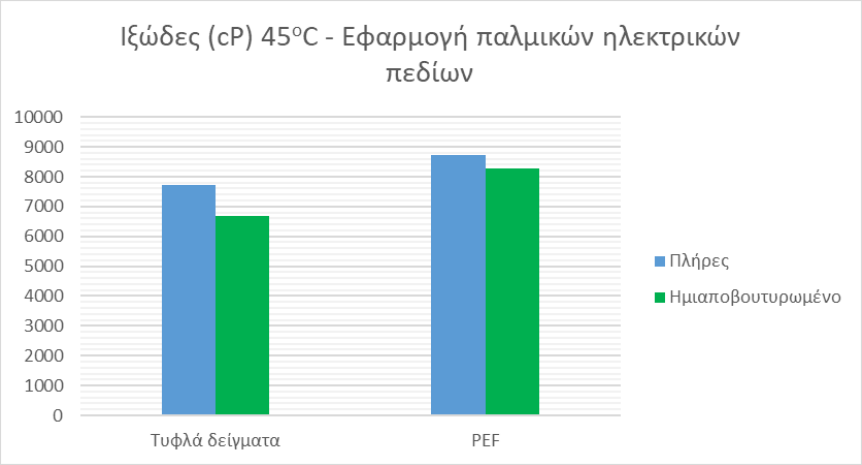
Αρχικά, παρατηρείται ότι, όπως συνέβη και στα συμβατικά γιαούρτια, τα γιαούρτια από πλήρες γάλα εμφάνισαν μεγαλύτερο ρυθμό μείωσης του pH σε σχέση με τα αντίστοιχα από ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Επίσης, και για τα δύο είδη γιαουρτιών, η απόλυτη τιμή του ρυθμού μείωσης pH αυξήθηκε σε σχέση με τα συμβατικά γιαούρτια, κάτι που είναι λογικό αφού η αιτία μείωσης του pH, δηλαδή η μετατροπή της λακτόζης σε γαλακτικό οξύ έγινε ταχύτερα.

Όσον αφορά τη λανθάνουσα φάση του pH (λ_{pH}), αυτή ήταν μεγαλύτερη στα γιαούρτια από πλήρες γάλα, κάτι που δεν παρατηρήθηκε στα συμβατικά γιαούρτια. Επιπλέον, για τα γιαούρτια από πλήρες γάλα, η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης μειώθηκε ελαφρώς σε σχέση με αυτήν του τυφλού δείγματος, ενώ στο γιαούρτι από ημιαποβουτυρωμένο παρουσιάστηκε ακόμα μεγαλύτερη μείωσή της.

Η στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε ότι η εφαρμογή PEF στο γιαούρτι επηρέασε σημαντικά τόσο το ρυθμό μείωσης του pH όσο και τη διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του. Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 3.6.1, ο λόγος που η κατεργασία με PEF αύξησε το ρυθμό μείωσης του pH και μείωσε τη διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του φαίνεται να είναι η ενίσχυση της μεταβολικής δραστηριότητας των βακτηρίων, κάτι που σημαίνει ότι η μετατροπή της λακτόζης σε γαλακτικό οξύ έλαβε χώρα πιο γρήγορα.

3.6.4 Ιξώδες στους 45°C γιαουρτιών με εφαρμογή PEF

Το ιξώδες κάθε δείγματος μετρήθηκε με το πέρας της ζύμωσης σε θερμοκρασία 45°C, πριν την αποθήκευση του δείγματος στο ψυγείο. Παρακάτω, παρατίθενται τα διαγράμματα του ιξώδους στο τέλος της ζύμωσης για τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα έντονης θερμικής κατεργασίας (95°C-5 min), με εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων.



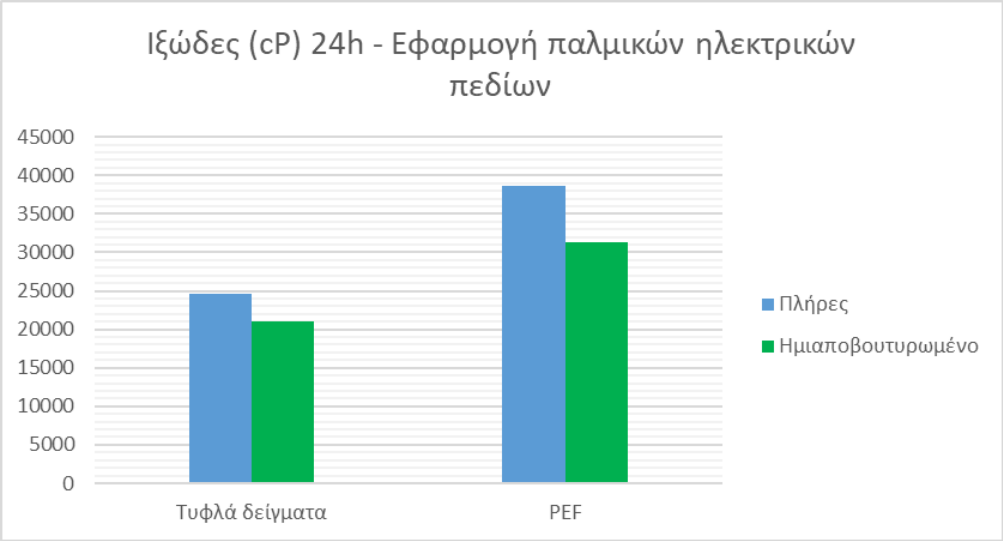
Διάγραμμα 3.6.4.1 – Ιξώδες (cP) στο τέλος της ζύμωσης (45°C) γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με εφαρμογή PEF

Από το διάγραμμα 3.6.4.1 αρχικά παρατηρείται ότι το ιξώδες στους 45°C παρέμεινε υψηλότερο στα γιαούρτια πλήρους γάλακτος σε σχέση με εκείνα από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, όπως συνέβη και στα συμβατικά γιαούρτια. Επιπλέον, για το γιαούρτι από πλήρες γάλα παρατηρείται αύξηση του ιξώδους του στους 45°C σε σχέση με το τυφλό δείγμα, όπως συμβαίνει και με το γιαούρτι από ημιαποβουτυρωμένο γάλα.

Πάντως, από τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε ότι η κατεργασία με PEF δεν είχε σημαντική επίδραση στο ιξώδες των γιαουρτιών στο τέλος της ζύμωσης στους 45°C.

3.6.5 Ιξώδες 24h (στους 4°C) γιαουρτιών με εφαρμογή PEF

Μετά από αποθήκευση του κάθε δείγματος στο ψυγείο στους 4°C για 24h, γινόταν μέτρηση του ιξώδους του. Στην υποενότητα αυτή παρατίθενται τα διαγράμματα του ιξώδους στο τέλος της ζύμωσης για τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα έντονης θερμικής κατεργασίας (95°C-5 min), με εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων.



Διάγραμμα 3.6.5.1 - Ιξώδες (cP) μετά από την αποθήκευση για 24h στους 4°C γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με εφαρμογή PEF

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες γάλα εμφάνισαν μεγαλύτερο ιξώδες σε σχέση με τα αντίστοιχα που παρασκευάστηκαν από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, τόσο στα συμβατικά γιαούρτια, όσο και σε εκείνα που υποβλήθηκαν σε κατεργασία με PEF.

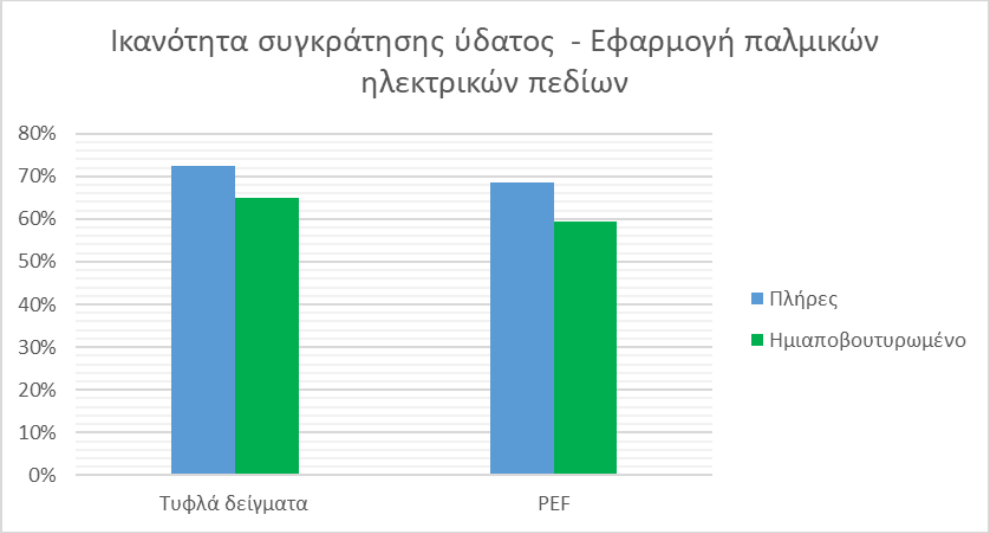
Επιπλέον, τόσο στο γιαούρτι από πλήρες γάλα όσο και σε αυτό από ημιαποβουτυρωμένο παρατηρήθηκε αύξηση στο ιξώδες. Παρόλα αυτά, από τη στατιστική

επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε ότι η κατεργασία με PEF δεν είχε σημαντική επίδραση στο ιξώδες των γιαουρτιών μετά από 24h αποθήκευσής τους στους 4°C.

Από τα παραπάνω μπορεί να βγει το συμπέρασμα ότι οι μεταβολές που προκαλούν τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία επηρεάζουν κυρίως το μεταβολισμό της λακτόζης, άρα και το χρόνο ζύμωσης, ενώ δεν φαίνεται να επιδρούν σημαντικά στο σχηματισμό του πήγματος, αφού το ιξώδες τόσο μετά τη ζύμωση, όσο και μετά την αποθήκευση του γιαουρτιού δεν επηρεάστηκε σημαντικά.

3.6.6 Ικανότητα συγκράτησης ύδατος γιαουρτιών με εφαρμογή PEF

Στην υποενότητα αυτή παρατίθενται τα αποτελέσματα σχετικά με την ικανότητα συγκράτησης ύδατος των γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα έντονης θερμικής κατεργασίας (95°C-5 min), με εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων. Η μέτρησή της έγινε με φυγοκέντρηση των γιαουρτιών μετά από την αποθήκευσή τους στους 4°C για 24h.



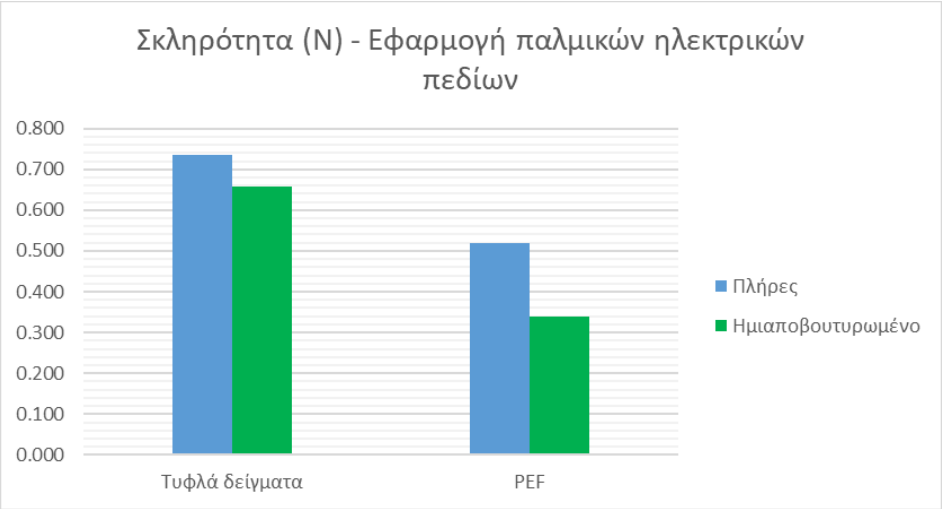
Διάγραμμα 3.6.6.1 – Ικανότητα συγκράτησης ύδατος γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με εφαρμογή PEF

Από το παραπάνω διάγραμμα, αρχικά επιβεβαιώνεται η παρατήρηση που είχε γίνει και σε προηγούμενη ενότητα, ότι τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες γάλα διέθεταν μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης ύδατος σε σχέση με εκείνα από ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Τα γιαούρτια που παρήχθησαν με εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων φαίνεται να εμφάνισαν ελαφρώς χαμηλότερη ικανότητα συγκράτησης ύδατος, κάτι που παρατηρείται και για το γιαούρτι από πλήρες γάλα και για αυτό από ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Η στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε ότι η εφαρμογή PEF στο γιαούρτι δεν επηρέασε σημαντικά την ικανότητα συγκράτησης ύδατος.

3.6.7 Ανάλυση αντικειμενικής υφής γιαουρτιών με εφαρμογή PEF: Σκληρότητα, Συνεκτικότητα, Προσκολλησιμότητα

Παρακάτω αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις παραμέτρους αντικειμενικής υφής των γιαουρτιών που παρασκευάστηκαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα έντονης θερμικής κατεργασίας (95°C-5 min), με εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων.

Αρχικά, εξετάστηκε η παράμετρος της σκληρότητας του γιαουρτιού, τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται παρακάτω.

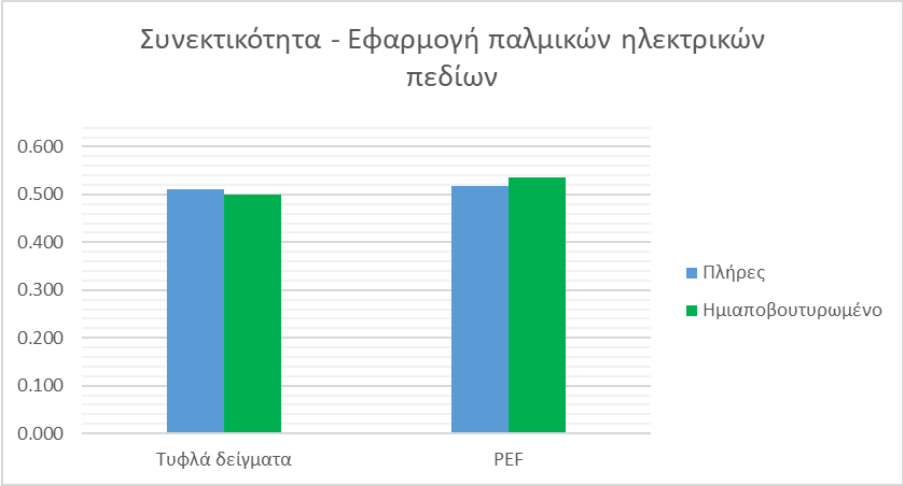


Διάγραμμα 3.6.7.1 - Σκληρότητα γιαουρτιών από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με εφαρμογή PEF

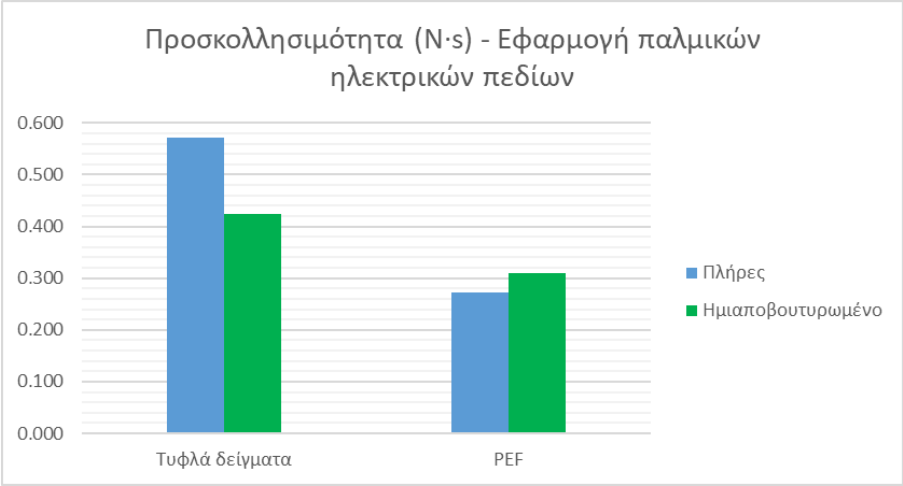
Από το παραπάνω διάγραμμα μπορεί να γίνει η παρατήρηση ότι τα γιαούρτια που παρήχθησαν από πλήρες γάλα εμφάνισαν μεγαλύτερη σκληρότητα σε όλες τις περιπτώσεις.

Τα γιαούρτια πλήρους γάλακτος στα οποία έγινε εφαρμογή PEF παρουσίασαν χαμηλότερη σκληρότητα σε σχέση με τα συμβατικά γιαούρτια. Όσον αφορά τα γιαούρτια από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, σε αυτά παρουσιάστηκε ακόμη μεγαλύτερη διαφοροποίηση, καθώς η σκληρότητά τους παρουσίασε μεγαλύτερη μείωση σε σχέση με τα συμβατικά γιαούρτια. Παρόλα αυτά, από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε ότι η εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων δεν επηρέασε σημαντικά τη σκληρότητα του τελικού προϊόντος.

Ακολούθως, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις άλλες δύο παραμέτρους της αντικειμενικής υφής του γιαουρτιού, τη συνεκτικότητα και την προσκολλησιμότητά του.



Διάγραμμα 3.6.7.2 – Συνεκτικότητα γιαουρτιών από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με εφαρμογή PEF



Διάγραμμα 3.6.7.3 - Προσκολλησιμότητα γιαουρτιών από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα (α) με συμβατική παραγωγή, (β) με εφαρμογή PEF

Όπως παρατηρείται στο διάγραμμα 3.6.7.2, στα πειράματα όπου εφαρμόστηκαν παλμικά ηλεκτρικά πεδία, η συνεκτικότητα ήταν μεγαλύτερη στα γιαούρτια ημιαποβουτυρωμένου γάλακτος σε σχέση με τα αντίστοιχα γιαούρτια πλήρους, κάτι που δεν παρατηρήθηκε στα συμβατικά γιαούρτια.

Στα γιαούρτια από πλήρες γάλα με κατεργασία PEF παρατηρείται ότι η συνεκτικότητα παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητη, όπως και στα αντίστοιχα από ημιαποβουτυρωμένο γάλα, αν και στην περίπτωση αυτή παρατηρείται λίγο μεγαλύτερη διαφοροποίηση. Σε γενικές γραμμές όμως, φαίνεται τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία να μην επηρέασαν σημαντικά την συνεκτικότητα των γιαουρτιών, κάτι που επιβεβαιώνεται και από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), από την οποία προέκυψε ότι η εφαρμογή τους δεν διαφοροποίησε σημαντικά τη συνεκτικότητα του τελικού προϊόντος.

Όσον αφορά την προσκολλησιμότητα, παρατηρείται πως στα πειράματα με PEF ήταν υψηλότερη για τα γιαούρτια με τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε λιπαρά, σε αντίθεση με τα συμβατικά γιαούρτια.

Επίσης, στα πειράματα όπου έλαβε χώρα εφαρμογή PEF η συγκεκριμένη παράμετρος παρουσίασε μεγάλη μείωση και στα δύο είδη γιαουρτιού. Τη χαμηλότερη τιμή προσκολλησιμότητας εμφάνισε το γιαούρτι από πλήρες γάλα με εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων. Ωστόσο, η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε ότι η εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων δεν επηρέασε σημαντικά την προσκολλησιμότητα των γιαουρτιών.

3.7 Ανάλυση κύριων συνιστωσών (Principal Component Analysis – PCA)

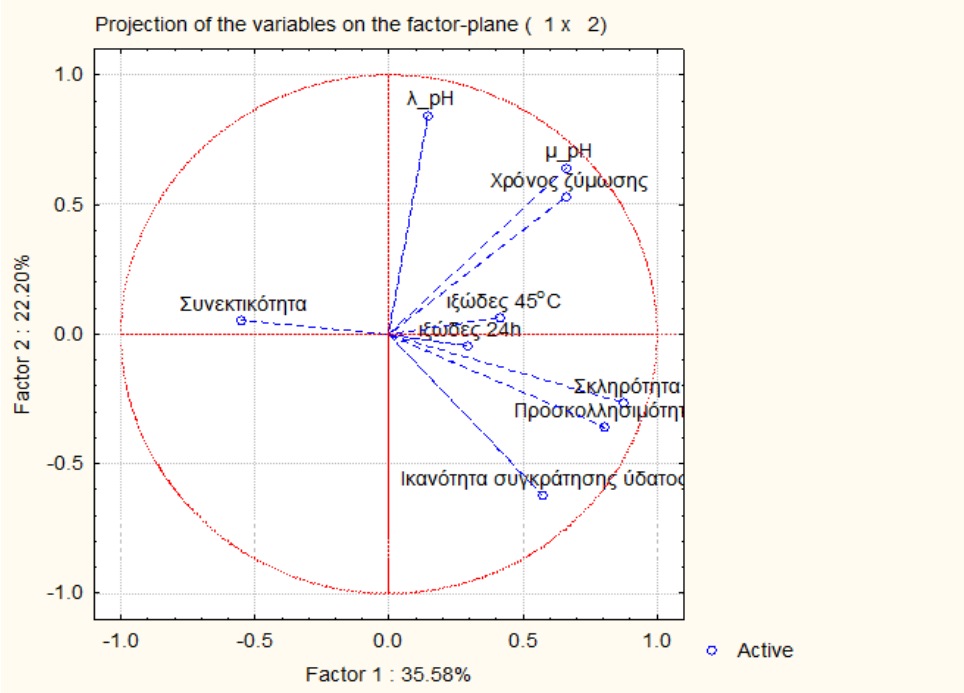
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η ανάλυση των κύριων συνιστωσών που αφορούν όλα συνολικά τα πειράματα που έγιναν. Η στατιστική ανάλυση υπέδειξε τις παραμέτρους του γιαουρτιού που είχαν σημαντική επίδραση στις κύριες συνιστώσες και ποιες από τις παραμέτρους ήταν συσχετίσιμες.

Αρχικά, στον παρακάτω πίνακα υπενθυμίζεται ο αριθμός που αντιπροσωπεύει κάθε πείραμα.

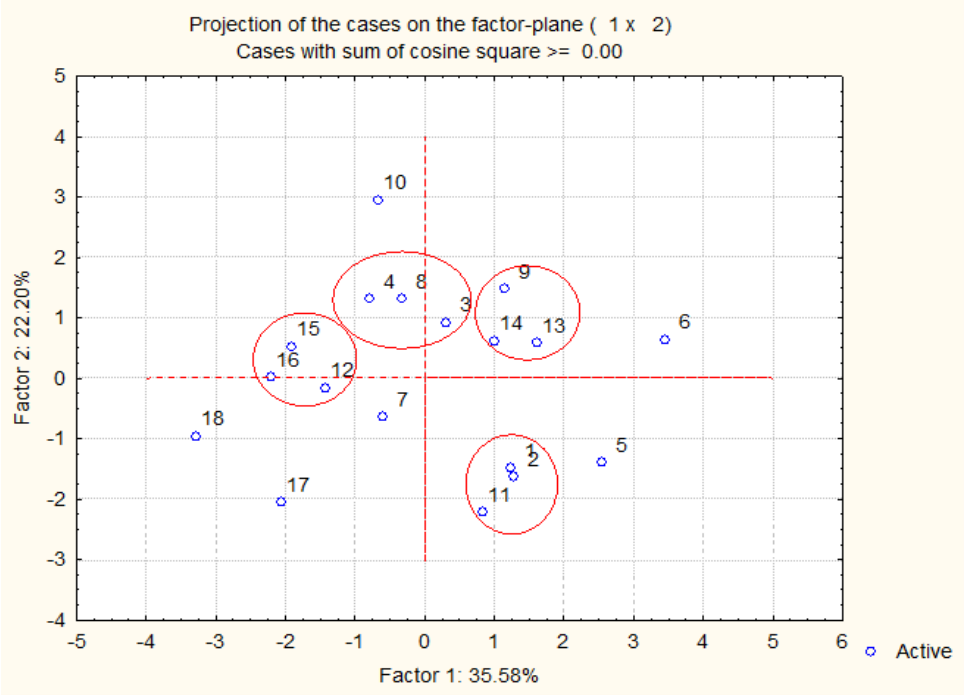
Πίνακας 3.7.1 – Αύξων αριθμός των πειραμάτων που διεξήχθησαν, όπως φαίνεται στο διάγραμμα κύριων συνιστωσών PCA

1: Πλήρες γάλα (95°C-5 min)	**7:** Πλήρες γάλα (95°C-5 min) – US μετά τη ζύμωση	**13:** Πλήρες γάλα (95°C-5 min) – UHP 200 MPa
2: Πλήρες γάλα (83°C-20 min)	**8:** Ημιαποβουτυρωμένο γάλα (95°C-5 min) – US πριν τη ζύμωση	**14:** Πλήρες γάλα (95°C-5 min) – UHP 600 MPa
3: Ημιαποβουτυρωμένο γάλα (95°C-5 min)	**9:** Ημιαποβουτυρωμένο γάλα (95°C-5 min) – US κατά τη ζύμωση	**15:** Ημιαποβουτυρωμένο γάλα (95°C-5 min) – UHP 200 MPa
4: Ημιαποβουτυρωμένο γάλα (83°C-20 min)	**10:** Ημιαποβουτυρωμένο γάλα (95°C-5 min) – US μετά τη ζύμωση	**16:** Ημιαποβουτυρωμένο γάλα (95°C-5 min) – UHP 600 MPa
5: Πλήρες γάλα (95°C-5 min) – US πριν τη ζύμωση	**11:** Πλήρες γάλα (95°C-5 min) – Προβιοτικά βακτήρια	**17:** Πλήρες γάλα (95°C-5 min) – PEF
6: Πλήρες γάλα (95°C-5 min) – US κατά τη ζύμωση	**12:** Ημιαποβουτυρωμένο γάλα (95°C-5 min) – Προβιοτικά βακτήρια	**18:** Ημιαποβουτυρωμένο γάλα (95°C-5 min) – PEF

Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα που προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση κύριων συνιστωσών.



Διάγραμμα 3.6.7.1 – Ανάλυση κύριων συνιστωσών για τα χαρακτηριστικά των γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη ή ήπια θερμική κατεργασία, με εφαρμογή ή χωρίς μίας καινοτόμου τεχνολογίας



Διάγραμμα 3.6.7.2 - Ανάλυση κύριων συνιστωσών για τα διαφορετικά πειράματα των γιαουρτιών που παρήχθησαν από πλήρες ή ημιαποβουτυρωμένο γάλα, με έντονη ή ήπια θερμική κατεργασία, με εφαρμογή ή χωρίς μιας καινοτόμου τεχνολογίας

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι το πείραμα παραγωγής γιαουρτιού με τις προαναφερθείσες μεθόδους έδειξε δύο κύριες συνιστώσες με ποσοστό 57.78% (Factor 1: 35.58%, Factor 2: 22.20%) συνεισφοράς στην ολική διακύμανση του πειράματος.

Από το πρώτο διάγραμμα μπορεί να παρατηρηθεί ότι στην πρώτη κύρια συνιστώσα σημαντική επίδραση είχαν η συνεκτικότητα, το ιξώδες κατά το τέλος της ζύμωσης (στους 45°C), το ιξώδες μετά από αποθήκευση του γιαουρτιού στους 4°C για 24h και η σκληρότητα. Από την άλλη, στη δεύτερη κύρια συνιστώσα σημαντική επίδραση είχε η λανθάνουσα φάση του pH. Επίσης, παρατηρείται ότι οι παράμετροι σκληρότητα και προσκολλησιμότητα εμφάνισαν μεγάλη συσχέτιση, όπως επίσης και το ιξώδες στο τέλος της ζύμωσης με το ιξώδες μετά την αποθήκευση του γιαουρτιού στο ψυγείο για 24h, αλλά και ο ρυθμός μείωσης του pH (μ_{pH}) με το χρόνο ζύμωσης.

Από το δεύτερο διάγραμμα παρατηρείται ότι τα πειράματα 1,2 και 11 αποτελούν μία ομάδα. Τα πειράματα αυτά περιλάμβαναν παραγωγή γιαουρτιού από πλήρες γάλα χωρίς χρήση κάποιας καινοτόμου τεχνολογίας, με έντονη (95°C-5 min) θερμική κατεργασία, με ήπια (83°C-20 min) θερμική κατεργασία και με προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων. Στα εν λόγω πειράματα εμφανίστηκαν κάποια κοινά στοιχεία όπως σχετικά μικρός χρόνος ζύμωσης, υψηλός ρυθμός μείωσης του pH και μικρή διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του (κυρίως στα 2 και 11), αυξημένη ικανότητα συγκράτησης ύδατος (κυρίως στα 1 και 11) και υψηλή προσκολλησιμότητα. Επίσης, τα πειράματα 3 (ημιαποβουτυρωμένο γάλα, 95°C-5 min), 4 (ημιαποβουτυρωμένο γάλα, 83°C-20 min) και 8 (ημιαποβουτυρωμένο γάλα, US πριν τη ζύμωση, 95°C-5 min) εμφάνισαν χαμηλό ιξώδες τόσο στο τέλος της ζύμωσης, όσο και μετά την αποθήκευση του γιαουρτιού για 24h. Τα άλλα κοινά χαρακτηριστικά τους ήταν ο χαμηλός ρυθμός μείωσης του pH και η μεγάλη σε διάρκεια λανθάνουσα φάση του. Επιπλέον, ομάδα αποτελούν και τα πειράματα 12 (ημιαποβουτυρωμένο γάλα, προβιοτικά, 95°C-5 min), 15 (ημιαποβουτυρωμένο γάλα, UHP 200 MPa, 95°C-5 min) και 16 (ημιαποβουτυρωμένο γάλα, UHP 600 MPa, 95°C-5 min). Αυτά εμφάνισαν μέτριες τιμές ιξώδους και μειωμένη ικανότητα συγκράτησης ύδατος. Όσον αφορά τις παραμέτρους αντικειμενικής υφής, η σκληρότητα και η προσκολλησιμότητά τους ήταν χαμηλές, ενώ η συνεκτικότητά τους υψηλή. Τέλος, τα πειράματα 9 (ημιαποβουτυρωμένο γάλα, US κατά τη ζύμωση, 95°C-5 min), 13 (πλήρες γάλα, UHP 200 MPa, 95°C-5 min) και 14 (πλήρες γάλα, UHP 600 MPa, 95°C-5 min) παρουσίασαν σχετικά χαμηλό ρυθμό μείωσης του pH, υψηλό ιξώδες και χαμηλή συνεκτικότητα.

4 Συμπεράσματα – προτάσεις

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν πειράματα με σκοπό την παραγωγή συνεκτικού γιαουρτιού με χρήση συμβατικών και καινοτόμων τεχνολογιών και τη μελέτη των μεταβολών που αυτές προκαλούν στις παραμέτρους της ζύμωσης και στις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Αρχικά, παρασκευάστηκαν γιαούρτια με τη συμβατική μέθοδο. Έπειτα, παρήχθησαν γιαούρτια με προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων. Ακολούθως, έγινε χρήση υπερήχων πριν τη ζύμωση, κατά τη διάρκειά της και μετά την ολοκλήρωσή της. Τέλος, μελετήθηκε η επίδραση της υπερυψηλής πίεσης και των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων.

Στα πειράματα στα οποία έγινε παραγωγή γιαουρτιού χωρίς τη χρήση κάποιας νέας τεχνολογίας εξετάστηκε η επίδραση του είδους του γάλακτος και της θερμικής του κατεργασίας στη ζύμωση και στις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι το είδος του γάλακτος επηρεάζει σημαντικά τις παραμέτρους της ζύμωσης, καθώς η χρήση πλήρους γάλακτος οδήγησε σε μεγαλύτερο ρυθμό μείωσης του pH και σε μείωση της διάρκειας της λανθάνουσας φάσης τόσο του pH, όσο και του ιξώδους. Επίσης, τα γιαούρτια από πλήρες γάλα παρουσίασαν μεγαλύτερο ιξώδες στο τέλος της ζύμωσης και ενισχυμένη ικανότητα συγκράτησης ύδατος. Από την άλλη, η έντονη θερμική κατεργασία του γάλακτος δεν επηρέασε σημαντικά τη ζύμωση. Ωστόσο, όσον αφορά τα τελικά χαρακτηριστικά του γιαουρτιού, αυτή βοήθησε στην αύξηση του ιξώδους στο τέλος της ζύμωσης και στην ενίσχυση της ικανότητας συγκράτησης ύδατος στο πήγμα.

Η προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων οδήγησε σε μειωμένο χρόνο ζύμωσης και συνέβαλε στην αύξηση του ιξώδους που έχει το πήγμα στο τέλος της ζύμωσης, αλλά και του τελικού ιξώδους (μετά από την αποθήκευσή του στους 4°C για 24h). Όσον αφορά τις αντικειμενικές παραμέτρους υφής, τα προβιοτικά βακτήρια προκάλεσαν μείωση της προσκολλησιμότητας του γιαουρτιού.

Η εφαρμογή υπερήχων κατά την προεπεξεργασία του γάλακτος και κατά τη διάρκεια της ζύμωσης προκάλεσε σημαντική αύξηση του χρόνου ζύμωσης. Ειδικότερα, η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρήθηκε με τη χρήση υπερήχων κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι στα εν λόγω πειράματα έγινε εφαρμογή υπερήχων τρεις φορές, με συνέπεια η επίδρασή τους στο γιαούρτι να είναι πιο έντονη, αλλά και να προκαλείται διατάραξη στο πήγμα, λόγω της μεταφοράς του από τον επωαστήρα στο υδατόλουτρο. Από την άλλη, οι υπέρηχοι οδήγησαν σε γιαούρτι υψηλότερου ιξώδους στο τέλος της ζύμωσης και μετά από την αποθήκευσή του σε ψύξη. Η μεγαλύτερη αύξηση του ιξώδους επετεύχθη με την εφαρμογή υπερήχων κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Όμως, λόγω της διατάραξης του πήγματος, το τελικό γιαούρτι παρουσίασε μειωμένη ικανότητα συγκράτησης ύδατος. Κάτι τέτοιο δεν παρατηρήθηκε στα γιαούρτια στα οποία η εφαρμογή

των υπερήχων έγινε πριν τη ζύμωση. Αντιθέτως, σε αυτά το ιξώδες αυξήθηκε, ενώ η ικανότητα συγκράτησης ύδατος παρέμεινε σχεδόν σταθερή. Επομένως, από τη σειρά πειραμάτων με υπερήχους τα καλύτερα αποτελέσματα είχε η εφαρμογή τους πριν από τη ζύμωση.

Με την εφαρμογή της υπερυψηλής πίεσης επετεύχθη σημαντική αύξηση στο τελικό ιξώδες του γιαουρτιού. Όσο πιο έντονη ήταν η κατεργασία, τόσο μεγαλύτερη ήταν η αύξηση του ιξώδους. Η μέθοδος επηρέασε και την αντικειμενική υφή του γιαουρτιού, καθώς προκάλεσε μείωση της προσκολλησιμότητάς του.

Τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία μπορεί να μην επηρέασαν σημαντικά κάποια από τις ιδιότητες του τελικού γιαουρτιού, άσκησαν όμως σημαντική επιρροή στις παραμέτρους της ζύμωσης και στο χρόνο που αυτή διαρκεί. Συγκεκριμένα, οδήγησαν σε μεγάλη μείωση του χρόνου ζύμωσης και, σε σχέση με τα συμβατικά γιαούρτια και τις υπόλοιπες τεχνολογίες που εφαρμόστηκαν, προκάλεσαν τη μεγαλύτερη μείωσή του. Επιπλέον, μειώθηκε η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του pH και αυξήθηκε ο ρυθμός μεταβολής του. Συνεπώς, φαίνεται ότι τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία μπορούν να χρησιμοποιηθούν με στόχο τη μείωση του χρόνου ζύμωσης του γιαουρτιού.

Περαιτέρω έρευνα μπορεί να γίνει πάνω στην εφαρμογή των υπερήχων, της υπερυψηλής πίεσης και των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στο γιαούρτι, καθώς αποτελούν σχετικά νέες τεχνολογίες. Συγκεκριμένα, για κάθε μέθοδο μπορεί να εφαρμοστεί ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών συνθηκών κατεργασίας, ώστε να διαπιστωθεί ο συνδυασμός που θα δίνει τα βέλτιστα αποτελέσματα. Οι υπέρηχοι, για παράδειγμα μπορούν να εφαρμοστούν σε μεγαλύτερη συχνότητα, ενώ τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία σε υψηλότερη ένταση ηλεκτρικού πεδίου και αριθμό παλμών. Για την τελευταία μέθοδο μάλιστα, θα είχε ενδιαφέρον να ερευνηθούν τα αποτελέσματά της αν εφαρμοζόταν όχι στο γάλα, αλλά απευθείας στην οξυγαλακτική καλλιέργεια, όπως έγινε από τους (Chanos *et al.*, 2020), με θετικά αποτελέσματα ως προς το χρόνο ζύμωσης, ο οποίος μειώθηκε. Επίσης, πρέπει να ερευνηθεί περαιτέρω η χρήση των τεχνολογιών που εφαρμόστηκαν στην εργασία μαζί με κάποια ήπια θερμική μέθοδο, καθώς οι υπάρχουσες μελέτες πάνω στο συνδυασμό τους έχουν δείξει ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Επιπλέον, ιδιαίτερα σημαντική είναι και η μελέτη των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των παραγόμενων γιαουρτιών, ώστε να διαπιστωθεί ο βαθμός αποδοχής τους από το καταναλωτικό κοινό. Τέλος, απαραίτητη είναι η έρευνα σχετικά με την εφαρμογή των τεχνολογιών αυτών σε βιομηχανική κλίμακα (scale-up). Χρειάζονται δηλαδή έρευνες, οι οποίες θα παρέχουν στοιχεία πάνω σε θέματα όπως η απόδοση, το κόστος, η αποτελεσματικότητα και η βιωσιμότητα μίας πιθανής βιομηχανικής χρήσης τους, ώστε να διαπιστωθεί αν μπορούν να αποτελέσουν εναλλακτικές λύσεις των μέχρι σήμερα χρησιμοποιούμενων μεθόδων.

Βιβλιογραφία

Akdeniz, V. and Akalın, A. S. (2019) 'New approach for yoghurt and ice cream production: High-intensity ultrasound', *Trends in Food Science and Technology*, 86(July 2018), pp. 392–398. doi: 10.1016/j.tifs.2019.02.046.

Capellas, M. *et al.* (2002) 'Effect of high pressure on the consumer liking and preference of yoghurt', *High Pressure Research*, 22(3–4), pp. 701–704. doi: 10.1080/08957950212418.

Chandan (2006) *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks*.

Chandrapala, J. *et al.* (2016) 'The effect of sonication and high pressure homogenisation on the properties of pure cream', *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. Elsevier Ltd, 33, pp. 298–307. doi: 10.1016/j.ifset.2015.11.023.

Chanos, P. *et al.* (2020) 'Application of mild pulsed electric fields on starter culture accelerates yogurt fermentation', *European Food Research and Technology*. Springer Berlin Heidelberg, 246(3), pp. 621–630. doi: 10.1007/s00217-020-03428-9.

Ciron, C. I. E. *et al.* (2010) 'Comparison of the effects of high-pressure microfluidization and conventional homogenization of milk on particle size, water retention and texture of non-fat and low-fat yoghurts', *International Dairy Journal*. Elsevier Ltd, 20(5), pp. 314–320. doi: 10.1016/j.idairyj.2009.11.018.

Ciron, C. I. E. *et al.* (2011) 'Effect of microfluidization of heat-treated milk on rheology and sensory properties of reduced fat yoghurt', *Food Hydrocolloids*. Elsevier Ltd, 25(6), pp. 1470–1476. doi: 10.1016/j.foodhyd.2011.02.012.

Dalgleish, D. J. and Law, A. J. R. (1988) 'pH-Induced dissociation of bovine casein micelles. I. Analysis of liberated caseins', *Journal of Dairy Research*, 55(4).

Dunne, C. *et al.* (2001) 'In vitro selection criteria for probiotic bacteria of human origin: Correlation with in vivo findings', *American Journal of Clinical Nutrition*, 73(2 SUPPL.), pp. 386–392. doi: 10.1093/ajcn/73.2.386s.

El-Abbadi, N. H., Dao, M. C. and Meydani, S. N. (2014) 'Yogurt: Role in healthy and active aging', *American Journal of Clinical Nutrition*, 99(5), pp. 1263–1270. doi: 10.3945/ajcn.113.073957.

Ferragut, V. *et al.* (2000) 'Properties of yogurt made from whole ewe's milk treated by high hydrostatic pressure', *Milchwissenschaft*, 55, pp. 267–269.

Fisberg, M. and Machado, R. (2015) 'History of yogurt and current patterns of consumption', (July). doi: 10.1093/nutrit/nuv020.

Florou-Paneri, P., Christaki, E. and Bonos, E. (2013) 'Lactic Acid Bacteria as Source of Functional Ingredients', *Lactic Acid Bacteria - R & D for Food, Health and Livestock Purposes*. doi: 10.5772/47766.

Fox, P F; McSweeney, P. L. H. (1998) *Dairy Chemistry and Biochemistry*.

Fox, P. F. (2003) 'MILK PROTEINS : GENERAL AND HISTORICAL ASPECTS', 1.

Glicksman, M. (1982) *Food Hydrocolloids*. New York: CRC Press.

González-Martínez, C. *et al.* (2002) 'Influence of substituting milk powder for whey powder on yoghurt quality', 13, pp. 334–340.

Grahl, T. and Märkl, H. (1996) 'Killing of micro-organisms by pulsed electric fields. Applied Microbiology and Biotechnology', *Applied Microbiology and Biotechnology*, 45, pp. 148–157.

Guinee, T. . (1995) 'Physical properties of stirred-curd unsweetened yoghurts stabilised with different dairy ingredients', *Milchwissenschaft*, pp. 196–200.

Gursoy, O. *et al.* (2016) 'Effect of ultrasound power on physicochemical and rheological properties of yoghurt drink produced with thermosonicated milk', *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(4), pp. 235–241. doi: 10.9755/ejfa.2015-09-719.

Harte, F. *et al.* (2003) 'Low-fat set yogurt made from milk subjected to combinations of high hydrostatic pressure and thermal processing', *Journal of Dairy Science*, 86(4), pp. 1074–1082. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73690-X.

Hewitt, D. and Bancroft, H. J. (1985) *Nutritional Value of Yogurt*. Third edit, *Journal of Dairy Research*. Third edit. Woodhead Publishing Limited. doi: 10.1017/S002202990002402X.

Higuera-Barraza, O. A. *et al.* (2016) 'Effects of high-energy ultrasound on the functional properties of proteins', *Ultrasonics Sonochemistry*. Elsevier B.V., 31, pp. 558–562. doi: 10.1016/j.ultsonch.2016.02.007.

Hongyu, W., Hulbert, G. J. and Mount, J. R. (2000) 'Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter', *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 1(3), pp. 211–218. doi: 10.1016/S1466-8564(00)00020-5.

Hyvönen, L. and Slotte, M. (1983) 'Alternative sweetening of yoghurt', *International Journal of Food Science & Technology*, 18(1), pp. 97–112. doi: 10.1111/j.1365-2621.1983.tb00248.x.

Isolauri, E. (2004) 'Dietary modification of atopic disease: Use of probiotics in the prevention of atopic dermatitis', *Current Allergy and Asthma Reports*, 4(4), pp. 270–275. doi: 10.1007/s11882-004-0070-9.

Jenness, R. (1988) 'Composition of Milk'.

Johnston, D. E. and Murphy, R. J. (1994) 'Stirred-style yoghurt-type product prepared from

pressure treated skim-milk', *High Pressure Research*, 12(4–6), pp. 215–219. doi: 10.1080/08957959408201660.

Kailasapathy, K. (2008) *Dairy Ingredients for Food Processing*. Wiley-Blackwell.

Kopp-Hoolihan, L. (2001) 'Prophylactic and therapeutic uses of probiotics: a review.', *Journal of the American Dietetic Association*. United States, 101(2), pp. 229–241. doi: 10.1016/S0002-8223(01)00060-8.

De Kruif, C. G. and Holt, C. (2003) 'Casein micelle structure, functions and interactions', 1.

Lee, W. J. and Lucey, J. A. (2010) 'Formation and Physical Properties of Yogurt', 23(9), pp. 1127–1136.

Lopez-Fandiño, R., Carrascosa, A. V. and Olano, A. (1996) 'The Effects of High Pressure on Whey Protein Denaturation and Cheese-Making Properties of Raw Milk', *Journal of Dairy Science*, 79(6), pp. 929–936. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(96)76443-3.

Martini, M. C. *et al.* (1987) 'Lactose digestion by yogurt β-galactosidase: influence of pH and microbial cell integrity', *American Journal of Clinical Nutrition*, 45, p. 432.

McKinley, M. C. (2005) 'The nutrition and health benefits of yoghurt', *International Journal of Dairy Technology*, 58(1), pp. 1–12. doi: 10.1111/j.1471-0307.2005.00180.x.

Miller, G. D., Jarvis, J. K. and Mcbean, L. D. (2000) *Handbook of Dairy Foods and Nutrition , Second Edition Library of Congress Cataloging-in-Publication Data*.

Murtey, M. Das and Ramasamy, P. (2016) 'Sample Preparations for Scanning Electron Microscopy – Life Sciences', *Modern Electron Microscopy in Physical and Life Sciences*. doi: 10.5772/61720.

Pereda, J. *et al.* (2007) 'Effects of ultra-high pressure homogenization on microbial and physicochemical shelf Life of milk', *Journal of Dairy Science*. Elsevier, 90(3), pp. 1081–1093. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(07)71595-3.

Plessas, S. *et al.* (2012) 'Potential effects of probiotics in cheese and yogurt production: A review', *Engineering in Life Sciences*, 12(4), pp. 433–440. doi: 10.1002/elsc.201100122.

Pothakamury, U. R. *et al.* (1996) 'Effect of growth stage and processing temperature on the inactivation of E. coli by pulsed electric fields', *Journal of Food Protection*, 59(11), pp. 1167–1171. doi: 10.4315/0362-028X-59.11.1167.

Riener, J. *et al.* (2009) 'The effect of thermosonication of milk on selected physicochemical and microstructural properties of yoghurt gels during fermentation', *Food Chemistry*. Elsevier Ltd, 114(3), pp. 905–911. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.10.037.

de Roos, N. M. and Katan, M. B. (2000) 'Effects of probiotic bacteria on diarrhea, lipid

metabolism, and carcinogenesis: a review of papers published between 1988 and 1998.', *The American journal of clinical nutrition*. United States, 71(2), pp. 405–411. doi: 10.1093/ajcn/71.2.405.

Sampedro, F. *et al.* (2005) 'Quality and safety aspects of PEF application in milk and milk products', *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(1), pp. 25–47. doi: 10.1080/10408690590900135.

Sfakianakis, P., Topakas, E. and Tzia, C. (2014) 'Comparative Study on High-Intensity Ultrasound and Pressure Milk Homogenization: Effect on the Kinetics of Yogurt Fermentation Process', *Food and Bioprocess Technology*, 8(3), pp. 548–557. doi: 10.1007/s11947-014-1412-9.

Sfakianakis, P. and Tzia, C. (2011) 'Yogurt from ultrasound treated milk : monitoring of fermentation process and evaluation of product quality characteristics', *National Technical University of Athens*.

Sfakianakis, P. and Tzia, C. (2014) 'Conventional and Innovative Processing of Milk for Yogurt Manufacture; Development of Texture and Flavor: A Review', *Foods*, 3(1), pp. 176–193. doi: 10.3390/foods3010176.

Shanmugam, A., Chandrapala, J. and Ashokkumar, M. (2012) 'The effect of ultrasound on the physical and functional properties of skim milk', *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. Elsevier Ltd, 16, pp. 251–258. doi: 10.1016/j.ifset.2012.06.005.

Tamime, A. Y. and Deeth, H. C. (1980) 'Yogurt : Technology and Biochemistry Yogurt : Technology and Biochemistry 1', (March 2017). doi: 10.4315/0362-028X-43.12.939.

Tamime, A. Y. and Robinson, R. K. (1999) *Background to manufacturing practice*. Third edit, *Tamime and Robinson's Yoghurt: Science and technology*. Third edit. Woodhead Publishing Limited. doi: 10.1533/9781845692612.13.

Trachoo, N. and Mistry, V. V (1998) 'Application of Ultrafiltered Sweet Buttermilk and Sweet Buttermilk Powder in the Manufacture of Nonfat and Low Fat Yogurts 1', *Journal of Dairy Science*. Elsevier, 81(12), pp. 3163–3171. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(98)75882-5.

Trujillo, A. J. (2002) 'Applications of high-hydrostatic pressure on milk and dairy products', *High Pressure Research*, 22(3–4), pp. 619–626. doi: 10.1080/08957950212449.

Varnam, A. H. and Sutherland, J. P. (1994) *Milk and milk products*. Chapman & Hall.

Villamiel, M. and De Jong, P. (2000) 'Influence of high-intensity ultrasound and heat treatment in continuous flow on fat, proteins, and native enzymes of milk', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(2), pp. 472–478. doi: 10.1021/jf990181s.

Walstra, P., Wouters, J. T. M. and Geurts, T. J. (2006) *Dairy Science and Technology*. New

York: CRC Press.

Weerathilake, W. A. D. V *et al.* (2014) 'The evolution, processing, varieties and health benefits of yogurt', (July).

Yeom, H. W. *et al.* (2004) 'Processing of yogurt-based products with pulsed electric fields: Microbial, sensory and physical evaluations', *Journal of Food Processing and Preservation*, 28(3), pp. 161–178. doi: 10.1111/j.1745-4549.2004.tb00818.x.

Yildez, F. (2009) *Development and Manufacture of Yogurt and Other Functional Dairy Products*. New York: CRC Press.

Παράρτημα

Π.1 Πίνακες στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τις διάφορες παραμέτρους των συμβατικών γιαουρτιών

Πίνακας 1.1 - Αποτελέσματα ANOVA για το χρόνο ζύμωσης των συμβατικών γιαουρτιών

Effect	Univariate Tests of Significance for Χρόνος ζύμωσης (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	278256.3	1	278256.3	367.9421	0.033159
Είδος γάλακτος	56.3	1	56.3	0.0744	0.830499
Θερμική κατεργασία	506.3	1	506.3	0.6694	0.563451
Error	756.2	1	756.2		

Πίνακας 1.2 - Αποτελέσματα ANOVA για το ρυθμό μεταβολής του pH κατά τη ζύμωση των συμβατικών γιαουρτιών

Effect	Univariate Tests of Significance for μ_pH (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.000730	1	0.000730	135878.4	0.001727
Είδος γάλακτος	0.000002	1	0.000002	437.2	0.030424
Θερμική κατεργασία	0.000002	1	0.000002	445.9	0.030125
Error	0.000000	1	0.000000		

Πίνακας 1.3 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή το ρυθμό μεταβολής του pH κατά τη ζύμωση των συμβατικών γιαουρτιών

Cell No.	Duncan test; variable μ_pH (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = .00000, df = 1.0000		
	Είδος γάλακτος	{1} -.0143	{2} -.0127
1	1		0.030722
2	2	0.030722	

Πίνακας 1.4 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή το ρυθμό μεταβολής του pH κατά τη ζύμωση των συμβατικών γιαουρτιών

	Duncan test; variable μ_pH (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = .00000, df = 1.0000		
Cell No.	Θερμική κατεργασία	{1} -.0127	{2} -.0143
1	1		0.030412
2	2	0.030412	

Πίνακας 1.5 - Αποτελέσματα ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του pH κατά τη ζύμωση των συμβατικών γιαουρτιών

	Univariate Tests of Significance for λ_pH (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	154997.2	1	154997.2	7139.589	0.007534
Είδος γάλακτος	4963.2	1	4963.2	228.617	0.042043
Θερμική κατεργασία	28.4	1	28.4	1.309	0.457291
Error	21.7	1	21.7		

Πίνακας 1.6 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή τη λανθάνουσα φάση του pH κατά τη ζύμωση των συμβατικών γιαουρτιών

	Duncan test; variable λ_pH (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 21.710, df = 1.0000		
Cell No.	Είδος γάλακτος	{1} 161.62	{2} 232.07
1	1		0.042321
2	2	0.042321	

Πίνακας 1.7 - Αποτελέσματα ANOVA για το ρυθμό μεταβολής του ιξώδους κατά τη ζύμωση των συμβατικών γιαουρτιών

	Univariate Tests of Significance for μ_ιξώδες (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	139932.0	1	139932.0	625.0244	0.025451
Είδος γάλακτος	2287.5	1	2287.5	10.2174	0.193023
Θερμική κατεργασία	781.3	1	781.3	3.4900	0.312885
Error	223.9	1	223.9		

Πίνακας 1.8 - Αποτελέσματα ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του ιξώδους κατά τη ζύμωση των συμβατικών γιαουρτιών

Effect	Univariate Tests of Significance for λ_ιξώδες (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	106756.6	1	106756.6	24721.95	0.004049
Είδος γάλακτος	7873.8	1	7873.8	1823.37	0.014906
Θερμική κατεργασία	797.8	1	797.8	184.74	0.046754
Error	4.3	1	4.3		

Πίνακας 1.9 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή τη λανθάνουσα φάση του ιξώδους κατά τη ζύμωση των συμβατικών γιαουρτιών

Cell No.	Duncan test; variable λ_ιξώδες (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 4.3183, df = 1.0000		
	Είδος γάλακτος	{1} 119.00	{2} 207.74
1	1		0.015235
2	2	0.015235	

Πίνακας 1.10 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή τη λανθάνουσα φάση του ιξώδους κατά τη ζύμωση των συμβατικών γιαουρτιών

Cell No.	Duncan test; variable λ_ιξώδες (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 4.3183, df = 1.0000		
	Θερμική κατεργασία	{1} 177.49	{2} 149.25
1	1		0.047020
2	2	0.047020	

Πίνακας 1.11 - Αποτελέσματα ANOVA για το ιξώδες των συμβατικών γιαουρτιών στο τέλος της ζύμωσης

Effect	Univariate Tests of Significance for ιξώδες 45°C (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	213218404	1	213218404	832884.4	0.000698
Είδος γάλακτος	2298256	1	2298256	8977.6	0.006719
Θερμική κατεργασία	2079364	1	2079364	8122.5	0.007063
Error	256	1	256		

Πίνακας 1.12 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή το ιξώδες των συμβατικών γιαουρτιών στο τέλος της ζύμωσης

Cell No.	Duncan test; variable ιξώδες 45°C (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 256.00, df = 1.0000 Είδος γάλακτος	{1} 8059.0	{2} 6543.0
1	1		0.007080
2	2	0.007080	

Πίνακας 1.13 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή το ιξώδες των συμβατικών γιαουρτιών στο τέλος της ζύμωσης

Cell No.	Duncan test; variable ιξώδες 45°C (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 256.00, df = 1.0000 Θερμική κατεργασία	{1} 8022.0	{2} 6580.0
1	1		0.007416
2	2	0.007416	

Πίνακας 1.14 - Αποτελέσματα ANOVA για το ιξώδες μετά από αποθήκευση των συμβατικών γιαουρτιών για 24h

Effect	Univariate Tests of Significance for ιξώδες 24h (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2.131115E+09	1	2.131115E+09	9211.211	0.006633
Είδος γάλακτος	1.738056E+07	1	1.738056E+07	75.123	0.073127
Θερμική κατεργασία	2.265760E+05	1	2.265760E+05	0.979	0.503326
Error	2.313610E+05	1	2.313610E+05		

Πίνακας 1.15 - Αποτελέσματα ANOVA για την ικανότητα συγκράτησης ύδατος των συμβατικών γιαουρτιών

Effect	Univariate Tests of Significance for Ικανότητα συγκράτησης ύδατος (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1.722656	1	1.722656	275625.0	0.001213
Είδος γάλακτος	0.005112	1	0.005112	818.0	0.022250
Θερμική κατεργασία	0.003782	1	0.003782	605.2	0.025865
Error	0.000006	1	0.000006		

Πίνακας 1.16 - Αποτελέσματα ANOVA για τη σκληρότητα των συμβατικών γιαουρτιών

Effect	Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1.953006	1	1.953006	214.1396	0.043437
Είδος γάλακτος	0.030450	1	0.030450	3.3388	0.318788
Θερμική κατεργασία	0.000020	1	0.000020	0.0022	0.970024
Error	0.009120	1	0.009120		

Πίνακας 1.17 - Αποτελέσματα ANOVA για τη συνεκτικότητα των συμβατικών γιαουρτιών

Effect	Univariate Tests of Significance for Συνεκτικότητα (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.953831	1	0.953831	33084.76	0.003500
Είδος γάλακτος	0.000016	1	0.000016	0.55	0.593288
Θερμική κατεργασία	0.001175	1	0.001175	40.77	0.098903
Error	0.000029	1	0.000029		

Πίνακας 1.18 - Αποτελέσματα ANOVA για την προσκολλησιμότητα των συμβατικών γιαουρτιών

Effect	Univariate Tests of Significance for Προσκολλησιμότητα (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.922560	1	0.922560	591.2900	0.026166
Είδος γάλακτος	0.035156	1	0.035156	22.5324	0.132182
Θερμική κατεργασία	0.001122	1	0.001122	0.7193	0.552208
Error	0.001560	1	0.001560		

Π.2 Πίνακες στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τις διάφορες παραμέτρους των γιαουρτιών με προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων

Πίνακας 2.1 - Αποτελέσματα ANOVA για το χρόνο ζύμωσης των γιαουρτιών με προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων

Effect	Univariate Tests of Significance for Χρόνος ζύμωσης (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	270400.0	1	270400.0		
Είδος γάλακτος	400.0	1	400.0		
Προβιοτικά	900.0	1	900.0		
Error	0.0	1	0.0		

Πίνακας 2.2 - Αποτελέσματα ANOVA για το ρυθμό μεταβολής του pH κατά τη ζύμωση των γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια

Effect	Univariate Tests of Significance for μ_pH (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.000739	1	0.000739	37374.91	0.003293
Είδος γάλακτος	0.000003	1	0.000003	129.40	0.055820
Προβιοτικά	0.000003	1	0.000003	149.42	0.051965
Error	0.000000	1	0.000000		

Πίνακας 2.3 - Αποτελέσματα ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του pH κατά τη ζύμωση των γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια

Effect	Univariate Tests of Significance for λ_pH (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	34321.16	1	34321.16	52.56362	0.087258
Είδος γάλακτος	19.90	1	19.90	0.03048	0.889973
Προβιοτικά	1299.83	1	1299.83	1.99071	0.392525
Error	652.95	1	652.95		

Πίνακας 2.4 - Αποτελέσματα ANOVA για το ρυθμό μεταβολής του ιξώδους κατά τη ζύμωση των γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια

Effect	Univariate Tests of Significance for μ_ιξώδες (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	127647.2	1	127647.2	215.2061	0.043329
Είδος γάλακτος	1477.3	1	1477.3	2.4907	0.359554
Προβιοτικά	2002.6	1	2002.6	3.3762	0.317295
Error	593.1	1	593.1		

Πίνακας 2.5 - Αποτελέσματα ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του ιξώδους κατά τη ζύμωση των γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια

Effect	Univariate Tests of Significance for λ_ιξώδες (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	83878.90	1	83878.90	49.33361	0.090033
Είδος γάλακτος	2427.17	1	2427.17	1.42755	0.443644
Προβιοτικά	1178.17	1	1178.17	0.69295	0.558054
Error	1700.24	1	1700.24		

Πίνακας 2.6 - Αποτελέσματα ANOVA για το ιξώδες των γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια στο τέλος της ζύμωσης

Effect	Univariate Tests of Significance for ιξώδες 45°C (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	234671761	1	234671761	72228.92	0.002369
Είδος γάλακτος	1221025	1	1221025	375.82	0.032810
Προβιοτικά	801025	1	801025	246.55	0.040490
Error	3249	1	3249		

Πίνακας 2.7 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή το ιξώδες των γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια στο τέλος της ζύμωσης

Cell No.	Duncan test; variable ιξώδες 45°C (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 3249.0, df = 1.0000		
	Είδος γάλακτος	{1} 8212.0	{2} 7107.0
1	1		0.033105
2	2	0.033105	

Πίνακας 2.8 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή το ιξώδες των γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια στο τέλος της ζύμωσης

Cell No.	Duncan test; variable ιξώδες 45°C (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 3249.0, df = 1.0000		
	Προβιοτικά	{1} 7212.0	{2} 8107.0
1	1		0.040764
2	2	0.040764	

Πίνακας 2.9 - Αποτελέσματα ANOVA για το ιξώδες των γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια μετά από αποθήκευση τους για 24h

Effect	Univariate Tests of Significance for ιξώδες 24h (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2.868138E+09	1	2.868138E+09	31447.50	0.003590
Είδος γάλακτος	1.592010E+07	1	1.592010E+07	174.55	0.048094
Προβιοτικά	6.188969E+07	1	6.188969E+07	678.59	0.024427
Error	9.120400E+04	1	9.120400E+04		

Πίνακας 2.10 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή το ιξώδες των γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια στο τέλος της ζύμωσης

Cell No.	Duncan test; variable ιξώδες 24h (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 91204., df = 1.0000		
	Είδος γάλακτος	{1} 28773.	{2} 24783.
1	1		0.048353
2	2	0.048353	

Πίνακας 2.11 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή το ιξώδες των γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια στο τέλος της ζύμωσης

Cell No.	Duncan test; variable ιξώδες 24h (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 91204., df = 1.0000		
	Προβιοτικά	{1} 22844.	{2} 30711.
1	1		0.024731
2	2	0.024731	

Πίνακας 2.12 - Αποτελέσματα ANOVA για την ικανότητα συγκράτησης ύδατος των γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια

Effect	Univariate Tests of Significance for Ικανότητα συγκράτησης ύδατος (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1.933082	1	1.933082	4612.987	0.009373
Είδος γάλακτος	0.008925	1	0.008925	21.297	0.135848
Υπέρηχοι	0.000267	1	0.000267	0.638	0.570893
Error	0.000419	1	0.000419		

Πίνακας 2.13 - Αποτελέσματα ANOVA για τη σκληρότητα των γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια

Effect	Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1.739761	1	1.739761	35505.33	0.003379
Είδος γάλακτος	0.005184	1	0.005184	105.80	0.061700
Προβιοτικά	0.005476	1	0.005476	111.76	0.060042
Error	0.000049	1	0.000049		

Πίνακας 2.14 - Αποτελέσματα ANOVA για τη συνεκτικότητα των γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια

Effect	Univariate Tests of Significance for Συνεκτικότητα (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1.059794	1	1.059794	206.2719	0.044255
Είδος γάλακτος	0.003884	1	0.003884	0.7559	0.544385
Προβιοτικά	0.000344	1	0.000344	0.0669	0.838890
Error	0.005138	1	0.005138		

Πίνακας 2.15 - Αποτελέσματα ANOVA για την προσκολλησιμότητα των γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια

Effect	Univariate Tests of Significance for Προσκολλησιμότητα (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.751689	1	0.751689	11745.14	0.005874
Είδος γάλακτος	0.019600	1	0.019600	306.25	0.036339
Προβιοτικά	0.016129	1	0.016129	252.02	0.040049
Error	0.000064	1	0.000064		

Πίνακας 2.16 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή την προσκολλησιμότητα των γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια

Cell No.	Duncan test; variable Προσκολλησιμότητα (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = .00006, df = 1.0000		
	Είδος γάλακτος	{1} .50350	{2} .36350
1	1		0.036619
2	2	0.036619	

Πίνακας 2.17 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή την προσκολλησιμότητα των γιαουρτιών με προβιοτικά βακτήρια

Cell No.	Duncan test; variable Προσκολλησιμότητα (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = .00006, df = 1.0000		
	Προβιοτικά	{1} .49700	{2} .37000
1	1		0.040326
2	2	0.040326	

Π.3 Πίνακες στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τις διάφορες παραμέτρους των γιαουρτιών στα οποία εφαρμόστηκαν υπέρηχοι

Πίνακας 3.1 - Αποτελέσματα ANOVA για το χρόνο ζύμωσης των γιαουρτιών με εφαρμογή US

Effect	Univariate Tests of Significance for Χρόνος ζύμωσης (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	935028.1	1	935028.1	3264.098	0.000012
Είδος γάλακτος	1953.1	1	1953.1	6.818	0.079605
Υπέρηχοι	26334.4	3	8778.1	30.644	0.009446
Error	859.4	3	286.5		

Πίνακας 3.2 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή το χρόνο ζύμωσης των γιαουρτιών με εφαρμογή US

Cell No.	Duncan test; variable Χρόνος ζύμωσης (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 286.46, df = 3.0000				
	Υπέρηχοι	{1} 275.00	{2} 350.00	{3} 430.00	{4} 312.50
1	1		0.021733	0.002836	0.113692
2	2	0.021733		0.018152	0.113692
3	3	0.002836	0.018152		0.006328
4	4	0.113692	0.113692	0.006328	

Πίνακας 3.3 - Αποτελέσματα ANOVA για το ρυθμό μεταβολής του pH κατά τη ζύμωση των γιαουρτιών με εφαρμογή US

Effect	Univariate Tests of Significance for μ_pH (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.001242	1	0.001242	1318.012	0.000046
Είδος γάλακτος	0.000002	1	0.000002	1.698	0.283531
Υπέρηχοι	0.000003	3	0.000001	1.020	0.493663
Error	0.000003	3	0.000001		

Πίνακας 3.4 - Αποτελέσματα ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του pH κατά τη ζύμωση των γιαουρτιών με εφαρμογή US

Effect	Univariate Tests of Significance for λ_pH (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	41880.00	1	41880.00	148.5350	0.001189
Είδος γάλακτος	86.88	1	86.88	0.3081	0.617530
Υπέρηχοι	4541.84	3	1513.95	5.3695	0.100484
Error	845.86	3	281.95		

Πίνακας 3.5 - Αποτελέσματα ANOVA για το ρυθμό μεταβολής του ιξώδους κατά τη ζύμωση των γιαουρτιών με εφαρμογή US

Effect	Univariate Tests of Significance for μ_ιξώδες (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	331055.1	1	331055.1	161.4835	0.001051
Είδος γάλακτος	4635.1	1	4635.1	2.2609	0.229712
Υπέρηχοι	1583.3	3	527.8	0.2574	0.852777
Error	6150.3	3	2050.1		

Πίνακας 3.6 - Αποτελέσματα ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του ιξώδους κατά τη ζύμωση των γιαουρτιών με εφαρμογή US

Effect	Univariate Tests of Significance for λ_ιξώδες (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	239020.5	1	239020.5	128.8982	0.001466
Είδος γάλακτος	2966.6	1	2966.6	1.5998	0.295251
Υπέρηχοι	320.5	3	106.8	0.0576	0.978774
Error	5563.0	3	1854.3		

Πίνακας 3.7 - Αποτελέσματα ANOVA για το ιξώδες στο τέλος της ζύμωσης των γιαουρτιών με εφαρμογή US

Effect	Univariate Tests of Significance for ιξώδες 45°C (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	591129728	1	591129728	5677.162	0.000005
Είδος γάλακτος	2887205	1	2887205	27.728	0.013347
Υπέρηχοι	25670853	3	8556951	82.180	0.002230
Error	312372	3	104124		

Πίνακας 3.8 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή το ιξώδες στο τέλος της ζύμωσης των γιαουρτιών με εφαρμογή US

Cell No.	Duncan test; variable ιξώδες 45°C (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 1041E2, df = 3.0000		
	Είδος γάλακτος	{1} 9196.8	{2} 7995.3
1	1		0.013549
2	2	0.013549	

Πίνακας 3.9 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή το ιξώδες στο τέλος της ζύμωσης των γιαουρτιών με εφαρμογή US

Cell No.	Duncan test; variable ιξώδες 45°C (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 1041E2, df = 3.0000				
	Υπέρηχοι	{1} 7212.0	{2} 7492.5	{3} 11658.	{4} 8022.0
1	1		0.448864	0.000899	0.087211
2	2	0.448864		0.001119	0.199558
3	3	0.000899	0.001119		0.001734
4	4	0.087211	0.199558	0.001734	

Πίνακας 3.10 - Αποτελέσματα ANOVA για το ιξώδες των γιαουρτιών με εφαρμογή US μετά από αποθήκευση τους για 24h

Effect	Univariate Tests of Significance for ιξώδες 24h (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	7.577728E+09	1	7.577728E+09	618.5383	0.000143
Είδος γάλακτος	6.884925E+07	1	6.884925E+07	5.6199	0.098448
Υπέρηχοι	3.657803E+08	3	1.219268E+08	9.9524	0.045532
Error	3.675307E+07	3	1.225102E+07		

Πίνακας 3.11 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή το ιξώδες μετά από αποθήκευση για 24h των γιαουρτιών με εφαρμογή US

Cell No.	Duncan test; variable ιξώδες 24h (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 1225E4, df = 3.0000				
	Υπέρηχοι	{1} 22844.	{2} 31676.	{3} 41165.	{4} 27423.
1	1		0.086223	0.013627	0.282218
2	2	0.086223		0.073310	0.311468
3	3	0.013627	0.073310		0.029842
4	4	0.282218	0.311468	0.029842	

Πίνακας 3.12 - Αποτελέσματα ANOVA για την ικανότητα συγκράτησης ύδατος των γιαουρτιών με εφαρμογή US

Effect	Univariate Tests of Significance for Ικανότητα συγκράτησης ύδατος (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	3.639601	1	3.639601	4723.662	0.000007
Είδος γάλακτος	0.018917	1	0.018917	24.552	0.015778
Υπέρηχοι	0.002785	3	0.000928	1.205	0.440959
Error	0.002312	3	0.000771		

Πίνακας 3.13 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή την ικανότητα συγκράτησης ύδατος των γιαουρτιών με εφαρμογή US

Cell No.	Duncan test; variable Ικανότητα συγκράτησης ύδατος (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = .00077, df = 3.0000		
	Είδος γάλακτος	{1} .72313	{2} .62587
1	1		0.015987
2	2	0.015987	

Πίνακας 3.14 - Αποτελέσματα ANOVA για τη σκληρότητα των γιαουρτιών με εφαρμογή US

Effect	Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα (Spreadsheet1 Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	3.326910	1	3.326910	796.4593	0.000098
Είδος γάλακτος	0.036856	1	0.036856	8.8233	0.059049
Υπέρηχοι	0.060859	3	0.020286	4.8566	0.113444
Error	0.012531	3	0.004177		

Πίνακας 3.15 - Αποτελέσματα ANOVA για τη συνεκτικότητα των γιαουρτιών με εφαρμογή US

Effect	Univariate Tests of Significance for Συνεκτικότητα (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2.124044	1	2.124044	30869.62	0.000000
Είδος γάλακτος	0.000130	1	0.000130	1.89	0.262604
Υπέρηχοι	0.001590	3	0.000530	7.70	0.063819
Error	0.000206	3	0.000069		

Πίνακας 3.16 - Αποτελέσματα ANOVA για την προσκολλησιμότητα των γιαουρτιών με εφαρμογή US

Effect	Univariate Tests of Significance for Προσκολλησιμότητα (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1.509453	1	1.509453	265.6338	0.000503
Είδος γάλακτος	0.044253	1	0.044253	7.7877	0.068382
Υπέρηχοι	0.057865	3	0.019288	3.3944	0.171146
Error	0.017047	3	0.005682		

Π.4 Πίνακες στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τις διάφορες παραμέτρους των γιαουρτιών στα οποία εφαρμόστηκε υπερυψηλή πίεση

Πίνακας 4.1 - Αποτελέσματα ANOVA για το χρόνο ζύμωσης των γιαουρτιών με εφαρμογή UHP

Effect	Univariate Tests of Significance for Χρόνος ζύμωσης (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	367537.5	1	367537.5	466.7143	0.002136
Είδος γάλακτος	937.5	1	937.5	1.1905	0.389153
Ultra High Pressure	3025.0	2	1512.5	1.9206	0.342391
Error	1575.0	2	787.5		

Πίνακας 4.2 - Αποτελέσματα ANOVA για το ρυθμό μεταβολής του pH κατά τη ζύμωση των γιαουρτιών με εφαρμογή UHP

Effect	Univariate Tests of Significance for μ_pH (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.001101	1	0.001101	493.4747	0.002020
Είδος γάλακτος	0.000001	1	0.000001	0.6409	0.507359
Ultra High Pressure	0.000002	2	0.000001	0.4952	0.668821
Error	0.000004	2	0.000002		

Πίνακας 4.3 - Αποτελέσματα ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του pH κατά τη ζύμωση των γιαουρτιών με εφαρμογή UHP

Effect	Univariate Tests of Significance for λ_pH (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	188336.4	1	188336.4	287.4454	0.003461
Είδος γάλακτος	639.4	1	639.4	0.9759	0.427351
Ultra High Pressure	13314.8	2	6657.4	10.1607	0.089600
Error	1310.4	2	655.2		

Πίνακας 4.4 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή τη λανθάνουσα φάση του pH των γιαουρτιών με εφαρμογή UHP

Cell No.	Duncan test; variable λ_pH (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 348.51, df = 2.0000			
	Ultra High Pressure	{1} 70.672	{2} 213.68	{3} 207.17
1	1		0.015292	0.018461
2	2	0.015292		0.760815
3	3	0.018461	0.760815	

Πίνακας 4.5 - Αποτελέσματα ANOVA για το ιξώδες στο τέλος της ζύμωσης των γιαουρτιών με εφαρμογή UHP

Effect	Univariate Tests of Significance for ιξώδες 45°C (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	515374944	1	515374944	230.1907	0.004316
Είδος γάλακτος	12505041	1	12505041	5.5853	0.141901
Ultra High Pressure	15571408	2	7785704	3.4775	0.223341
Error	4477809	2	2238905		

Πίνακας 4.6 - Αποτελέσματα ANOVA για το ιξώδες των γιαουρτιών με εφαρμογή UHP μετά από αποθήκευση τους για 24h

Effect	Univariate Tests of Significance for ιξώδες 24h (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	7.589429E+09	1	7.589429E+09	914.6553	0.001092
Είδος γάλακτος	1.056301E+08	1	1.056301E+08	12.7302	0.070363
Ultra High Pressure	4.919689E+08	2	2.459845E+08	29.6453	0.032631
Error	1.659517E+07	2	8.297583E+06		

Πίνακας 4.7 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή το ιξώδες των γιαουρτιών με εφαρμογή UHP μετά από αποθήκευση για 24h

Cell No.	Duncan test; variable ιξώδες 24h (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 8298E3, df = 2.0000			
	Ultra High Pressure	{1} 22844.	{2} 40656.	{3} 43197.
1	1		0.025410	0.017883
2	2	0.025410		0.470921
3	3	0.017883	0.470921	

Πίνακας 4.8 - Αποτελέσματα ANOVA για την ικανότητα συγκράτησης ύδατος των γιαουρτιών με εφαρμογή UHP

Effect	Univariate Tests of Significance for Ικανότητα συγκράτησης ύδατος (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2.572227	1	2.572227	14912.54	0.000067
Είδος γάλακτος	0.007155	1	0.007155	41.48	0.023269
Ultra High Pressure	0.003221	2	0.001611	9.34	0.096735
Error	0.000345	2	0.000172		

Πίνακας 4.9 - Αποτελέσματα ANOVA για τη σκληρότητα των γιαουρτιών με εφαρμογή UHP

Effect	Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2.068588	1	2.068588	775.2845	0.001287
Είδος γάλακτος	0.032120	1	0.032120	12.0383	0.073969
Ultra High Pressure	0.037886	2	0.018943	7.0997	0.123461
Error	0.005336	2	0.002668		

Πίνακας 4.10 - Αποτελέσματα ANOVA για τη συνεκτικότητα των γιαουρτιών με εφαρμογή UHP

Effect	Univariate Tests of Significance for Συνεκτικότητα (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1.498691	1	1.498691	745.7130	0.001338
Είδος γάλακτος	0.006103	1	0.006103	3.0368	0.223522
Ultra High Pressure	0.001874	2	0.000937	0.4663	0.681999
Error	0.004019	2	0.002010		

Πίνακας 4.11 - Αποτελέσματα ANOVA για την προσκολλησιμότητα των γιαουρτιών με εφαρμογή UHP

Effect	Univariate Tests of Significance for Προσκολλησιμότητα (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.857556	1	0.857556	809.6799	0.001233
Είδος γάλακτος	0.013664	1	0.013664	12.9016	0.069524
Ultra High Pressure	0.042663	2	0.021332	20.1408	0.047302
Error	0.002118	2	0.001059		

Π.5 Πίνακες στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τις διάφορες παραμέτρους των γιαουρτιών στα οποία εφαρμόστηκαν παλμικά ηλεκτρικά πεδία

Πίνακας 5.1 - Αποτελέσματα ANOVA για το χρόνο ζύμωσης των γιαουρτιών με εφαρμογή PEF

Effect	Univariate Tests of Significance for Χρόνος ζύμωσης (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	204756.3	1	204756.3	3640.111	0.010551
Είδος γάλακτος	156.2	1	156.2	2.778	0.344042
Pulsed Electric Field	9506.3	1	9506.3	169.000	0.048875
Error	56.2	1	56.2		

Πίνακας 5.2 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή το χρόνο ζύμωσης των γιαουρτιών με εφαρμογή PEF

Cell No.	Duncan test; variable Χρόνος ζύμωσης (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 56.250, df = 1.0000		
	Pulsed Electric Field	{1} 275.00	{2} 177.50
1	1		0.049131
2	2	0.049131	

Πίνακας 5.3 - Αποτελέσματα ANOVA για το ρυθμό μεταβολής του pH κατά τη ζύμωση των γιαουρτιών με εφαρμογή PEF

Effect	Univariate Tests of Significance for μ_pH (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.001037	1	0.001037	9698.588	0.006464
Είδος γάλακτος	0.000001	1	0.000001	11.986	0.179010
Pulsed Electric Field	0.000045	1	0.000045	424.245	0.030884
Error	0.000000	1	0.000000		

Πίνακας 5.4 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή το ρυθμό μεταβολής του pH κατά τη ζύμωση των γιαουρτιών με εφαρμογή PEF

Cell No.	Duncan test; variable μ_pH (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = .00000, df = 1.0000		
	Pulsed Electric Field	{1} -.0127	{2} -.0195
1	1		0.031179
2	2	0.031179	

Πίνακας 5.5 - Αποτελέσματα ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του pH κατά τη ζύμωση των γιαουρτιών με εφαρμογή PEF

Effect	Univariate Tests of Significance for λ_pH (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	52576.46	1	52576.46	10164.82	0.006314
Είδος γάλακτος	3.28	1	3.28	0.63	0.571787
Pulsed Electric Field	7735.58	1	7735.58	1495.55	0.016458
Error	5.17	1	5.17		

Πίνακας 5.6 - Duncan Test: Ομογενείς ομάδες με μεταβλητή τη λανθάνουσα φάση του pH κατά τη ζύμωση των γιαουρτιών με εφαρμογή PEF

Cell No.	Duncan test; variable λ_pH (Spreadsheet1) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 5.1724, df = 1.0000		
	Pulsed Electric Field	{1} 70.672	{2} 158.62
1	1		0.016767
2	2	0.016767	

Πίνακας 5.7 - Αποτελέσματα ANOVA για το ιξώδες στο τέλος της ζύμωσης των γιαουρτιών με εφαρμογή PEF

Effect	Univariate Tests of Significance for ιξώδες 45°C (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	246914082	1	246914082	3008.130	0.011606
Είδος γάλακτος	579882	1	579882	7.065	0.229087
Pulsed Electric Field	1662810	1	1662810	20.258	0.139183
Error	82082	1	82082		

Πίνακας 5.8 - Αποτελέσματα ANOVA για το ιξώδες των γιαουρτιών με εφαρμογή PEF μετά από αποθήκευση τους για 24h

Effect	Univariate Tests of Significance for ιξώδες 24h (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	3.340146E+09	1	3.340146E+09	962.3650	0.020514
Είδος γάλακτος	3.081360E+07	1	3.081360E+07	8.8780	0.206139
Pulsed Electric Field	1.465552E+08	1	1.465552E+08	42.2256	0.097207
Error	3.470769E+06	1	3.470769E+06		

Πίνακας 5.9 - Αποτελέσματα ANOVA για την ικανότητα συγκράτησης ύδατος των γιαουρτιών με εφαρμογή PEF

Effect	Univariate Tests of Significance for Ικανότητα συγκράτησης ύδατος (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1.759280	1	1.759280	20780.28	0.004416
Είδος γάλακτος	0.006922	1	0.006922	81.77	0.070118
Pulsed Electric Field	0.002268	1	0.002268	26.79	0.121507
Error	0.000085	1	0.000085		

Πίνακας 5.10 - Αποτελέσματα ANOVA για τη σκληρότητα των γιαουρτιών με εφαρμογή PEF

Effect	Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1.267876	1	1.267876	507.1504	0.028251
Είδος γάλακτος	0.016641	1	0.016641	6.6564	0.235402
Pulsed Electric Field	0.071289	1	0.071289	28.5156	0.117852
Error	0.002500	1	0.002500		

Πίνακας 5.11 - Αποτελέσματα ANOVA για τη συνεκτικότητα των γιαουρτιών με εφαρμογή PEF

Effect	Univariate Tests of Significance for Συνεκτικότητα (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1.067410	1	1.067410	5569.337	0.008530
Είδος γάλακτος	0.000020	1	0.000020	0.105	0.800488
Pulsed Electric Field	0.000494	1	0.000494	2.578	0.354596
Error	0.000192	1	0.000192		

Πίνακας 5.12 - Αποτελέσματα ANOVA για τη προσκολλησιμότητα των γιαουρτιών με εφαρμογή PEF

Effect	Univariate Tests of Significance for Προσκολλησιμότητα (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.620550	1	0.620550	72.13549	0.074612
Είδος γάλακτος	0.003053	1	0.003053	0.35484	0.657981
Pulsed Electric Field	0.042539	1	0.042539	4.94493	0.269037
Error	0.008603	1	0.008603		