



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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΡΟΟΔΟΥ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ

STUDY OF THE THERMAL PROCESSING PROGRESS IN
FOOD USING MICROWAVES

ΒΑΧΑΡΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥΣ ΧΡΥΣΗ

2019

Τίτλος εργασίας στα Ελληνικά:

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΡΟΟΔΟΥ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΜΕ
ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ

Τίτλος εργασίας στα Αγγλικά:

STUDY OF THE THERMAL PROCESSING PROGRESS IN FOOD USING
MICROWAVES

Βαχαράκης Νικόλαος Α.Μ. 14006

Χαραλάμπους Χρυσή Α.Μ. 14090

Υποβολή Πτυχιακής διατριβής που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την απονομή του Πτυχίου του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης.

Ημερομηνία: 22/02/2019

Εισηγητής: Καραγεωργίου Βασίλης

Ευχαριστίες

Αρχικά θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέπων Καθηγητή κύριο Βασίλη Καραγεωργίου για την απεριόριστη υποστήριξη του, την επιστημονική του βοήθεια σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακή εργασίας, την άμεση ανταπόκριση του κάθε φορά που χρειαζόμασταν βοήθεια καθώς και τις σημαντικές συμβουλές, την καθοδήγηση και τη διόρθωση που παρείχε όπου χρειαζόταν. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλουμε στο Καθηγητή κύριο Στυλιανό Ραφαηλίδη για την ενθάρρυνση και την επιστημονική του καθοδήγηση που μας πρόσφερε σε όλη τη διάρκεια του πειραματικού μέρους.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλουμε στην μεταδιδάκτορα Άννα Μαρινοπούλου για την στήριξη που μας παρείχε σε όλη την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας μας. Την ευχαριστούμε για τις τεχνικές συμβουλές τις τόσο στο πειραματικό μέρος, όσο και στην συγγραφή της εργασίας. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε το τεχνικό και επιστημονικό προσωπικό της Σχολής Τεχνολογίας Τροφίμων & Διατροφής του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων με ιδιαίτερες ευχαριστίες προς την Εργοδηγό Χημικό κυρία Άννα Καπετάνου. Την ευχαριστούμε για την συνεργασία και τη βοήθεια της μαζί μας καθ' όλη τη διάρκεια του πειραματικού μέρους.

Τέλος, αφιερώνουμε τη παρούσα πτυχιακή εργασία στις οικογένειες μας ως ένδειξη ευγνωμοσύνης για τη στήριξη και κατανόηση τους στο διάστημα της εκπόνησης της εργασίας μας. Πάνω από όλα όμως, τους ευχαριστούμε για όλα όσα μας πρόσφεραν όπως η αγάπη και η συμπαράσταση τους όλα αυτά τα χρόνια κατά τα οποία είμαστε φοιτητές.

Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2019

Νικόλαος Βαχαράκης

Χρυσή Χαραλάμπους

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΡΟΟΔΟΥ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ

Βαχαράκης Νικόλαος

Χαραλάμπους Χρυσή

ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογίας Τροφίμων & Διατροφής, Τμήμα Τεχνολογίας
Τροφίμων, 57400 Θεσσαλονίκη Τ.Θ. 141

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε μελέτη της προόδου της θερμικής επεξεργασίας τροφίμων με μικροκύματα. Συγκεκριμένα, έγινε προετοιμασία δειγμάτων πατάτας κυλινδρικού και κυβικού σχήματος, προετοιμασία αιωρημάτων αμύλου συγκέντρωσης 5% w/w και 10% w/w σε ποσότητες 80 g και 240 g και προετοιμασία πηκτών αμύλου σε κυλινδρικό σχήμα συγκέντρωσης 20% w/w. Τα δείγματα πατάτας επεξεργαστήκαν σε τρεις διαφορετικές συνθήκες ισχύος (Low, Medium, High) και κατόπιν μελετήθηκαν παράγοντες όπως η % απώλεια υγρασίας και το μέτωπο της θερμικής επεξεργασίας που σχηματίστηκε με τη βοήθεια του προγράμματος ImageJ. Τα αιωρήματα αμύλου επεξεργάστηκαν σε τρεις διαφορετικές συνθήκες ισχύος (Low, Medium, High) και μελετήθηκαν ως προς την τελική θερμοκρασία (°C) και την μεταβολή της μέσης διαμέτρου (D(4,3)) των κόκκων αμύλου με την βοήθεια συσκευής Mastersizer. Οι πηκτές αμύλου επεξεργαστήκαν σε δύο διαφορετικές συνθήκες ισχύος (Low, Medium) και κατόπιν μελετήθηκαν παράγοντες όπως η % απώλεια υγρασίας και η μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας Young με τη βοήθεια αναλυτή υφής (Texture Analyzer). Μελετήθηκε επίσης με τη βοήθεια οπτικού μικροσκοπίου η μορφολογία του μετώπου θερμικής επεξεργασίας και η αύξηση του μεγέθους των κόκκων αμύλου στα αιωρήματα αμύλου. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν βρέθηκε ότι η ισχύς, ο χρόνος επεξεργασίας και το γεωμετρικό σχήμα του δείγματος επηρεάζουν την % απώλεια υγρασίας και το % ποσοστό θερμικής επεξεργασίας σε δείγματα πατάτας. Βρέθηκε επίσης ότι η ισχύς, ο χρόνος επεξεργασίας και η ποσότητα του δείγματος επηρεάζουν τόσο την τελική θερμοκρασία, όσο και την μέση διάμετρο των αμυλόκοκκων, κάτι που δεν συμβαίνει με την διαφορά στην συγκέντρωση. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τις πηκτές αμύλου έδειξαν ότι η ισχύς, ο χρόνος επεξεργασίας και ο αριθμός των δειγμάτων στον φούρνο, επηρεάζουν την % απώλεια υγρασίας και μεταβάλλουν το μέτρο ελαστικότητας Young. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως οδηγοί ή δείκτες για τη βιομηχανική παραγωγή και επεξεργασία τροφίμων με μικροκύματα.

ABSTRACT

In this research paper a study of the thermal processing progress in food using microwaves was carried out. In particular, cylindrical and cubical potato samples, 5% w/w and 10% w/w starch suspensions in quantities of 80 g and 240 g and cylindrical 20% w/w starch gels were prepared. Potato samples were processed at three different power conditions (Low, Medium, High) and factors such as % loss of moisture and the % heat processed area as measured with the ImageJ program were studied. Starch suspensions were processed at three different power conditions (Low, Medium, High) and factors such as the final temperature (°C) and the changes of the mean diameter ($D(4,3)$) of the starch granules were studied. Starch gels were processed at two different power conditions (Low, Medium) and factors such as % loss of moisture and changes of the Young modulus of elasticity as measured by the Texture Analyzer were studied. The morphology of the heat processed area and size of the starch granules in the starch suspensions were also studied by optical microscopy. Results showed that the power, the processing time and the geometric shape of the samples affected the % loss of moisture and the % heat processed area in potato samples. It was also found that the power, the processing time and the quantity of the sample affected the final temperature and the mean diameter of the starch granules. This increase did not occur in the starch suspensions with different concentrations. Results for starch gels showed that the power, the processing time and the number of samples in the oven affected the % loss of moisture and changes of Young modulus of elasticity. The results of this study could be used as guidelines or indications for the industrial production and processing of food using microwaves.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<i>Ευχαριστίες</i>	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ii
ABSTRACT	iii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	iv
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΙΣΗ.....	8
2.1 Μικροκύματα	8
2.1.1 Φύση μικροκυμάτων	8
2.1.2 Ιδιότητες μικροκυμάτων.....	8
2.1.3 Φούρνος μικροκυμάτων.....	8
2.1.4 Ιστορική εξέλιξη.....	9
2.1.5 Θέρμανση με μικροκύματα	10
2.1.6 Διηλεκτρικές ιδιότητες των τροφίμων	10
2.1.7 Παράμετροι που επηρεάζουν την θέρμανση με μικροκύματα.....	12
2.1.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μικροκυμάτων.....	14
2.1.8.1 Πλεονεκτήματα.....	14
2.1.8.2 Μειονεκτήματα	15
2.1.9 Εφαρμογές.....	16
2.1.9.1 Ξήρανση.....	16
2.1.9.2 Θέρμανση ή μαγείρεμα	16
2.1.9.3 Αποστείρωση, παστερίωση, και λεύκανση	17
2.1.9.4 Απόψυξη κατεψυγμένων τροφίμων.....	17
2.1.10 Ασφάλεια και κίνδυνοι μικροκυμάτων	17
2.1.11 Σύγκριση των μικροκυμάτων και της συμβατικής θέρμανσης.....	18
2.2 Άμυλο	19
2.2.1 Δομή του αμύλου	20
2.2.2 Αμυλόζη	22
2.2.3 Αμυλοπηκτίνη.....	23
2.2.4 Ζελατινοποίηση και αναδιάταξη του αμύλου	23
2.2.5 Χρήση του αμύλου και επίδραση των μικροκυμάτων	25
2.3 Πατάτα.....	26
2.3.1 Η ιστορία της πατάτας.....	26
2.3.2 Θρεπτικά συστατικά.....	27
2.3.3 Επεξεργασία και χρήσεις των πατατών.....	27
2.3.4 Χρήση των πατατών και επίδραση των μικροκυμάτων	28
3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	30
4. ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ	31
4.1 Υλικά.....	31
4.1.1 Άμυλο.....	31
4.1.2 Πατάτες.....	31
4.1.3 Νερό.....	31
4.1.4 Ερυθρό του Κογκό.....	31

4.2	Μέθοδοι	31
4.2.1	Μελέτη συμπεριφοράς δειγμάτων πατάτας.....	31
4.2.1.1	Μεθοδολογία προετοιμασίας δειγμάτων	31
4.2.1.2	Θερμική επεξεργασία με μικροκύματα.....	31
4.2.1.3	Προσδιορισμός της % απώλειας υγρασίας	32
4.2.1.4	Προσδιορισμός % ποσοστού θερμικής επεξεργασίας	32
4.2.1.5	Οπτικό μικροσκόπιο	33
4.2.2	Μελέτη συμπεριφοράς αιωρημάτων αμύλου αραβοσίτου.....	33
4.2.2.1	Μεθοδολογία παρασκευής αιωρημάτων αμύλου αραβοσίτου	33
4.2.2.2	Θερμική επεξεργασία με μικροκύματα.....	33
4.2.2.3	Προσδιορισμός της αρχικής και τελικής θερμοκρασίας	34
4.2.2.4	Προσδιορισμός του μεγέθους των αμυλόκοκκων – κοκκομετρική ανάλυση 34	
4.2.2.5	Οπτικό μικροσκόπιο	34
4.2.3	Μελέτη συμπεριφοράς πηκτών αμύλου.....	34
4.2.3.1	Μεθοδολογία προετοιμασίας δειγμάτων	34
4.2.3.2	Θερμική επεξεργασία με μικροκύματα.....	35
4.2.3.3	Προσδιορισμός της % απώλειας υγρασίας	35
4.2.3.4	Προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας Young	35
4.2.4	Αντιστοιχία συνθηκών ισχύος σε W.....	36
4.2.5	Επεξεργασία αποτελεσμάτων	36
5.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ	37
5.1	Μελέτης συμπεριφοράς των δειγμάτων πατάτας.....	37
5.1.1	Προσδιορισμός της % απώλειας υγρασίας	37
5.1.2	Προσδιορισμός % ποσοστού θερμικής επεξεργασίας	42
5.1.3	Μελέτη της επιφάνειας του μετώπου θερμικής επεξεργασίας με οπτικό μικροσκόπιο.....	49
5.2	Μελέτη συμπεριφοράς αιωρημάτων αμύλου αραβόσιτου	50
5.2.1	Μελέτη της τελικής θερμοκρασίας	50
5.2.2	Μελέτη του μεγέθους των αμυλόκοκκων – κοκκομετρική ανάλυση.....	58
5.2.3	Οπτικό μικροσκόπιο	72
5.3	Μελέτη συμπεριφοράς πηκτών αμύλου.....	74
5.3.1	Προσδιορισμός της % απώλειας υγρασίας	74
5.3.2	Προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας Young	77
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	84
7.	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	86
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	88
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	92

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τεχνολογία των μικροκυμάτων, χάρη στην ταχύτητα, την απόδοση, το μικρό όγκο και τον ηλεκτρονικό έλεγχο και χειρισμό έχει αλλάξει δραματικά τη βιομηχανία τροφίμων. Ο φούρνος μικροκυμάτων έχει επίσης χρησιμοποιηθεί ευρέως παγκοσμίως για την οικιακή θέρμανση τροφίμων, την αναθέρμανση και το μαγείρεμα (Liu et al., 2014). Η χρήση μικροκυμάτων έχει εφαρμοστεί σε μεγάλο βαθμό σε τομείς της επεξεργασίας τροφίμων, όπως η ξήρανση, η θέρμανση ή το μαγείρεμα, η απόψυξη κατεψυγμένων και η παστερίωση (Guo et al., 2017).

Το άμυλο είναι σημαντικό μέσο αύξησης του ιξώδους και μέσο σύνδεσης που χρησιμοποιείται για την παραγωγή προϊόντων όπως τα γλυκά ζύμης, οι σούπες, οι σάλτσες, οι αλοιφές, οι παιδικές τροφές και οι γεμίσεις ζαχαροπλαστικής (Belitz et al. 2009). Οι ιδιότητες του αμύλου είναι επιθυμητές για πολλές εφαρμογές, πολλές από τις οποίες σχετίζονται με τη ζελατινοποίηση και τις θρεπτικές ιδιότητες του αμύλου (Casasnovas et al., 2016; Nadiah et al., 2015 και Xie et al., 2013).

Τα τρόφιμα μέσα στον φούρνο μικροκυμάτων δέχονται την επίδραση των μικροκυμάτων σε ένα βάθος διείσδυσης στο εσωτερικό τμήμα τους. Η διάδοση της θερμότητας κατά αυτόν τον τρόπο επηρεάζει τα φυσικά χαρακτηριστικά των κόκκων του αμύλου που βρίσκονται στο τρόφιμο όπως επίσης και των υπόλοιπων συστατικών. Καθώς το άμυλο θερμαίνεται σε υδατικά συστήματα τροφίμων, υφίσταται θερμικές μεταβάσεις όπως η διόγκωση των κόκκων και η ζελατινοποίηση σύμφωνα με τους Casasnovas et al. (2016); Nadiah et al. (2015) και Xie et al. (2013). Επίσης η επίδραση της θέρμανσης με μικροκύματα οδηγεί σε φαινόμενα εξάτμισης της υγρασίας από ένα τρόφιμο. Αυτό με τη σειρά του επηρεάζει κάποιες φυσικοχημικές ιδιότητες του τροφίμου όπως η σύσταση, το μέγεθος, το σχήμα και τις μηχανικές του ιδιότητες.

Η μελέτη της συμπεριφοράς του αμύλου ή ενός τροφίμου που περιέχει άμυλο κατά την επίδραση των μικροκυμάτων προσφέρει αποτελέσματα χρήσιμα για την επιλογή μιας σωστής τεχνολογίας επεξεργασίας, την ανάπτυξη νέων τροφίμων και άλλων βιομηχανικών εφαρμογών (Casasnovas et al., 2016; Nadiah et al., 2015; Wang et al., 2013 και Xie et al., 2013). Ιδιότητες όπως η τελική θερμοκρασία, η απώλεια υγρασίας, οι μηχανικές ιδιότητες και η μετρήσιμη διόγκωση των κόκκων προσφέρουν συγκρίσιμα αποτελέσματα για την εξαγωγή συμπεράσματος σε αυτήν την εργασία. Οι πατάτες είναι ένα λαχανικό στο οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί θέρμανση με μικροκύματα με σκοπό την λεύκανση, την αδρανοποίηση των ενζύμων και την αφυδάτωση τους για παραγωγή άλλων προϊόντων

(Liburdi et al., 2019). Η χρήση μικροκυμάτων για την αφυδάτωση των πατατών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μια πληθώρα μαγειρεμένων ή προμαγειρεμένων προϊόντων όπως τα τσιπς, η σκόνη πατάτας, οι νιφάδες πατάτας και οι κύβοι πατάτας (Wakde, 2014). Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε μελέτη της προόδου της θερμικής επεξεργασίας τροφίμων με μικροκύματα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως οδηγοί ή δείκτες της προόδου θερμικής επεξεργασίας για πιθανή εφαρμογή τους στην βιομηχανική παραγωγή και επεξεργασία τροφίμων με μικροκύματα, όπως μαγειρεμένες ή προ μαγειρεμένες πατάτες και επεξεργασμένα τρόφιμα που περιέχουν άμυλο (σάλτσες, σούπες).

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΙΣΗ

2.1 Μικροκύματα

2.1.1 Φύση μικροκυμάτων

Τα μικροκύματα είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανήκει στις ραδιοσυχνότητες με συχνότητα 0,3 GHz έως 300 GHz και μήκη κύματος 1 mm – 1 m . Η συχνότητα f συνδέεται με την ταχύτητα του φωτός c με ένα χαρακτηριστικό μήκος κύματος λ με την παρακάτω σχέση:

$$\lambda_o = c/f$$

- λ_o : μήκος κύματος στο κενό (cm)
- c : η ταχύτητα του φωτός (3×10^{10} cm/s)
- f : η συχνότητα (Hz)

Όσο χαμηλότερη είναι η συχνότητα μικροκυμάτων, τόσο καλύτερη είναι η διείσδυση. Η συνήθης οικιακή συχνότητα λειτουργίας των μικροκυμάτων είναι τα 2450 MHz, η οποία χρησιμοποιείται προς αποφυγή παρεμβολών με άλλα ηλεκτρομαγνητικά δίκτυα, όπως στις τηλεπικοινωνίες. Αντίθετα για Βιομηχανική χρήση στην Ευρώπη χρησιμοποιείται συχνότητα μικροκυμάτων 895 MHz και στις ΗΠΑ 915 MHz (Guo et al., 2017).

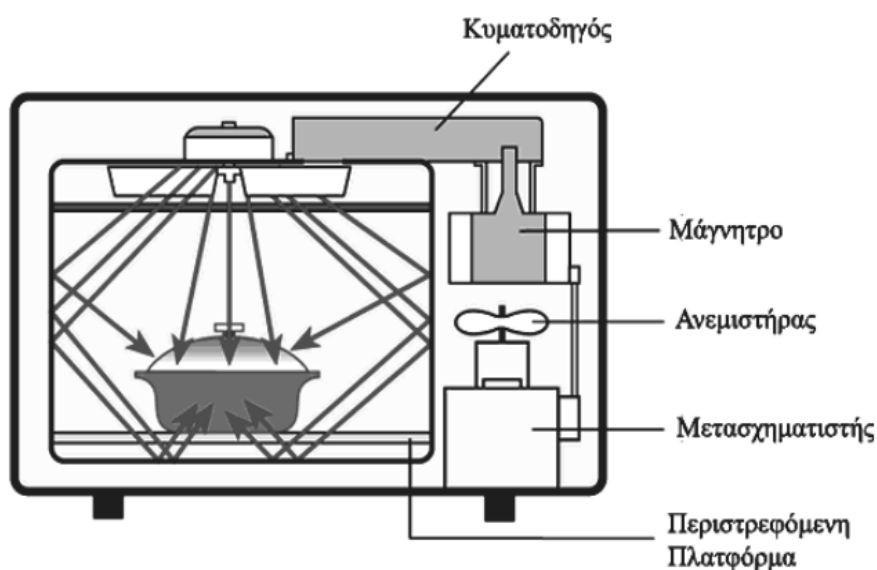
2.1.2 Ιδιότητες μικροκυμάτων

Τα μικροκύματα δεν φέρουν θερμότητα αλλά ηλεκτρική ενέργεια και ανακλώνται από τα μέταλλα. Διαπερνούν υλικά όπως το γυαλί, τα κεραμικά, τα πλαστικά και το χαρτί αλλά όχι μέταλλα, γι 'αυτό δεν συνιστάται η χρήση μεταλλικών δοχείων ή σκευών σε φούρνο μικροκυμάτων. Επίσης τα τρόφιμα είναι μερικώς διαφανή σε αυτά, διεισδύουν στην μάζα τους και μέρος της ηλεκτρική ενέργειας που μεταφέρουν μετατρέπεται σε θερμότητα (John, 1973).

2.1.3 Φούρνος μικροκυμάτων

Η θέρμανση των τροφίμων με μικροκύματα πραγματοποιείται μέσα σε ειδικούς φούρνους μικροκυμάτων. Οι φούρνοι μικροκυμάτων μπορεί να υπάρξουν σε 2 μορφές. Έχουν είτε την μορφή θαλάμου (Σχήμα 2.1) μέσα στον οποίο τοποθετείται το προϊόν, είτε την μορφή τούνελ μέσα στο οποίο διέρχεται το προϊόν σε λεπτό στρώμα με την βοήθεια μεταφορικής ταινίας. Οι φούρνοι μικροκυμάτων επιβάλλεται να σφραγίζονται καλά και να έχουν πολύ καλή μόνωση για αποφυγή τυχόν διαρροής μικροκυμάτων η οποία θα μπορούσε να

αποτελέσει πρόβλημα για την ασφάλεια του χειριστή. Επίσης οι φούρνοι μικροκυμάτων είναι εφοδιασμένοι με 4 βασικά συστήματα από τα οποία γίνεται η παραγωγή και η διανομή των μικροκυμάτων. Το μάγνητρο το οποίο αποτελεί την πηγή μικροκυμάτων που παράγει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, τους κυματοδηγούς μέσα στους οποίους μεταφέρονται και ανακλώνται τα μικροκύματα (σωλήνες αλουμινίου) και το σύστημα ανάδευσης των μικροκυμάτων (ανεμιστήρα) για ομοιόμορφη κατανομή τους στο χώρο και τέλος με σύστημα περιστροφής του τροφίμου ώστε να υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή (Thostenson and Chou, 1999; Μπλούκας, 2004).



Σχήμα 2.1 Απεικόνιση τυπικού θαλάμου μικροκυμάτων (Γιώτη, 2016) .

2.1.4 Ιστορική εξέλιξη

Η θέρμανση τροφίμων με ακτινοβολία μικροκυμάτων ανακαλύφθηκε τυχαία τη δεκαετία του 1940, όταν ο Πέρσι Σπένσερ, ένας αυτοδίδακτος μηχανικός έφτιαχνε μάγνητρα για ραντάρ ως εργαζόμενος της εταιρίας Raytheon. Καθώς εργαζόταν σε ένα ενεργοποιημένο ραντάρ παρατήρησε πως μία σοκολάτα που είχε στην τσέπη του άρχισε να λιώνει. Το ραντάρ είχε λιώσει την σοκολάτα μέσω μικροκυμάτων. Το πρώτο τρόφιμο που ετοιμάστηκε εκούσια με μικροκύματα από τον Σπένσερ ήταν τα ποπ κορν. Ο Radarange, ήταν ο πρώτος φούρνος μικροκυμάτων που κατασκευάστηκε στον κόσμο μέχρι το 1947 και ήταν αρκετά ακριβός (Ackerman, 2016). Πλέον οι φούρνοι μικροκυμάτων είναι ιδιαίτερα προσιτοί οικονομικά και έχουν εξαπλωθεί σε πολλά νοικοκυριά.

2.1.5 Θέρμανση με μικροκύματα

Η θέρμανση των τροφίμων με μικροκύματα στηρίζεται πρώτον στην παλινδρομική αναστροφή των μορίων του νερού που απαντούν στο τρόφιμο ως δίπολα και δεύτερον στην ηλεκτροφόρηση των ιόντων που υπάρχουν στο τρόφιμο (Μπλούκας, 2004).

Το μάγνητρο του φούρνου μικροκυμάτων δημιουργεί ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο, στο οποίο τα πολικά μόρια όπως αυτό του νερού από την αρχική τυχαία θερμική κίνηση αλλάζουν σύμφωνα με τον προσανατολισμό της κατεύθυνσης του ηλεκτρικού πεδίου. Η γρήγορη όμως εναλλαγή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, περίπου δυο δεσεκατομμύρια φορές το δευτερόλεπτο, προκαλεί αντιστροφή των δίπολων του νερού με αποτέλεσμα τη δημιουργία τριβών μεταξύ των μορίων και τελικά την παραγωγή θερμότητας. Η αύξηση της θερμοκρασίας των μορίων του νερού λόγω των τριβών προκαλεί με τη σειρά της αύξηση της θερμοκρασίας των παρακείμενων συστατικών των τροφίμων με αγωγιμότητα ή επαγωγή, ή και με τους δύο τρόπους. Εδώ εμφανίζεται και η ιοντική αγωγιμότητα, ένας άλλος σημαντικός μηχανισμός στη θέρμανση με μικροκύματα. Τα θετικά και τα αρνητικά ιόντα των διαλυμένων αλάτων σε τρόφιμα, όπως το κοινό άλας, αλληλεπιδρούν επίσης με το ηλεκτρικό πεδίο και μεταφέρονται προς τις αντίθετα φορτισμένες περιοχές του ηλεκτρικού πεδίου και διασπών τους δεσμούς υδρογόνου με το νερό για να δημιουργήσουν επιπλέον θερμότητα. Η συμβολή των ιόντων στη θέρμανση των τροφίμων με μικροκύματα είναι πολύ μικρή σε σχέση με τη θέρμανση λόγω των τριβών που προκαλούν τα δίπολα του νερού. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι με μικροκύματα μπορούν να θερμανθούν μόνο τρόφιμα τα οποία περιέχουν νερό, τα μόρια του οποίου ενεργούν ως δίπολα, ενώ το ίδιο αποτελεί το μέσο για τη διάλυση των αλάτων σε ιόντα. (Lakshmi et al., 2015; New et al., 2017; Μπλούκας, 2004).

2.1.6 Διηλεκτρικές ιδιότητες των τροφίμων

Η ικανότητα των τροφίμων να μετατρέψουν την ενέργεια των μικροκυμάτων σε θερμότητα μπορεί να γίνει κατανοητή από τις διηλεκτρικές τους ιδιότητες. Οι διηλεκτρικές ιδιότητες (dielectric properties) είναι ένα μέτρο της ηλεκτρικής πολωσιμότητας του υλικού, που δείχνει την ικανότητα των δίπολων να ανταποκρίνονται στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Καθορίζουν το πόσο καλά ένα τρόφιμο απορροφά τα μικροκύματα. Τις διηλεκτρικές ιδιότητες των τροφίμων αποτελούν η διηλεκτρική σταθερά, ο συντελεστής διηλεκτρικών τριβών και η εφασπτομένη διηλεκτρικών τριβών. Κατά κανόνα, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή των διηλεκτρικών ιδιοτήτων ενός τροφίμου, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας απορροφά το τρόφιμο και τόσο καλύτερα θερμαίνεται (Guo et al., 2017; Μπλούκας, 2004).

Η διηλεκτρική σταθερά (dielectric constant, ϵ') εκφράζει την ικανότητα του τροφίμου να αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια στη μάζα του. Όταν η συχνότητα παραμένει σταθερή τότε όσο μεγαλύτερη είναι η διηλεκτρική σταθερά ϵ' ενός προϊόντος, τόσο πιο αργή είναι η ταχύτητα διείσδυσης των μικροκυμάτων στο προϊόν και κατ' επέκταση τόσο πιο μικρό το βάθος διείσδυσης. (Regier et al., 2017; Μπλούκας, 2004).

Τα μικροκύματα που διεισδύουν στο εσωτερικό του προϊόντος μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια. Η ικανότητα ενός προϊόντος να απορροφά ηλεκτρική ενέργεια και να την μετατρέπει σε θερμότητα, μέσω των τριβών που αναπτύσσονται μεταξύ των δίπολων, εκφράζεται με το συντελεστή διηλεκτρικών τριβών (dielectric loss factor, ϵ''). Ένας μεγάλος ο συντελεστής διηλεκτρικών τριβών ϵ'' ενός προϊόντος, δείχνει ότι το τρόφιμο μπορεί να μετατρέψει γρηγορότερα την ηλεκτρική ενέργεια των μικροκυμάτων σε θερμότητα. (Harrison and Whittaker, 2003; Μπλούκας, 2004).

Η ταχύτητα με την οποία η ενέργεια των μικροκυμάτων διεισδύει στο τρόφιμο και μετατρέπεται σε θερμότητα ορίζεται ως εφαπτομένη διηλεκτρικών τριβών (dielectric loss tangent, $\epsilon\delta = \epsilon''/\epsilon'$). Για την εφαπτομένη διηλεκτρικών τριβών ισχύει ότι και για το συντελεστή διηλεκτρικών τριβών, δηλαδή μια μεγάλη εφαπτομένη διηλεκτρικών τριβών, σημαίνει ότι η απορρόφηση της ενέργειας των μικροκυμάτων από το προϊόν ως θερμότητα και ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας μέσα σε αυτό θα είναι μεγάλα (Harrison and Whittaker, 2003; Μπλούκας, 2004).

Το επίπεδο της υγρασίας, του αλατιού, του λίπους, των υδατανθράκων και των πρωτεϊνών στα τρόφιμα επηρεάζει τις διηλεκτρικές και θερμικές ιδιότητες, ως εκ τούτου επηρεάζουν την αλληλεπίδραση των τροφίμων με τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Η απορρόφηση μικροκυμάτων και οι ενδεχόμενες τελικές θερμοκρασίες επαναθέρμανσης των τροφίμων μπορούν να μεταβληθούν μεταβάλλοντας τα προαναφερθέντα συστατικά σύνθεσης. Το νερό αποτελεί ένα σημαντικό συστατικό των τροφίμων και είναι ένας υψηλός απορροφητής μικροκυμάτων. Κατά συνέπεια η ποσότητα νερού στα τρόφιμα επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το επίπεδο απορρόφησης και θέρμανσης μικροκυμάτων κυρίως λόγω της διπολικής του φύσης. Άλλα συστατικά τροφίμων όπως τα διαλυμένα άλατα δρουν ως αγωγοί και μειώνουν τη διείσδυση μικροκυμάτων στη τροφή. Τα λίπη παρουσιάζουν μικρή ηλεκτρική πολικότητα σε σύγκριση με τα διπολικά μόρια όπως το νερό και συνεπώς λαμβάνουν μικρή θέρμανση απευθείας από τα μικροκύματα. Οι υδατάνθρακες και οι πρωτεΐνες τείνουν να δεσμεύουν ένα μέρος νερού στα τρόφιμα, εμποδίζοντας έτσι την απορρόφηση μικροκυμάτων από το νερό, μειώνοντας έτσι το φαινόμενο θέρμανσης με μικροκύματα. Γενικότερα όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε άλατα τόσο αυξάνεται και ο συντελεστής

διηλεκτρικών τριβών και η απορρόφηση ενέργειας από το υλικό (Lyng et al., 2014; Μπλούκας, 2004).

2.1.7 Παράμετροι που επηρεάζουν την θέρμανση με μικροκύματα

Η θέρμανση των τροφίμων με μικροκύματα επηρεάζεται από διάφορες παραμέτρους οι οποίες αφορούν τόσο τον εξοπλισμό, όσο και το τρόφιμο που θερμαίνεται. Καθώς τα μικροκύματα που προσπίπτουν στην επιφάνεια και διεισδύουν στο εσωτερικό ενός τροφίμου, χάνουν ηλεκτρική ενέργεια η οποία μετατρέπεται σε θερμότητα στο συγκεκριμένο σημείο διείσδυσης των μικροκυμάτων. Κατόπιν με αγωγιμότητα ή επαγωγή, δημιουργείται μια διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του σημείου παραγωγής της θερμότητας και του περιβάλλοντος χώρου. Η ταχύτητα διάχυσης της θερμότητας είναι μια παράμετρος που επηρεάζει τη θέρμανση του τροφίμου και εξαρτάται από την θερμική αγωγιμότητα του. Αν το προϊόν δεν έχει καλή θερμική αγωγιμότητα υπάρχει κίνδυνος να υπερθερμανθεί στην επιφάνεια του ενώ το εσωτερικό του θα παραμείνει κρύο (Liu et al., 2014; Wakde, 2014; Μπλούκας, 2004).

Σύμφωνα με τον Μπλούκα (2004) η ισχύς της ενέργειας μικροκυμάτων (P_v), που απορροφάται με τη μορφή θερμότητα από το τρόφιμο, ορισμένου όγκου V , στην μονάδα του χρόνου δίνεται από την εξίσωση :

$$P_v = k \cdot E^2 \cdot f \cdot \varepsilon''$$

- k : σταθερά που εξαρτάται από τις μονάδες ισχύος και όγκου
- E : η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε Volt / cm
- f : η συχνότητα των μικροκυμάτων σε Hz
- ε'' : ο συντελεστής διηλεκτρικών τριβών

Επίσης η αύξηση της θερμοκρασίας στην μονάδα του χρόνου, την οποία θα προκαλέσει στο προϊόν η απορρόφηση της ενέργειας των μικροκυμάτων δίνεται από την σχέση :

$$\frac{d\theta}{dt} = k' \cdot E^2 \cdot f \cdot \frac{\varepsilon''}{\rho \cdot c}$$

- k' : σταθερά που εκφράζει τις μονάδες θερμοκρασίας και χρόνου
- ρ : η πυκνότητα
- c : η ειδική θερμότητα του προϊόντος

Από τον παραπάνω τύπο προκύπτει ότι ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας ενός προϊόντος κατά την θέρμανση του με μικροκύματα είναι ανάλογος προς τον συντελεστή διηλεκτρικών τριβών ε'' και αντιστρόφως ανάλογος προς την πυκνότητα και την ειδική

θερμότητα του προϊόντος που προσδιορίζουν την θερμοχωρητικότητα του. Αυτό συμπεραίνεται από το ότι για κάθε συγκεκριμένη συσκευή, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E και η συχνότητα των μικροκυμάτων είναι σταθερές και ο συντελεστής τριβών ϵ'' , η πυκνότητα ρ και η ειδική θερμότητα c είναι ιδιότητες που εξαρτώνται από το προϊόν (Harrison and Whittaker, 2003; Μπλούκας, 2004).

Μια ακόμη παράμετρος είναι το βάθος διείσδυσης των μικροκυμάτων. Το βάθος στο οποίο η ενέργεια των μικροκυμάτων κατά την διείσδυση τους στο προϊόν μειώνεται στο $1/e$ ($e=2,72$), δηλαδή περίπου στο 37%, ορίζεται ως βάθος διείσδυσης. Το βάθος διείσδυσης (d) είναι ανάλογο προς το μήκος κύματος (λ) των μικροκυμάτων και εξαρτάται από τις διηλεκτρικές ιδιότητες ϵ' εφδ του προϊόντος.

$$d = \frac{\lambda}{2\pi(\epsilon' \cdot \epsilon\phi\delta)^{1/2}}$$

Σε βάθος d απορροφάται το 63% της ενέργειας των μικροκυμάτων ως θερμότητα, σε βάθος $2d$ θα απορροφηθεί το 13.7% και σε $3d$ το 5%. Προκύπτει λοιπόν πως ένα ομοιογενές τρόφιμο θα θερμανθεί πιο γρήγορα στα εξωτερικά του στρώματα, όταν το πάχος του προϊόντος είναι πολύ μεγαλύτερο από το βάθος διείσδυσης (Regier et al., 2017; Μπλούκας, 2004).

Η περιεκτικότητα της υγρασίας αποτελεί μια κύρια παράμετρο της θέρμανσης με μικροκύματα. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό της υγρασίας τόσο μεγαλύτερος θα είναι ο συντελεστής διηλεκτρικών τριβών και τόσο αποτελεσματικότερη θα είναι η θέρμανση (Wakde, 2014). Επίσης το βάθος διείσδυσης των μικροκυμάτων είναι αντιστρόφως ανάλογο της περιεκτικότητας του προϊόντος σε υγρασία και της συχνότητας των μικροκυμάτων και εξαρτάται από την θερμοκρασία (Μπλούκας, 2004).

Η μάζα που θερμαίνεται επιδρά στην θέρμανση με μικροκύματα. Όσο μεγαλύτερη είναι μάζα τόσο μικρότερη θα είναι η ταχύτητα θέρμανσης (Wakde, 2014). Επίσης η πυκνότητα ενός τροφίμου επηρεάζει τη διηλεκτρική του σταθερά. Αυτό σημαίνει πως τρόφιμα με μεγάλο πορώδες παρουσιάζουν μειωμένη διηλεκτρική σταθερά. Τέλος η γεωμετρία του τροφίμου επιδρά στη θέρμανση με μικροκύματα με δύο τρόπους. Πρώτον, το μέγεθος του κάθε μεμονωμένου τεμαχίου επηρεάζει τόσο το βάθος διείσδυσης όσο και την ομοιομορφία της θέρμανσης. Και δεύτερον το σχήμα των τεμαχίων των τροφίμων επηρεάζει αποτελεσματικότερα την θέρμανση με μικροκύματα όταν τείνει να είναι ομοιόμορφο, όπως μιας σφαίρας (Wakde, 2014).

2.1.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μικροκυμάτων

2.1.8.1 Πλεονεκτήματα

- **Ταχύτερα αποτελέσματα σε μικρότερο χρόνο**

Ο υψηλός ρυθμός θέρμανσης και ο μικρότερος χρόνος μαγειρέματος αποτελεί αναμφισβήτητα το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των φούρνων μικροκυμάτων. Έχουν τη δυνατότητα να ξεπαγώσουν, να ζεστάνουν και να ψήσουν οποιοδήποτε φαγητό σε χρόνο-ρεκόρ (Guo et al., 2017; New et al., 2017; Wakde, 2014; Wang et al., 2013; Xu et al., 2016).

- **Διατήρηση των θρεπτικών συστατικών των τροφών**

Η χρήση του φούρνου μικροκυμάτων οδηγεί σε τρόφιμα ασφαλή και ποιοτικά. Σε σχέση με την παραδοσιακή μέθοδο μαγειρέματος δεν μειώνει την διατροφική αξία των φαγητών. Κατά την παραδοσιακή μέθοδο τα τρόφιμα μαγειρεύονται κυρίως με νερό με αποτέλεσμα τα θρεπτικά συστατικά να χάνονται κατά κύριο λόγο από την έκπλυση τους στο μαγείρεμα. Οι αλλαγές στην χημική σύσταση των τροφίμων χρειάζονται κάποιο χρονικό διάστημα για να γίνουν και έτσι η ήπια και γρήγορη θέρμανση που πραγματοποιείται με τα μικροκύματα περιορίζει χημικές αντιδράσεις οι οποίες θα προκαλούσαν καταστροφή ορισμένων χημικών συστατικών. Όταν η θέρμανση πραγματοποιείται γρήγορα η ποιότητα των φρούτων και των λαχανικών όπως η γεύση, η υφή, το χρώμα και η περιεκτικότητα σε βιταμίνες και άλλα θρεπτικά συστατικά διατηρούνται καλύτερα. Παρατηρήθηκε επίσης ότι η επεξεργασία με μικροκύματα σε κοτόπουλα, βόειο κρέας, πέστροφα και αραχιδέλαιο δεν αλλάζει την σύσταση των λιπαρών οξέων σε αυτά (Guo et al., 2017; Shaheen et al., 2012).

- **Εξοικονόμηση χώρου**

Ο εξοπλισμός που απαιτείται για την θέρμανση με μικροκύματα, καταλαμβάνει το 20-30% αυτού που καταλαμβάνουν οι συμβατικές μονάδες θέρμανσης. (Regier and Schubert, 2005).

- **Δυνατότητα συνδυασμού με τις συμβατικές μεθόδους**

Η ενέργεια των μικροκυμάτων μπορεί να προστεθεί πριν, μετά ή και στις συμβατικές μονάδες θέρμανσης ή αποξήρανσης, μειώνοντας τον χρόνο των διεργασιών ως και 75% (Wakde, 2014; Xu et al., 2016).

- **Βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων**

Αντίθετα με τις συμβατικές μεθόδους, η θέρμανση με μικροκύματα δεν υποβιβάζει την σκληρότητα και τις ιδιότητες της επιφάνειας του υλικού, οι οποίες μπορεί να προκληθούν από έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες (Wakde, 2014; Wang et al., 2013; Regier and Schubert, 2005).

- **Καταπολέμηση των μικρόβιων**

Τα μικρόβια πολλαπλασιάζονται σε θερμοκρασίες από 5-60° C, αλλά ταυτόχρονα χρειάζονται και χρόνο για να αναπτυχθούν. Οι φούρνοι μικροκυμάτων επιτρέπουν το ξεπάγωμα και το μαγείρεμα σε πολύ σύντομο διάστημα, και έτσι, παρόλο που λόγω θερμοκρασίας θα μπορούσαν να αναπτυχθούν μικρόβια, δεν τους δίνεται ο απαραίτητος χρόνος για πολλαπλασιασμό (Guo et al., 2017).

2.1.8.2 Μειονεκτήματα

- **Κακή θερμική επεξεργασία τροφίμων με ανομοιογενή συστατικά**

Ένα από τα μειονεκτήματα της εφαρμογής των μικροκυμάτων κατά τη διάρκεια επεξεργασίας είναι η μη ομοιόμορφη θέρμανση ή μαγείρεμα. Λόγω της μη ομοιόμορφης κατανομής της θερμοκρασίας, ορισμένες περιοχές του υλικού θερμαίνονται πολύ γρήγορα και άλλες λαμβάνουν θερμότητα σε μικρότερο βαθμό. Αυτό μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα ή αποτυχία στην καταστροφή βακτηρίων ή παθογόνων που προκαλεί τροφικές ασθένειες (Jouquand et al., 2015; Liu et al., 2014;).

- **Έλλειψη επιθυμητού μη ενζυμικού αμαυρίσματος**

Κατά την θέρμανση με μικροκύματα δεν γίνεται επιφανειακό ροδοκοκκίνισμα και ψήσιμο των τροφίμων (Jouquand et al., 2015).

- **Αδιαπερατότητα μεταλλικών περιεκτών**

Το θερμαινόμενο με μικροκύματα προϊόν δεν πρέπει να είναι συσκευασμένο σε μεταλλικούς περιέκτες επειδή αυτοί αντανακλούν τα μικροκύματα και δεν τα αφήνουν να εισέλθουν στο προϊόν (Μπλούκας, 2004).

- **Υπερθέρμανση κατεψυγμένων τροφίμων κατά την απόψυξη**

Κατά την θέρμανση κατεψυγμένων προϊόντων μεγάλου μεγέθους η ενέργεια των μικροκυμάτων απορροφάται εκλεκτικά στο αποψυγμένο τμήμα με κίνδυνο να ανέλθει η θερμοκρασία του πολύ ψηλά και να προκαλέσει τοπική υπερθέρμανση ενώ το υπόλοιπο τμήμα του προϊόντος παραμένει ακόμα κατεψυγμένο (Μπλούκας, 2004).

2.1.9 Εφαρμογές

Η τεχνολογία των μικροκυμάτων , χάρη στη ταχύτητα , την απόδοση , τον μικρό όγκο και τον ηλεκτρονικό έλεγχο και χειρισμό έχει αλλάξει δραματικά τη βιομηχανία τροφίμων. Ο φούρνος μικροκυμάτων έχει επίσης χρησιμοποιηθεί ευρέως παγκοσμίως για την οικιακή θέρμανση τροφίμων, την αναθέρμανση, το μαγείρεμα (Liu et al., 2014).

Η χρήση μικροκυμάτων έχει εφαρμοστεί σε μεγάλο βαθμό στον τομέα της επεξεργασίας τροφίμων, όπως η ξήρανση, η θέρμανση ή το μαγείρεμα, η απόψυξη κατεψυγμένων, η παστερίωση και η διατήρηση των τροφίμων (Guo et al., 2017).

2.1.9.1 Ξήρανση

Η ποιότητα των προϊόντων παρουσιάζει ορισμένες αλλαγές κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με μικροκύματα. Αυτές οι μεταβολές περιλαμβάνουν οπτικές ιδιότητες (χρώμα, εμφάνιση), αισθητικές ιδιότητες (οσμή, γεύση), δομικές ιδιότητες (πυκνότητα, πορώδες, ειδικό όγκο), ιδιότητες υφής, ιδιότητες επανενυδάτωσης (ρυθμός επανενυδάτωσης, ικανότητα επανενυδάτωσης) και τα διατροφικά χαρακτηριστικά (βιταμίνες, πρωτεΐνες). Συγκεκριμένα, η ξήρανση με μικροκύματα έχει πολλά πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένης της χαμηλότερης συρρίκνωσης, της χαμηλότερης πυκνότητας και του υψηλότερου λόγου επανενυδάτωσης, του ποσοστού αφυδάτωσης και της εξοικονόμησης ενέργειας από την παραδοσιακή ξήρανση. Η πιο πορώδης δομή των τροφίμων που προκαλείται από την ξήρανση με μικροκύματα συμβαίνει λόγω του ταχύτερου ρυθμού ξήρανσης σε σύγκριση με την παραδοσιακή ξήρανση. Επιπλέον, υπερθέρμανση συνήθως έχει ως αποτέλεσμα τα καψίματα και την παραγωγή αρωμάτων ειδικά κατά τη διάρκεια του τελικού σταδίου της ξήρανσης με μικροκύματα. Συνήθως, για να βελτιωθεί ο ρυθμός ξήρανσης και να βελτιωθεί η ποιότητα των προϊόντων, η μέθοδος ξήρανσης με μικροκύματα και άλλες παραδοσιακές μέθοδοι ξήρανσης χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό (Guo et al., 2017).

2.1.9.2 Θέρμανση ή μαγείρεμα

Η θέρμανση ή το μαγείρεμα με μικροκύματα μπορούν να διατηρούν υψηλά επίπεδα βιοδραστικών συστατικών, αντιοξειδωτική δράση και ελκυστικό χρώμα, όταν το μαγείρεμα γίνεται χωρίς νερό ή με μικρή ποσότητα νερού. Μπορεί επίσης να μειώσει τους παράγοντες κατά της αλλοίωσης, αυξάνοντας στο μεταξύ την πεπτικότητα της πρωτεΐνης *in vitro*. Ωστόσο, το μαγείρεμα σε μικροκύματα με μεγάλη ποσότητα νερού μπορεί να προκαλέσει μεγάλη πτώση σε θρεπτικά συστατικά λόγω της έκπλυσης και της θερμικής ευκινησίας (Guo et al., 2017).

2.1.9.3 Αποστείρωση, παστερίωση, και λεύκανση

Δεδομένου ότι η ενέργεια των μικροκυμάτων μπορεί να θερμάνει αποτελεσματικά και γρήγορα πολλά τρόφιμα, έχει επίσης μελετηθεί εντατικά η χρήση της για παστερίωση και αποστείρωση. Η αποστείρωση και παστερίωση που προκαλούν τα μικροκυμάτων δεν μπορούν μόνο να μειώσουν αποτελεσματικά τους δυνητικούς μικροοργανισμούς στα τρόφιμα για να εξασφαλίσουν την ασφάλεια των τροφίμων, αλλά μπορούν επίσης να αδρανοποιούν ένζυμα με σκοπό τη διατηρησιμότητα των τροφίμων. Η αύξηση της ισχύος των μικροκυμάτων και ο χρόνος αυξάνει την αποτελεσματικότητα. Επιπλέον, η μη ομοιόμορφη αποστείρωση και παστερίωση μικροκυμάτων μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα του προϊόντος και να συντομεύσουν τη διάρκεια ζωής του (Guo et al., 2017). Τις τελευταίες δεκαετίες η αυξημένη καταναλωτική τάση για λιγότερο επεξεργασμένα τρόφιμα, οδήγησαν τις βιομηχανίες τροφίμων στην εφαρμογή νέων τεχνολογιών για την αδρανοποίηση των ενζύμων, με όσο το δυνατό λιγότερα επιβλαβή αποτελέσματα. Η χρήση των μικροκυμάτων αποτελεί μια ξηρή μέθοδο λεύκανσης ή ζεματίσματος η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να εφαρμοστεί σε λαχανικά όπως οι πατάτες, το μπρόκολο, τα καρότα και οι πιπεριές. Σε σύγκριση με την συμβατική λεύκανση με νερό ή ατμό, η χρήση μικροκυμάτων μειώνει τις απώλειες θρεπτικών συστατικών και έχει μεγαλύτερο βάθος διεύθυνσης. Παράγοντες όπως η ισχύς, η μάζα του τροφίμου, η ταχύτητα θέρμανσης και η υγρασία επηρεάζουν την επεξεργασία με μικροκύματα (Liburdi et al., 2019).

2.1.9.4 Απόψυξη κατεψυγμένων τροφίμων

Η απόψυξη κατεψυγμένου φαγητού αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες βιομηχανικές εφαρμογές των μικροκυμάτων. Η απόψυξη τους με μικροκύματα έχει πολλά πλεονεκτήματα. Παλιότερα, η σωστή απόψυξη θα διαρκούσε από αρκετές ώρες ως και 5 ημέρες, ενώ τώρα με τη χρήση μικροκυμάτων αρκούν λίγα λεπτά. Η απόψυξη με μικροκύματα μπορεί να γίνει χωρίς να αφαιρεθεί η συσκευασία, πράγμα που απλουστεύει πολύ τη διαδικασία, ενώ το τρόφιμο θερμαίνεται ομοιόμορφα και ταυτόχρονα εξαλείφονται τα βακτήρια που αναπτύσσονται στα τρόφιμα. Έτσι λοιπόν αποφεύγεται το κόστος ενός χώρου απόψυξης καθώς και το κόστος συντήρησης και καθαρισμού του (Regier and Schubert, 2005).

2.1.10 Ασφάλεια και κίνδυνοι μικροκυμάτων

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), οι φούρνοι μικροκυμάτων είναι ασφαλείς όταν χρησιμοποιούνται σωστά και διατηρούνται σε καλή κατάσταση. Όταν η

ενέργεια μικροκυμάτων απορροφηθεί από το φαγητό αλλάζει απευθείας σε θερμότητα για αυτό και τα τρόφιμα δεν γίνονται ραδιενεργά και μολυσμένα. Επίσης με την έξοδο του τροφίμου από το φούρνο δεν υπάρχει υπολειπόμενη ακτινοβολία που να έχει παραμείνει στο φούρνο. Οι φούρνοι μικροκυμάτων σφραγίζουν καλά και έχουν καλή μόνωση ώστε να αποφευχθεί η διαρροή μικροκυμάτων. Σε περίπτωση που μια ελάχιστη ποσότητα ακτινοβολίας διαρρεύσει κυρίως μέσω της γυάλινης πόρτας τότε αυτή είναι πολύ κάτω από τα διεθνή πρότυπα που θα μπορούσαν να αποτελέσουν κίνδυνο (Shaheen et al.,2012; World Health Organization, 2005).

Κίνδυνοι για την υγεία μπορεί να προκληθούν από:

A) Στα μικροατυχήματα από εγκαύματα

- Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται σε μικροατυχήματα από εγκαύματα λόγω του ότι πολλές φορές η θέρμανση με μικροκύματα οδηγεί σε υπερθέρμανση των υγρών. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας πολλοί άνθρωποι έχει τύχει να καούν από υπερθερμασμένο νερό.
- Υπάρχει κίνδυνος να προκληθεί έγκαυμα στην στοματική κοιλότητα από δοκιμή της τροφής έπειτα από θέρμανση στο φούρνο μικροκυμάτων. Αυτό οφείλεται κυρίως στον ανομοιόμορφο τρόπο ψησίματος που έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία τόσο σημείων που καίνε όσο και περιοχές που δεν έχουν ψηθεί και είναι κρύες.
- Προσοχή, επίσης, χρειάζεται στη χρήση ενός καινούργιου μαγειρικού σκεύους όταν δεν είναι γνωστό πόσο αυτό θερμαίνεται. Προτιμότερη είναι η μετακίνησή του με γάντια. (John,1973; World Health Organization, 2005)

B) Στον ανομοιόμορφο τρόπο ψησίματος

Η κύρια ανησυχία σχετικά με τη χρήση τεχνολογίας μικροκυμάτων για την ασφάλεια των τροφίμων είναι η επιβίωση δυνητικά επικίνδυνων μικροοργανισμών εξαιτίας της ανομοιόμορφης θέρμανσης. Γενικά, με την άνοδο της θερμοκρασίας τα μικρόβια θανατώνονται. Υπάρχει όμως κίνδυνος να αναπτυχθούν τα τυχόν υπάρχοντα μικρόβια αν η τροφή θερμανθεί ημιτελώς (Liu et al., 2014; New et al., 2017).

2.1.11 Σύγκριση των μικροκυμάτων και της συμβατικής θέρμανσης

Σημαντική διαφορά μεταξύ της θέρμανσης με μικροκύματα και της συμβατικής θέρμανσης είναι ότι κατά τη διάρκεια της θέρμανσης με μικροκύματα η ενέργεια μεταφέρεται απευθείας μόνο σε στοιχεία που έχουν τη δυνατότητα πόλωσης 20 μικροκυμάτων, ενώ στη συμβατική μέθοδο η θέρμανση γίνεται επιφανειακά. Επιπλέον, βελτιώνεται η αποδοτικότητα θέρμανσης του υλικού, αφού δεν θερμαίνονται τα σκεύη και δίνεται η

δυνατότητα στοχευμένης θέρμανσης κάποιου τμήματος του υλικού. Η στοχευμένη θέρμανση υλικών συνεπάγεται την γρήγορη θέρμανση του υλικού καθώς και την αποφυγή χρήσης διαλυτών με οικονομικά και περιβαλλοντολογικά οφέλη. Ένα μειονέκτημα των μικροκυμάτων έναντι των συμβατικών μεθόδων θέρμανσης είναι ότι οι χημικές αντιδράσεις εξαρτώνται περισσότερο από τον εξοπλισμό και τις ουσίες που χρησιμοποιούνται. Μια ακόμα διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων θέρμανσης είναι η τελική χημική σύσταση που παρουσιάζουν τα τρόφιμα μετά το τέλος της επεξεργασίας. Αυτή είναι αποτέλεσμα του ρυθμού της μεταφοράς και της ξεχωριστής κατανομής της θερμότητας. Όταν οι κατάλληλες θερμοκρασίες είναι γνωστές σε διάφορα σημεία του συστήματος του φούρνου μικροκυμάτων και του υλικού προς θέρμανση, είναι δυνατή η εφαρμογή των γνωστών νόμων της θερμοδυναμικής και της κινητικής για τους διάφορους υπολογισμούς που απαιτούνται. Σε τέτοιες περιπτώσεις υπάρχουν οι λεγόμενες μικροκυματικές θερμικές επιδράσεις. Σε άλλες περιπτώσεις εμφανίζονται κάποιου άλλου είδους επιδράσεις, που πιθανότατα οφείλονται στο ηλεκτρικό πεδίο. Αυτές οι επιδράσεις, αν και η ύπαρξή τους είναι αμφιλεγόμενη σε υγρά, υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι εμφανίζονται στα στερεά. Πρόκειται για τις μη θερμικές επιδράσεις (Harrison and Whittaker, 2003).

2.2 Άμυλο

Το άμυλο είναι ένας πολυσακχαρίτης που βρίσκεται κατανεμημένος στα δημητριακά στους κονδύλους και στα όσπρια ως αποθηκευτικός υδατάνθρακας. Το άμυλο αποτελεί σημαντική πηγή υδατανθράκων στη διατροφή του ανθρώπου και για αυτό παραλαμβάνεται από καλαμπόκι, πατάτες, κασσάβα και σιτάρι με σκοπό την ανθρωπινή κατανάλωση. Πρόκειται για ένα μίγμα δυο γλυκανών, της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης. Δομικό μόριο της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης είναι η άνυδρη γλυκόζη ενώ η συνήθης περιεκτικότητα του αμύλου σε αμυλόζη είναι 20-30% και της αμυλοπηκτίνης 70-80% αντίστοιχα. Η αμυλόζη είναι ένα ευθύγραμμο πολυμερές αλυσίδας α-D-γλυκοπυρανοζυλικών μορίων γλυκόζης με σύνδεση 1-4 ενώ η αμυλοπηκτίνη ένα διακλαδισμένο πολυμερές με πλευρικές αλυσίδες μορίων γλυκόζης που συνδέονται με την κύρια αλυσίδα με δεσμούς 1-6 (Belitz et al., 2009; Buleon et al., 1998; Singh et al., 2003).

Πρώτες ύλες βιομηχανικού ενδιαφέροντος είναι ο αραβόσιτος, η πατάτα, η κασσάβα, το σιτάρι (Belitz et al., 2009) καθώς και άλλες πηγές αμύλου που χρησιμοποιούνται τοπικά σε διάφορες περιοχές όπως είναι το κριθάρι, η βρώμη και οι γλυκοπατάτες. Παρόλα αυτά το καλαμπόκι είναι η κύρια πηγή αμύλου και καλύπτει πάνω από το 80% του αμύλου παγκοσμίως. Το σιτάρι ως δεύτερη παγκόσμια πηγή αμύλου καλύπτει περίπου το 8% της

παραγωγής αμύλου, ενώ μετά ακολουθεί η πατάτα, και τέταρτη η κασσάβα καλύπτοντας περίπου το 5% της παγκόσμιας παραγωγής που συγκεντρώνεται κυρίως σε χώρες της Ασίας της Νότιας Αμερικής και της Αφρικής (Bergthaller, 2004).

Το άμυλο αποτελεί τη κύρια πηγή ενέργειας τόσο για τους ανθρώπους όσο και για τα ζώα. Η σύνθεση των κόκκων του αμύλου πραγματοποιείται στους φυτικούς ιστούς των φύλων των φυτών κατά την διάρκεια της ημέρας με την χρήση ηλιακού φωτός και διοξειδίου του άνθρακα, διαδικασία γνωστή ως φωτοσύνθεση. Κατά την διάρκεια της νύχτας πραγματοποιείται υδρόλυση του αμύλου σε γλυκόζη για την μεταφορά των κόκκων αμύλου σε οργανίδια αποθήκευσης. Άμυλα διαφορετικής προέλευσης έχουν μοναδικές χαρακτηριστικές ιδιότητες που αφορούν το μέγεθος, την κατανομή του μεγέθους, τη σύνθεση και την κρυσταλλικότητα των κόκκων. Γενικά το μέγεθος των κόκκων αμύλου κυμαίνεται από 1 - 100 μm διάμετρο, το σχήμα των κόκκων μπορεί να είναι στρογγυλό, φακοειδές ή πολυγωνικό, η κατανομή του μεγέθους να είναι μονοδιάστατη ή αμφίδρομη, ενώ οι αμυλόκοκκοι μπορεί να βρεθούν μόνοι τους ή σε συσσωματώματα. Όποιες και αν είναι οι χαρακτηριστικές ιδιότητες του κάθε αμύλου, αυτές αντικατοπτρίζουν τη βοτανική προέλευση του σύμφωνα με τους Belitz et al. (2009), Jane (2004), Nadiah et al. (2015), Singh et al. (2003) και Tester et al. (2004). Το άμυλο χρησιμοποιείται σήμερα για ένα πλήθος βιομηχανικών εφαρμογών που είτε αφορά τα τρόφιμα είτε όχι. Έτσι το άμυλο χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία τροφίμων για παραγωγή σιροπιών αμύλου (σιρόπι γλυκόζης) και σιροπιών αραβοσίτου υψηλής περιεκτικότητας σε φρουκτόζη (HFCS), για την βιομηχανία χαρτιού και την κλωστοϋφαντουργία. Επίσης τα τελευταία χρόνια λόγω της αυξανόμενης ανάγκης για καύσιμα, πραγματοποιείται παραγωγή βιοαιθανόλης μετά από υδρόλυση και ζύμωση του αμύλου για την αντικατάσταση της βενζίνης ως καυσίμου (Bergthaller, 2004).

2.2.1 Δομή του αμύλου

Το άμυλο σχηματίζεται στους αμυλοπλάστες υπό τη μορφή κόκκων. Είναι ποικίλου μεγέθους, κατανομής μεγέθους και μορφής. Ένα μέσο μέγεθος των κόκκων κυμαίνεται από 1-100 μm (Belitz et al., 2009 και Singh et al., 2003) ενώ το μέγεθος αμύλου πατάτας κυμαίνεται από 15 - 110 μm και οι κόκκοι που προέρχονται από τις ρίζες του φυτού κασσάβα έχουν μέγεθος που κυμαίνεται από 5 - 35 μm σύμφωνα με τους Nadiah et al. (2015). Αυτοί οι κόκκοι είναι απλοί ή σύνθετοι, αποτελούνται από ομόκεντρες ή έκκεντρες στοιβάδες διαφορετικής πυκνότητας και αποτελούνται από μίγμα της εξαιρετικά διακλαδισμένης αμυλοπηκτίνης και της ευθύγραμμης αμυλόζης. Η αμυλόζη μαζί με την

αμυλοπηκτίνη αποτελούν το 98-99% του ξηρού βάρους του αμύλου. Η αναλογία των δυο αυτών πολυσακχαριτών διαφοροποιείται ανάλογα με τη βοτανική προέλευση του κάθε αμύλου. Στα περισσότερα είδη δημητριακών το άμυλο στο ενδοσπέρμιο κατανέμετε μεταξύ 72% έως 82% αμυλοπηκτίνη και 18* έως 33% αμυλόζη, ωστόσο ορισμένοι μεταλλαγμένοι γονότυποι αραβοσίτου, κριθαριού και ρυζιού μπορεί να περιέχουν έως και 70% αμυλόζη, ενώ άλλοι γενότυποι που καλούνται κηρώδεις μπορεί να περιέχουν λιγότερο από 1% αμυλόζη. Συνήθως τα κηρώδη άμυλα περιέχουν λιγότερο από 15% αμυλόζη, ενώ μια φυσιολογική τιμή για το ποσοστό της αμυλόζης είναι 20-35% και μια υψηλή τιμή είναι μεγαλύτερη από 40% (Belitz et al., 2009; Buleon et al., 1998; Jane 2004; Singh et al., 2003 και Tester et al., 2004).

Εκτός από την αμυλόζη και την αμυλοπηκτίνη το άμυλο περιέχει μικρές ποσότητες πρωτεϊνών και λιπιδίων. Το άμυλο που προέρχεται από δημητριακά περιέχει ενσωματωμένα στο κλάσμα της αμυλόζης λιπίδια με τη μορφή των λυσοφωσfolιπιδίων (LPL) καθώς και ελεύθερα λιπαρά οξέα (FFA). Σε μερικές περιπτώσεις η περιεκτικότητα των λυσοφωσfolιπιδίων μπορεί να φτάσει το 2% του βάρους του αμύλου για άμυλα που προέρχονται από δημητριακά και έχουν υψηλό ποσοστό αμυλόζης. Επίσης οι κόκκοι αμύλου περιέχουν και προσμίξεις λιπιδίων που δεν βρίσκονται ενσωματωμένα στο κλάσμα όπως είναι τα τριγλυκερίδια, τα γλυκολιπίδια τα φωσfolιπίδια και τα ελεύθερα λιπαρά οξέα που προέρχονται από την μεμβράνη των αμυλοπλαστών και από μη αμυλούχες πηγές. Ανεξάρτητα από την προέλευση του το άμυλο περιέχει πρωτεΐνες, που δεν προέρχονται από αυτό, στην επιφάνεια του και ενσωματωμένες μέσα σε αυτό. Οι πρωτεΐνες που βρίσκονται ενσωματωμένες μέσα στους κόκκους έχουν μεγαλύτερο μοριακό βάρος από αυτές που βρίσκονται στην επιφάνεια (50-150 και 15-30 kDa αντίστοιχα) λόγω του ότι περιλαμβάνουν υπολείμματα ενζύμων σύνθεσης του αμύλου. Ένα καθαρό άμυλο περιέχει 0,6% πρωτεΐνη και μαζί με τις ποσότητες των λιπιδίων έχουν την δυνατότητα να μετριάσουν τις λειτουργικές ιδιότητες του. Το άμυλο περιέχει επίσης σχετικά μικρές ποσότητες ανόργανων συστατικών σε ποσοστό 0,4% όπως είναι το ασβέστιο, το μαγνήσιο, ο φωσφόρος, το κάλιο και το νάτριο. Με εξαίρεση το φώσφορο όλα τα παραπάνω έχουν ελάχιστη λειτουργική σημασία. Ο φώσφορος βρίσκεται στους κόκκους του αμύλου με τρεις κύριες μορφές όπως οι φωσφορικοί μονοεστέρες, τα φωσfolιπίδια και τα ανόργανα φωσφορικά (Belitz et al., 2009; Buleon et al., 1998; Jane, 2004; Singh et al., 2003 και Tester et al., 2004).

Τα μόρια της αμυλοπηκτίνης και της αμυλόζης οργανώνονται σε ημικρυσταλλικά πολυμερή μέσα στους κόκκους του αμύλου και οι εξωτερικές αλυσίδες των μορίων της αμυλοπηκτίνης

είναι διατεταγμένες σε διπλές ελικοειδείς κρυσταλλικές δομές σύμφωνα με τον Jane (2004). Περίπου το 70% της μάζας ενός αμυλόκοκκου θεωρείται ότι είναι άμορφο και περίπου το 30% κρυσταλλικό. Οι άμορφες περιοχές περιέχουν την κύρια μορφή της αμυλόζης, και ένα σημαντικό μέρος της αμυλοπηκτίνης. Οι κρυσταλλικές περιοχές αποτελούνται πρώτιστα από αμυλοπηκτίνη. Στο πολωτικό μικροσκόπιο οι αμυλόκοκκοι δίνουν χαρακτηριστική διπλή διάθλαση με τη μορφή του σταυρού της Μάλτας. Η αμυλόζη μπορεί να διαλυθεί από τον κόκκο χωρίς διατάραξη του κρυσταλλικού χαρακτήρα. Ο βαθμός κρυσταλλικότητας εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε νερό. Για παράδειγμα για ένα αφυδατωμένο στον αέρα άμυλο πατάτας με υγρασία 19,8% ο βαθμός κρυσταλλικότητας του είναι 24%, για το υγρό προϊόν του ίδιου αμύλου με υγρασία 45-55% ο βαθμός κρυσταλλικότητας του είναι 29-35%, ενώ για το άμυλο που έχει ξηραθεί με P₂O₅ και στη συνέχεια επανυδατωθεί είναι μόνο 17%. Τα φυσικά άμυλα μπορούν να διαιρεθούν σε τύπους A, B και C. Οι A και B τύποι είναι κρυσταλλικές μορφές, ενώ ο τύπος C είναι μια μεικτή μορφή. Ο τύπος A βρίσκεται σε ένα μεγάλο μέρος των αμύλων των δημητριακών, ο τύπος B βρίσκεται συνήθως στις πατάτες, στο άμυλο καλαμποκιού με υψηλή περιεκτικότητα σε αμυλόζη και σε αναδιαταγμένα άμυλα. Ο τύπος C ανιχνεύεται σε μίγματα αμύλων από καλαμπόκι, πατάτες και κάποιων οσπρίων (Belitz et al., 2009; Jane, 2004; Singh et al., 2003; Tester et al., 2004).

2.2.2 Αμυλόζη

Η αμυλόζη είναι ένα γραμμικό πολυμερές αλυσίδας α-D-γλυκοπυρανοζυλικών μορίων με σύνδεση 1-4. Κατά μήκος της αλυσίδας υπάρχει ένας πολύ μικρός βαθμός διακλάδωσης με δεσμούς α(1-6) σύμφωνα με τους Belitz et al. (2009) και Buleon et al. (1998). Το μοριακό βάρος της αμυλόζης είναι μεταβλητό και κυμαίνεται από 1×10^5 – 1×10^6 . Ο βαθμός πολυμερισμού DP σε μονάδες (DPn) κυμαίνεται από 324-4920 με περίπου 9-20 διακλαδώσεις που ισοδυναμούν σε αλυσίδα με 9-20 μονάδες. Κάθε αλυσίδα που περιέχει περίπου 200-700 μονάδες γλυκόζης που ισοδύναμη σε ένα μοριακό βάρος που κυμαίνεται από 32.400- 113.400 σύμφωνα με τους Tester et al. (2004). Ο βαθμός πολυμερισμού στο άμυλο του σιταριού είναι 1000-2000, ενώ στην πατάτα μπορεί να φτάσει 4500. Αυτό αντιστοιχεί σε μοριακό βάρος 150-750 kDa. Οι α 1-4 γλυκοσιδικοί δεσμοί των μορίων της αμυλόζης που διαφέρουν από τους β 1-4 γλυκοσιδικούς δεσμούς της κυτταρίνης και για αυτό σχηματίζουν τυχαίες διαμορφώσεις σπείρων στο μόριο (Belitz et al., 2009; Buleon et al., 1998; Jane, 2004; Singh et al., 2003 και Tester et al., 2004).

2.2.3 Αμυλοπηκτίνη

Η αμυλοπηκτίνη είναι μια διακλαδισμένη γλυκάνη με πλευρικές αλυσίδες που συνδέονται με δεσμό 1-6 στα μόρια της γλυκόζης της κύριας αλυσίδας. Ένας μέσος όρος 15-30 μορίων γλυκόζης βρίσκονται στις βραχείς διακλαδώσεις της αλυσίδας και κάθε μια από αυτές τις αλυσίδες των διακλαδώσεων ενώνεται με διασύνδεση του C-1 στο C-6 της επόμενης αλυσίδας σύμφωνα με τους Belitz et al. (2009), Buleon et al. (1998), Jane (2004), Singh et al. (2003) και Tester et al. (2004). Η αμυλοπηκτίνη περιλαμβάνει περίπου 95% α(1-4) δεσμούς και 5% β(1-6). Η αμυλοπηκτίνη έχει τις διπλές έλικες σε παράλληλη οργάνωση. Το κύριο τμήμα της κρυσταλλικής δομής ενός αμυλόκοκκου προέρχεται από την αμυλοπηκτίνη. Η αμυλοπηκτίνη έχει πολύ υψηλό μοριακό βάρος, στη κλίμακα 10^7 έως 7×10^8 . Ο βαθμός πολυμερισμού DP_n κυμαίνεται συνήθως από 9600-15.900 και περιλαμβάνεται από τρεις κατηγορίες, αυτά με DP_n 13400 - 26500, με 4400 - 8400 και με 700 - 2100. Όπως συμβαίνει και με την αμυλόζη, το μοριακό μέγεθος, το σχήμα, η δομή και η πολυδιασπορά του μορίου ποικίλλουν ανάλογα με τη βοτανική προέλευση του αμύλου. Αντίθετα από την αμυλόζη, υπάρχει μεγάλη παραλλαγή σε σχέση με τα μήκη των αλυσίδων και τα πρότυπα διακλάδωσης. Οι αλυσίδες της αμυλοπηκτίνης είναι σχετικά σύντομες σε σύγκριση με τα μόρια της αμυλόζης. Είναι τυπικά 18-25 μονάδες. Το μήκος της αμυλοπηκτίνης ποικίλλει ανάλογα με τη βοτανική προέλευση και επηρεάζει το πολυμορφισμό της κρυσταλλικής δομής, την ζελατινοποίηση και την αποικοδόμηση του αμύλου. Η βασική οργάνωση των αλυσίδων της αμυλοπηκτίνης χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες την Α, την Β και την C. Έτσι οι εξωτερικές αλυσίδες Α είναι γλυκοσιδικά συνδεδεμένες με μια ομάδα ανάγωγης, μέσω του C6 που είναι υπόλειμμα της γλυκόζης σε μια εσωτερική αλυσίδα Β. Αυτές οι αλυσίδες Β είναι αυτές που φέρουν υποκατάστατα άλλες αλυσίδες. Οι αλυσίδα C έχει σε κάθε μόριο αλυσίδες σαν διακλαδώσεις και είναι η μόνη που περιέχει το αναγωγικό υπόλειμμα C6 (Belitz et al., 2009; Buleon et al., 1998; Jane, 2004 και Tester et al., 2004).

2.2.4 Ζελατινοποίηση και αναδιάταξη του αμύλου

Ζελατινοποίηση είναι η μη αναστρέψιμη μεταβολή – διόγκωση των κόκκων του αμύλου που αρχίζει σε μια ορισμένη θερμοκρασία κατά τη θέρμανση, όταν αυτοί εναιωρούνται σύμφωνα με τους Belitz et al. (2009) και Singh et al. (2003). Η θερμοκρασία που αρχίζει να παρατηρείται αυτή η μεταβολή λέγεται θερμοκρασία ζελατινοποίησης και σε αυτήν οι κόκκοι του αμύλου χάνουν τη διπλή ελικοειδή δομή τους με αποτέλεσμα να χάνετε ο σταυρός της Μάλτας. Κατά τη διάρκεια της ζελατινοποίησης οι κόκκοι του αμύλου απορροφούν 20-40 g νερού/g αμύλου, και το ιξώδες του αιωρήματος αυξάνεται απότομα.

Ιδιαίτερα κατά τη ψύξη του αιωρήματος το ιξώδες αυξάνεται καθώς μειώνεται η θερμοκρασία διότι τα μόρια του αμύλου αναπτύσσουν ένα δίκτυο πηκτωμάτων. Το νερό παίζει κρίσιμο ρόλο στη ζελατινοποίηση του αμύλου, διότι χωρίς την παρουσία του το άμυλο δεν ζελατινοποιείται αλλά αποσυντίθεται. Έτσι απαιτείται δυο φορές ή και περισσότερο νερό κατά βάρος αμύλου για να εξασφαλισθεί μια σταθερή θερμοκρασία ζελατινοποίησης. Συγχρόνως της ζελατινοποίησης, ένα μέρος της αμυλόζης διαχέεται έξω από τον κόκκο και πηγαίνει στο διάλυμα και κατά την τελική φάση της ζελατινοποίησης οι κόκκοι του αμύλου διαρρηγνύονται. Στην αρχική φάση της διαδικασίας της ζελατινοποίησης νερό διέρχεται αρχικά μέσα στους κόκκους του αμύλου και κατόπιν οι κρυσταλλικές περιοχές του αμύλου τήκονται με την ενυδάτωση και σχηματίζουν ένα πλέγμα πολυμερούς. Στη συνέχεια, η διόγκωση δημιουργεί ένα διάλυμα μέσω της περαιτέρω διάχυσης του νερού. Τέλος οι κόκκοι διαρρηγνύονται και το πλέγμα σπάζει σε υψηλότερες θερμοκρασίες όπως 100 °C όπου και δημιουργείται ένα διάλυμα αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης σύμφωνα με τους Belitz et al. (2009) και Jane (2004). Στη διαδικασία της ζελατινοποίησης οι γέφυρες υδρογόνου μεταξύ των αλυσίδων της γλυκόζης αρχικά σπάζουν. Η διόγκωση των άμορφων περιοχών διευκολύνει τη διάλυση της αμυλόζης από τους κρυστάλλους, με αποτέλεσμα να αποσταθεροποιούνται (Belitz et al., 2009; Singh et al., 2003).

Η πορεία της ζελατινοποίησης εξαρτάται από τη βοτανική προέλευση του αμύλου σύμφωνα με τους Belitz et al. (2009), Jane (2004). Για παράδειγμα η θερμοκρασία έναρξης της ζελατινοποίησης για ένα άμυλο αραβόσιτου κυμαίνεται από 47,8 °C και φτάνει τους 71,5 °C για ένα άμυλο κηρώδους αραβόσιτου. Η θερμοκρασία ζελατινοποίησης ενός αμύλου από κριθάρι κυμαίνεται γύρω στους 66 °C, ενώ η θερμοκρασία ενός αμύλου από αραβόσιτο με υψηλή περιεκτικότητα σε αμυλόζη είναι 58,8 °C. Η θερμοκρασία ζελατινοποίησης συσχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με το μήκος των αλυσίδων και των διακλαδώσεων στα μόρια της αμυλοπηκτίνης. Έτσι τα άμυλα που αποτελούνται από αμυλοπηκτίνη περιλαμβάνουν αλυσίδες με μεγάλο μήκος, όπως τα άμυλα αραβόσιτου με υψηλό ποσοστό αμυλόζης παρουσιάζουν υψηλές θερμοκρασίες ζελατινοποίησης, και μεγαλύτερες μεταβολές στην ενθαλπία. Εξαιρέση μπορεί να αποτελέσει το άμυλο της πατάτας, που ενώ περιέχει αμυλοπηκτίνη με μεγάλο αριθμό αλυσίδων και διακλαδώσεων εμφανίζει χαμηλή θερμοκρασία ζελατινοποίησης 58,2 °C. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η αμυλοπηκτίνη του αμύλου περιέχει υψηλή συγκέντρωση από παράγωγα φωσφορικών που λόγω των αρνητικών τους φορτιών αποσταθεροποιούν την κοκκώδη δομή του αμύλου (Jane, 2004). Η θερμοκρασία της ζελατινοποίησης εξαρτάται επίσης από παράγοντες όπως

η περιεκτικότητα σε υγρασία του εναιωρήματος. Έτσι ένα ξηρό άμυλο που έχει υγρασία 1-3% υπόκειται μόνο μικρές αλλαγές μέχρι την θερμοκρασία των 180 °C, συγκριτικά με ένα αιώρημα με 60% υγρασία που ζελατινοποιείται σε θερμοκρασία των 70 °C ή και χαμηλότερα (Belitz et al., 2009). Η διάρρηξη ενός διογκωμένου κόκκου οδηγεί στην απότομη αύξηση του ιξώδους, ωστόσο το ιξώδες ενός αιωρήματος αμύλου αυξάνεται γρήγορα με γρήγορη ψύξη και ανάμιξη, ενώ μπορεί να δημιουργηθεί και πηκτή αμύλου με γρήγορη ψύξη χωρίς ανάμιξη σύμφωνα με τους Belitz et al. (2009) και Jane (2004). Η μέτρηση του ιξώδους ενός αιωρήματος αμύλου είναι ένας τρόπος για να μετρηθεί η πορεία της ζελατινοποίησης του σε συνάρτηση με την θερμοκρασία (Belitz et al., 2009).

Με τον ορό αναδιάταξη του αμύλου (retrogradation) εννοείται η μη αντιστρεπτή μετάβαση από τη διαλυτοποιημένη ή ιδιαίτερα διογκωμένη κατάσταση σε μια αδιάλυτη, συρρικνωμένη, μικροκρυσταλλική κατάσταση. Μετά από μια εκτεταμένη περίοδο αποθήκευσης ή επαναλαμβανόμενων κύκλων κατάψυξης και απόψυξης τα μόρια αμύλου σε μια πηκτή ή ένα αιώρημα τείνουν να αναδιαταχθούν. Αυτή η κατάσταση μπορεί να επιτευχθεί άμεσα με αργή ψύξη του πολτού αμύλου. Πρόκειται για μια διαδικασία, στην οποία τα ζελατινοποιημένα μόρια αμύλου επανασυνδέονται για να σχηματίσουν μια διπλή ελικοειδή κρυσταλλική δομή. Η τάση ενός αμύλου για επαναδιάταξη ενισχύεται από παράγοντες όπως η χαμηλή θερμοκρασία κοντά στους 0 °C, οι ουδέτερες τιμές pH, η υψηλή συγκέντρωση του αμύλου, από την απουσία τασιενεργών ενώσεων και από το μοριακό βάρος και τον τύπο του αμύλου. Για παράδειγμα το άμυλο πατάτας έχει έναν αργό ρυθμό αναδιάταξης, ενώ το άμυλο αραβόσιτου ακλουθεί με μεγαλύτερο ρυθμό και τέλος το άμυλο από σιτάρι με μεγαλύτερο (Belitz et al., 2009; Jane 2004; Keetels et al., 1996 και Μαρινοπούλου, 2016).

2.2.5 Χρήση του αμύλου και επίδραση των μικροκυμάτων

Το άμυλο είναι σημαντικό μέσο αύξησης του ιξώδους και μέσο σύνδεσης που χρησιμοποιείται για την παραγωγή προϊόντων όπως τα γλυκά ζύμης, οι σούπες, οι σάλτες, οι αλοιφές, οι παιδικές τροφές και οι γεμίσεις ζαχαροπλαστικής (Belitz et al., 2009). Οι ιδιότητες του αμύλου είναι επιθυμητές για πολλές εφαρμογές, πολλές από τις οποίες σχετίζονται με τη ζελατινοποίηση και τις θρεπτικές ιδιότητες του αμύλου. Μια μορφή επεξεργασίας που χρησιμοποιείται συχνά στο άμυλο και σε προϊόντα που το περιέχουν είναι η θερμική επεξεργασία. Η θερμική επεξεργασία μπορεί να τροποποιήσει τα φυσικά χαρακτηριστικά του αμύλου, με τρόπους όπως η διόγκωση των κόκκων, η ζελατινοποίηση και η απώλεια της κρυσταλλικής δομής του. Μια μορφή θερμικής επεξεργασίας πέρα από

της συμβατικές μεθόδους είναι τα μικροκύματα. Γενικά η θέρμανση των τροφίμων με μικροκύματα έχει μια αυξητική τάση για χρήση και προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα. Για παράδειγμα οι πηκτές που σχηματίζονται σε έναν φούρνο μικροκυμάτων διαφέρουν σημαντικά από αυτές που σχηματίζονται με συμβατικό τρόπο σε παράγοντες όπως η υφή. Τα μικροκύματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τη βιομηχανία τροφίμων αποτελεσματικά και με ανταγωνιστικό κόστος σε σύγκριση με άλλες μεθόδους, για διεργασίες όπως το ψήσιμο ή απόψυξη και η παστερίωση. Τα τρόφιμα μέσα στον φούρνο μικροκυμάτων λαμβάνουν την επίδραση των μικροκυμάτων σε ένα βάθος διείσδυσης στο εσωτερικό τμήμα τους. Η διάδοση της θερμότητας κατά αυτόν το τρόπο επηρεάζει τα φυσικά χαρακτηριστικά των κόκκων του αμύλου που βρίσκονται στο τρόφιμο όπως επίσης και των υπόλοιπων συστατικών. Καθώς το άμυλο θερμαίνεται σε υδατικά συστήματα τροφίμων υφίσταται θερμικές μεταβάσεις όπως η διόγκωση των κόκκων και η ζελατινοποίηση σύμφωνα με τους Casasnovas et al. (2016), Nadiah et al. (2015) και Xie et al. (2013). Επίσης η επίδραση της θέρμανσης με μικροκύματα οδηγεί σε φαινόμενα εξάτμισης της υγρασίας από ένα τρόφιμο. Αυτό με τη σειρά του επηρεάζει κάποιες φυσικοχημικές ιδιότητες του τροφίμου όπως η σύσταση, το μέγεθος, το σχήμα και τις μηχανικές ιδιότητες. Επίσης η χρήση μικροκυμάτων είναι κατάλληλη για προϊόντα στα οποία επιθυμείται πορώδη δομή, ενώ ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια που επηρεάζουν τον καταναλωτή ως προς την αποδοχή είναι η υφή του προϊόντος. Η μελέτη της συμπεριφοράς του αμύλου ή ενός τροφίμου που περιέχει άμυλο κατά την επίδραση των μικροκυμάτων προσφέρει αποτελέσματα χρήσιμα για την επιλογή μιας σωστής τεχνολογίας επεξεργασίας, την ανάπτυξη νέων τροφίμων και άλλων βιομηχανικών εφαρμογών. Για παράδειγμα τα μικροκύματα έχουν χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στιγμιαίων ζυμαρικών από μερικώς προζελατινοποιημένη ζύμη σίτου (Casasnovas et al., 2016; Nadiah et al., 2015; Wang et al., 2013; Xie et al., 2013). Ιδιότητες όπως η τελική θερμοκρασία, η απώλεια υγρασίας, οι μηχανικές ιδιότητες και η μετρήσιμη διόγκωση των κόκκων προσφέρουν συγκρίσιμα αποτελέσματα για την εξαγωγή συμπεράσματος σε αυτήν την εργασία.

2.3 Πατάτα

2.3.1 Η ιστορία της πατάτας

Η πατάτα (*Solanum tuberosum* L.) ανήκει στην οικογένεια των ανθοφόρων φυτών. Είναι ένας εδώδιμος κόνδυλος πλούσιος σε άμυλο και αποτελεί τροφή μεγάλης θρεπτικής αξίας. Πρόκειται για μια καλλιέργεια που παράγει βρώσιμους κονδύλους εκατομμυρίων τόνων

τον χρόνο παγκοσμίως. Πιστεύεται ότι η πατάτα ξεκίνησε να καλλιεργείται πριν από περίπου 8000 χρόνια στις ορεινές περιοχές των Άνδεων, που βρίσκονται τώρα το Περού και η Βολιβία. Στο δέκατο αιώνα, οι Ισπανοί ταξιδιώτες έφεραν τις πατάτες στην Ευρώπη και από εκεί εξαπλώθηκε και σε άλλα μέρη του κόσμου. Σύμφωνα με το Διεθνές Κέντρο Πατάτας οι πατάτες καλλιεργούνται με σκοπό την βρώση σε περίπου 100 χώρες κάτω από εύκρατο, τροπικό και υποτροπικό κλίμα (Sinha and Po, 2011).

Οι πατάτες θεωρούνται ότι αποτελούν την πρώτη καλλιέργεια λαχανικών στον κόσμο και την τρίτη πιο σημαντική τροφή στον κόσμο μετά το ρύζι και το σιτάρι. Περισσότερο από ένα δισεκατομμύριο άνθρωποι παγκοσμίως τρώνε πατάτα και η παγκόσμια συνολική παραγωγή καλλιεργειών υπερβαίνει τα 300 εκατομμύρια τόνους. Η καλλιέργεια της πατάτας έχει την ικανότητα να προσαρμόζεται σε διαφορετικά κλίματα (Wood et al., 2017).

2.3.2 Θρεπτικά συστατικά

Η πατάτα είναι ένα ευπροσάρμοστο, πλούσιο σε υδατάνθρακες τρόφιμο, πολύ δημοφιλές σε όλο τον κόσμο που ετοιμάζεται και σερβίρεται με διάφορους τρόπους. Φρεσκοκομμένη, περιέχει περίπου 80% νερό και 20% ξηρή ύλη. Περίπου το 60 έως 80% της ξηρής ύλης είναι άμυλο. Βάση ξηρού βάρους, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες της πατάτας είναι παρόμοια με εκείνη των δημητριακών και είναι πολύ υψηλή σε σύγκριση με άλλες ρίζες και κονδύλους (FAO, 2008).

Επιπλέον, η πατάτα είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά. Οι πατάτες είναι πλούσιες σε πολλά μικροθρεπτικά συστατικά, ειδικά σε βιταμίνη C. Μια μεσαία πατάτα (150 g) παρέχει σχεδόν το ήμισυ της ημερήσιας απαίτησης για ενήλικες (100 mg). Αποτελεί μια καλή πηγή βιταμινών B1, B3 και B6 και μεταλλικών στοιχείων όπως το κάλιο, ο φώσφορος και το μαγνήσιο και περιέχει φολικό, παντοθενικό οξύ και ριβοφλαβίνη. Οι πατάτες επίσης περιέχουν διαιτητικά αντιοξειδωτικά, τα οποία μπορούν να διαδραματίσουν ρόλο στην πρόληψη των ασθενειών που σχετίζονται με τη γήρανση και των διαιτητικών ινών, που ωφελούν την υγεία (FAO, 2008).

2.3.3 Επεξεργασία και χρήσεις των πατατών

Μετά τη συγκομιδή, οι πατάτες χρησιμοποιούνται για διάφορους σκοπούς και όχι μόνο ως λαχανικό για το μαγείρεμα στο σπίτι. Στην πραγματικότητα, είναι πιθανό ότι λιγότερο από το 50% των πατατών που καλλιεργούνται σε όλο τον κόσμο καταναλώνονται φρέσκιες. Οι υπόλοιπα μεταποιούνται σε προϊόντα διατροφής και συστατικά τροφίμων, σε τροφή για βοοειδή, χοίρους και κοτόπουλα, μεταποιούνται σε άμυλο για τη βιομηχανία και

επαναχρησιμοποιούνται ως κόνδυλοι σπόρων προς καλλιέργεια της καλλιέργειας πατάτας της επόμενης περιόδου (International Potato Center, 2018)

Το βράσιμο αποτελεί την πιο συνηθισμένη μέθοδο παρασκευής πατάτας παγκοσμίως. Το τηγάνισμα αποτελεί μια πολύ δημοφιλή επεξεργασία της πατάτας. Για τηγανιτές πατάτες και τσιπς, το τηγάνισμα για μικρό χρόνο σε ζεστό λάδι (140 °C έως 180 °C) έχει ως αποτέλεσμα υψηλή απορρόφηση λίπους και μειώνει σημαντικά την περιεκτικότητα σε ανόργανα συστατικά και ασκορβικό οξύ. Το ψήσιμο είναι ακόμα μια μορφή επεξεργασίας των πατατών. Γενικά, το ψήσιμο προκαλεί ελαφρώς υψηλότερες απώλειες βιταμίνης C από το βρασμό, λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών του φούρνου. Οι απώλειες άλλων βιταμινών και μετάλλων κατά το ψήσιμο είναι χαμηλότερες (FAO, 2008).

Οι εγχώριες καλλιεργημένες ή αγορασμένες στις αγορές, φρέσκες πατάτες ψήνονται, βράζονται ή τηγανίζονται και χρησιμοποιούνται σε μια σειρά συνταγών όπως πολτοποιημένες πατάτες, πατατάκια, πατατόσουπα, πατατοσαλάτα και πατάτες au gratin. Ωστόσο, η παγκόσμια κατανάλωση πατάτας ως τροφή μετατοπίζεται από φρέσκα πατάτα σε προϊόντα επεξεργασίας τροφίμων με προστιθέμενη αξία. Ένα από τα κυριότερα στοιχεία αυτής της κατηγορίας είναι οι κατεψυγμένες πατάτες, οι οποίες περιλαμβάνουν τις περισσότερες τηγανιτές πατάτες που σερβίρονται σε εστιατόρια και αλυσίδες fast food παγκοσμίως. Ένα άλλο επεξεργασμένο προϊόν, είναι τα πατατάκια ("τσιπς") που αποτελούν τον μακροχρόνιο βασιλιά των σνακ σε πολλές ανεπτυγμένες χώρες. Οι αφυδατωμένες νιφάδες πατάτας χρησιμοποιούνται σε προϊόντα λιανικής πώλησης, ως συστατικά σε σνακ, ακόμη και ως επισιτιστική βοήθεια. Το αλεύρι πατάτας, χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία τροφίμων σε μείγματα κρέατος και για αύξηση του ιξώδους σε σάλτσες. Χρησιμοποιείται ως πυκνωτικό για σάλτσες και ως συνδετικό μέσο σε μίγματα κέικ, ζύμη, μπισκότα και παγωτό (International Potato Center, 2018; Xie et al. 2018;).

2.3.4 Χρήση των πατατών και επίδραση των μικροκυμάτων

Οι πατάτες είναι ένα λαχανικό στο οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί θέρμανση με μικροκύματα με σκοπό την λεύκανση και την αδρανοποίηση των ενζύμων. Πέρα από τους συνηθισμένους παράγοντες που επηρεάζουν την διεύθυνση της ενέργειας (ισχύς, υγρασία, μάζα), ο παράγοντας γεωμετρία του τροφίμου επηρεάζει τη διαδικασία της θέρμανσης. Έτσι προκύπτουν διαφορετικά αποτελέσματα αδρανοποίησης των ενζύμων για διαφορετικού γεωμετρικού σχήματος δείγματα όπως το σφαιρικό, το κυλινδρικό και το κυβικό (Liburdi et al., 2019). Η αφυδάτωση πατατών είναι μια ακόμα εναλλακτική διεργασία που μπορεί να πραγματοποιηθεί με μικροκύματα. Συγκριτικά με την αφυδάτωση

στον ήλιο και με την αφυδάτωση με θερμό αέρα παρέχει ομοιόμορφη θέρμανση και υψηλή θερμική αγωγιμότητα στις εσωτερικές πλευρές του τροφίμου, με αποτέλεσμα να μειώνει αποτελεσματικά τον χρόνο ξήρανσης. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επιταχυνθεί με τη χρήση υψηλού κενού. Η χρήση μικροκυμάτων για την αφυδάτωση των πατατών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μια πληθώρα μαγειρεμένων ή προμαγειρεμένων προϊόντων όπως τα τσιπς, η σκόνη πατάτας, οι νιφάδες πατάτας και οι κύβοι πατάτας (Wakde, 2014).

3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της προόδου της θερμικής επεξεργασίας τροφίμων με μικροκύματα. Η διερεύνηση αυτή πραγματοποιήθηκε σε τρόφιμα ή δείγματα που προσομοιάζουν πραγματικά τρόφιμα που περιέχουν άμυλο, όπως είναι οι πατάτες, τα αιώρηματα και οι πηκτές αμύλου. Συγκεκριμένα μελετήθηκε η % απώλεια υγρασίας που πραγματοποιείται κατά τη θερμική επεξεργασία με μικροκύματα σε δείγματα από πατάτες και πηκτές αμύλου. Επίσης διερευνήθηκε το μέτωπο της επεξεργασίας και η συμπεριφορά του με την πάροδο του χρόνου. Επιπλέον, σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να μελετήσει την τελική θερμοκρασία και της μεταβολές που συμβαίνουν στο μέγεθος των αμυλόκοκκων κατά την θερμική επεξεργασία αιωρημάτων αμύλου. Τέλος, διερευνήθηκαν οι μεταβολές στο μέτρο ελαστικότητας Young που συμβαίνουν σε πηκτές αμύλου κατά τη θέρμανση τους με μικροκύματα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως οδηγοί ή δείκτες της προόδου θερμικής επεξεργασίας για πιθανή εφαρμογή τους στην βιομηχανική παραγωγή και επεξεργασία τροφίμων με μικροκύματα, όπως μαγειρεμένες ή προμαγειρεμένες πατάτες και επεξεργασμένα τρόφιμα που περιέχουν άμυλο (σάλτσες, σούπες).

4. ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1 Υλικά

4.1.1 Άμυλο

Για την παρασκευή πηκτών αμύλου και αιωρημάτων αμύλου χρησιμοποιήθηκε άμυλο αραβοσίτου .Η προμήθεια του αμύλου καλαμποκιού έγινε από την εταιρία Tate & Lyle PLC.

4.1.2 Πατάτες

Για τον προσδιορισμό της προόδου της θερμικής επεξεργασίας σε πατάτες, χρησιμοποιήθηκαν πατάτες κίτρινης ποικιλίας. Η προμήθεια των πατατών έγινε από την τοπική αγορά.

4.1.3 Νερό

Για την παρασκευή αιωρημάτων και πηκτών αμύλου χρησιμοποιήθηκε απιονισμένο νερό.

4.1.4 Ερυθρό του Κονγκό

Για τη χρώση των αμυλόκοκκων κατά την εξέταση των δειγμάτων πατάτας σε οπτικό μικροσκόπιο χρησιμοποιήθηκε η χρωστική ερυθρό του Κονγκό.

4.2 Μέθοδοι

Στην ερευνητική αυτή εργασία μελετήθηκε η συμπεριφορά, δειγμάτων πατάτας, αιωρημάτων αμύλου αραβοσίτου καθώς και πηκτών αμύλου αραβοσίτου κατά την θερμική επεξεργασία τους σε φούρνο μικροκυμάτων

4.2.1 Μελέτη συμπεριφοράς δειγμάτων πατάτας

4.2.1.1 Μεθοδολογία προετοιμασίας δειγμάτων

Οι πατάτες καθαρίστηκαν και πλύθηκαν. Έγινε προετοιμασία δειγμάτων πατάτας σε κυλινδρικό και κυβικό σχήμα. Για το κόψιμο των πατατών σε κυλινδρικό σχήμα χρησιμοποιήθηκαν ανοξείδωτα καλούπια διαστάσεων 3,5 cm διαμέτρου και 3 cm ύψους. Για το κόψιμο των πατατών σε σχήμα κύβου διαστάσεων 3 cm μήκους, 3 cm πλάτους και 3 cm ύψους χρησιμοποιήθηκε ένα μαχαίρι με τη βοήθεια ενός χάρακα σχεδίου.

4.2.1.2 Θερμική επεξεργασία με μικροκύματα

Για την θερμική επεξεργασία των δειγμάτων πατάτας χρησιμοποιήθηκε φούρνος μικροκυμάτων (OMW 1221 W, OK, Germany). Οι πατάτες τοποθετήθηκαν στο φούρνο

επάνω στο κέντρο ενός πλαστικού πιάτου πολυπροπυλενίου, όπου και παρέμειναν σε αυτό όλη τη διάρκεια της επεξεργασίας. Η επεξεργασία των δειγμάτων πατάτας κυλινδρικού σχήματος με σκοπό την εξαγωγή αποτελεσμάτων για την % απώλεια της υγρασίας, έγινε σε ισχύ Low για χρονικό διάστημα 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180, 195, 210 s, σε ισχύ Medium για 15, 30, 45, 60, 75, 90 s και σε ισχύ High για 15, 30, 45, 60, 75, 150 s. Η επεξεργασία των δειγμάτων πατάτας κυβικού σχήματος έγινε σε ισχύ Medium για χρονικό διάστημα 15, 30, 45, 60, 90, 150, 210 s.

Η επεξεργασία των δειγμάτων πατάτας κυλινδρικού σχήματος με σκοπό την εξαγωγή του % ποσοστού θερμικής επεξεργασίας έγινε σε ισχύ Low για χρονικό διάστημα 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180, 195, 210, 225, 300 s, σε ισχύ Medium για 15, 30, 45, 60, 75, 90 s και σε ισχύ High για 15, 30, 45 s. Η επεξεργασία των δειγμάτων πατάτας κυβικού σχήματος έγινε σε ισχύ Medium για χρονικό διάστημα 15, 30, 45, 60, 75, 90 s. Ο χρόνος παραμονής των δειγμάτων πατάτας μέσα στον φούρνο μικροκυμάτων κατά τη επεξεργασία ελέγχονταν χειροκίνητα με τη βοήθεια χρονομέτρου.

4.2.1.3 Προσδιορισμός της % απώλειας υγρασίας

Για τον προσδιορισμό της % απώλειας υγρασίας δειγμάτων πατάτας έπειτα από την θερμική τους επεξεργασία στο φούρνο μικροκυμάτων ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία: Κάθε δείγμα πατάτας ζυγίστηκε και καταγράφηκε το αρχικό του βάρος. Το κάθε δείγμα μετά την έξοδο του από τον φούρνο μικροκυμάτων και αφού αφέθηκε για ένα χρονικό διάστημα 20 min να κρυώσει, ζυγίστηκε το τελικό του βάρος. Ο χρόνος παραμονής των 20 min ήταν απαραίτητος ώστε να διασφαλιστεί ότι κατά την μέτρηση του βάρους οι πατάτες θα είναι κρύες και δεν θα υπάρξει άλλη απώλεια υγρασίας.

Η % απώλεια υγρασίας υπολογίζεται ως εξής:

$$\% \text{ Απώλεια υγρασίας} = \frac{\text{Βάρος (g) πριν από την επεξεργασία} - \text{Βάρος (g) μετά από την επεξεργασία}}{\text{Βάρος (g) πριν από την επεξεργασία}} \times 100$$

4.2.1.4 Προσδιορισμός % ποσοστού θερμικής επεξεργασίας

Για τον προσδιορισμό του % ποσοστού θερμικής επεξεργασίας σε κάθε δείγμα πατάτας, φωτογραφήθηκε η τομή των δειγμάτων μετά από κάθετη κοπής τους και πάροδο 20 min από το τέλος της επεξεργασίας. Για τη λήψη φωτογραφιών χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία φωτογραφικής μηχανής κινητού τηλεφώνου (iPhone X, Apple Inc, USA). Η επεξεργασία των εικόνων πραγματοποιήθηκε με την χρήση του προγράμματος ImageJ του National Institute of Health των ΗΠΑ.

4.2.1.5 Οπτικό μικροσκόπιο

Η μορφολογία της επιφάνειας της επικάλυψης του μετώπου που προκάλεσε η θερμική επεξεργασία με μικροκύματα μελετήθηκε με τη χρήση οπτικού μικροσκοπίου σε Συνεστιακό Μικροσκόπιο Σάρωσης Laser (CLSM) (LSM 700, Carl Zeiss AG, Germany). Μετά από την κοπή των δειγμάτων, τμήματα από την κορυφή και τη βάση της πυραμίδας που σχηματίζει το μέτωπο της θερμικής επεξεργασίας τοποθετήθηκαν σε αντικειμενοφόρο πλάκα. Έπειτα χρωματίστηκε το κάθε τμήμα με τη χρωστική ερυθρό του Κονγκό και μετά από 5 min καλύφθηκε με καλυπτρίδα. Στη συνέχεια το δείγμα τοποθετήθηκε στο μικροσκόπιο, όπου και λήφθηκαν φωτογραφίες με τη χρήση φωτογραφικής μηχανής ενσωματωμένης στο μικροσκόπιο.

4.2.2 Μελέτη συμπεριφοράς αιωρημάτων αμύλου αραβοσίτου

4.2.2.1 Μεθοδολογία παρασκευής αιωρημάτων αμύλου αραβοσίτου

Παρασκευάστηκαν αιωρήματα αμύλου αραβοσίτου σε δύο διαφορετικές συγκεντρώσεις 5% w/w, και 10 % w/w και σε δύο διαφορετικές ποσότητες 80 g, 240 g. Για την παρασκευή αιωρημάτων 5% w/w 80 g, 10% w/w 80 g σε ένα ποτήρι ζέσεως των 100 mL ζυγίστηκαν 76 g, 72 g απιονισμένο νερό και 4 g, 8 g άμυλο αραβοσίτου αντίστοιχα. Για την παρασκευή αιωρημάτων 5% w/w 240 g, 10% w/w 240 g σε ένα ποτήρι ζέσεως των 500 mL ζυγίστηκαν 228 g, 216 g απιονισμένο νερό και 12 g, 16 g άμυλο αραβοσίτου αντίστοιχα. Σε κάθε δείγμα αιωρήματος τοποθετήθηκε ένας μαγνήτης ανάδευσης και ακολούθως έγινε ανάδευση σε ένα μαγνητικό αναδευτήρα έτσι ώστε να ομογενοποιηθεί το δείγμα.

4.2.2.2 Θερμική επεξεργασία με μικροκύματα

Για την θερμική επεξεργασία των αιωρημάτων αμύλου χρησιμοποιήθηκε φούρνος μικροκυμάτων. Η επεξεργασία των αιωρημάτων 5% w/w, 80 g έγινε σε ισχύ Low για χρονικό διάστημα 180, 300, 420, 540 s, σε ισχύ Medium για 25, 50, 75, 100 s και σε ισχύ High για 10, 20, 30, 40, s. Τα αιωρήματα 10% w/w, 80 g επεξεργάστηκαν σε ισχύ Medium για 25, 50, 75, 90 s. Τα αιωρήματα 5% w/w, 240 g επεξεργάστηκαν σε ισχύ Low για χρονικό διάστημα 540, 900, 1260, 1620 s, σε ισχύ Medium για 75, 150, 225, 260 s και σε ισχύ High για 30, 60, 90, 120 s. Τα αιωρήματα 10% w/w, 240 g επεξεργάστηκαν σε ισχύ Medium για 75, 150, 225, 260 s.

4.2.2.3 Προσδιορισμός της αρχικής και τελικής θερμοκρασίας

Αμέσως μετά την έξοδο των αιωρημάτων από τον φούρνο μικροκυμάτων με την βοήθεια ενός θερμομέτρου καταγράφηκε η τελική θερμοκρασία.

4.2.2.4 Προσδιορισμός του μεγέθους των αμυλόκοκκων – κοκκομετρική ανάλυση

Για τον προσδιορισμό της διόγκωσης των αμυλόκοκκων τα ποτηράκια ζέσεως τοποθετήθηκαν σε ένα μαγνητικό αναδευτήρα και με την βοήθεια μιας πιπέτας Pasteur μεταφέρθηκε ποσότητα αιωρήματος σε δοκιμαστικό σωλήνα. Η κοκκομετρική ανάλυση των αιωρημάτων πραγματοποιήθηκε με την χρήση οργάνου σκέδασης φωτός με ακτίνα laser (Mastersizer 2000, Malvern Instruments Ltd, United Kingdom). Για την κοκκομετρική ανάλυση κάθε δοκιμαστικός σωλήνας με το αιώρημα αμύλου τοποθετήθηκε σε ένα αναδευτήρα vortex και ακολούθως έγινε παραλαβή 2-10 ml δείγματος με την βοήθεια πιπέτας Pasteur και έπειτα προσθήκη στο δειγματοφορέα του οργάνου που περιείχε 600 mL απιονισμένο νερό. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με λογισμικό της ίδιας εταιρίας.

4.2.2.5 Οπτικό μικροσκόπιο

Η μορφολογία και η διόγκωση των κόκκων του αμύλου μελετήθηκε με τη χρήση οπτικού μικροσκοπίου σε Συνεστιακό Μικροσκόπιο Σάρωσης laser (CLSM). Μετά από ανάδευση των δοκιμαστικών σωληνών με το δείγμα, μικρή ποσότητα δείγματος τοποθετήθηκε σε αντικιμενοφόρο πλάκα με τη βοήθεια πιπέτας Pasteur και καλύφθηκε με καλυπτρίδα. Στη συνέχεια το δείγμα τοποθετήθηκε στο μικροσκόπιο, όπου και λήφθηκαν φωτογραφίες με τη χρήση φωτογραφικής μηχανής ενσωματωμένης στο μικροσκόπιο.

4.2.3 Μελέτη συμπεριφοράς πηκτών αμύλου

4.2.3.1 Μεθοδολογία προετοιμασίας δειγμάτων

Για την παρασκευή μιας δόσης (1 Kg) πηκτής αμύλου με συγκέντρωση 20% w/w σε άμυλο, ζυγιστήκαν 800 g νερού και 200 g αμύλου αραβόσιτου. Μετά την αιώρηση του αμύλου στο νερό, το αιώρημα θερμάνθηκε σε ανοξείδωτο δοχείο με τη βοήθεια ηλεκτρικού θερμαντικού μέσου υπό συνεχή ανάδευση μέχρι θερμοκρασίας 63°C όπου και σχηματίστηκε το πήγμα του αμύλου. Στη συνέχεια η ποσότητα του μίγματος διαμοιράστηκε και πληρώθηκε με τη βοήθεια σπάτουλας εργαστήριου σε ανοξείδωτα καλούπια διαστάσεων: 3,5 cm διάμετρος και 3 cm ύψος. Κατόπιν οι σχηματιζόμενες στα καλούπια

πηκτές αφέθηκαν για 24h σε θερμοκρασία δωματίου για την ψύξη και πήξη τους. Μετά το πέρας των 24h οι πηκτές βγήκαν από τα καλούπια με τη βοήθεια σπάτουλας εργαστηρίου.

4.2.3.2 Θερμική επεξεργασία με μικροκύματα

Για την θερμική επεξεργασία των πηκτών αμύλου χρησιμοποιήθηκε φούρνος μικροκυμάτων. Οι πηκτές τοποθετήθηκαν στο φούρνο επάνω στο κέντρο για μια πηκτή και σε ίδια απόσταση ακτινικά από το κέντρο για δυο πηκτές, ενός πλαστικού πιάτου πολυπροπυλενίου. Πραγματοποιήθηκε θερμική επεξεργασία για μια πηκτή στις συνθήκες Low για χρόνους 90, 180, 270, 360 s και Medium για χρόνους 90, 180, 270, 360 s. Για δυο πηκτές ταυτόχρονα μέσα στον φούρνο μικροκυμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι συνθήκες Low για χρόνους 90, 180, 270, 360, 450, 540, 630, 720, 810, 900 s και Medium για χρόνους 90, 180, 270, 360, 450 s. Η διαφορά στους χρόνους επεξεργασίας για κάθε ισχύ οφείλεται στις οπτικές διαφορές που παρατηρούνταν κατά την έξοδο των πηκτών μετά το τέλος της επεξεργασίας σε κάθε συνθήκη. Ο χρόνος παραμονής των πηκτών μέσα στον φούρνο μικροκυμάτων κατά τη επεξεργασία ελεγχόταν χειροκίνητα και με τη βοήθεια χρονομέτρου.

4.2.3.3 Προσδιορισμός της % απώλειας υγρασίας

Για τον προσδιορισμό της % απώλειας υγρασίας κατά την θερμική επεξεργασία των πηκτών με τη χρήση μικροκυμάτων, ζυγίστηκε το βάρος της κάθε πηκτής πριν από την επεξεργασία και μετά το πέρας 20 min αφότου οι πηκτές βγήκαν από τον φούρνο μικροκυμάτων. Ο χρόνος παραμονής των 20min ήταν απαραίτητος ώστε να διασφαλιστεί ότι κατά την μέτρηση του βάρους οι πηκτές θα ήταν κρύες. Η μέτρηση του βάρους σε μια ζεστή πηκτή θα επηρέαζε την απώλεια της υγρασίας διότι μετά την πάροδο την επεξεργασίας με μικροκύματα οι πηκτές συνεχίζουν να χάνουν υγρασία λόγω της συσσωρευμένης θερμότητας που αποκτήθηκε μετά από θέρμανση στον φούρνο μικροκυμάτων.

Η % απώλεια υγρασίας εξάγεται από τον τύπο:

$$\% \text{ Απώλεια υγρασίας} = \frac{\text{Βάρος (g) πριν από την επεξεργασία} - \text{Βάρος (g) μετά από την επεξεργασία}}{\text{Βάρος (g) πριν από την επεξεργασία}} \times 100$$

4.2.3.4 Προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας Young

Ο προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας Young μετρήθηκε με συμπίεση με την χρήση αναλυτή υφής (TA-XA plus, Texture Analyzer, United Kingdom,). Η ταχύτητα του εμβόλου προγραμματίστηκε στα 0,001 m/s και εφαρμόστηκε παραμόρφωση 40%. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων για την εξαγωγή του μέτρου Young πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Microsoft Office Excel 2007 της εταιρίας Microsoft Corporation. Για την

εξαγωγή των διαγραμμάτων Τάσης-Παραμόρφωσης (σ/ϵ) με σκοπό την εξαγωγή του μέτρου Young στην ελαστική περιοχή, ορίστηκε ότι η τάση (σ) θα προκύπτει μετά από διαίρεση της δύναμης (F) που ασκήθηκε στην πηκτή προς την επιφάνεια (A) της πηκτής που είναι κάθετη στη διεύθυνση της δύναμης. Η επιφάνεια της κάθε πηκτής προέκυψε από τον τύπο $A = \pi R^2$, όπου $R = 1,75$ cm. Η παραμόρφωση (ϵ) που πραγματοποιήθηκε σε κάθε πηκτή ορίζεται ως το συμπιεσμένο ύψος (ΔL) προς το συνολικό αρχικό ύψος (L) της κάθε πηκτής. Το ΔL προκύπτει από την ταχύτητα του εμβόλου (u) η οποία ήταν $0,1$ cm/s. Συνεπώς κάθε δευτερόλεπτο γινόταν συμπίεση σε $0,1$ cm πηκτής. Άρα η παραμόρφωση ορίζεται και ως $\epsilon = ut/L$. Για τον υπολογισμό του μέτρου ελαστικότητας Young στο πρόγραμμα Microsoft Excel 2007, χρησιμοποιήθηκαν τιμές τάσης - παραμόρφωσης οι οποίες αντιστοιχούν σε μέγιστο εύρος παραμόρφωσης που περιλαμβάνει όλες τις διαφορετικές συνθήκες από $0,0016$ έως $0,297$. Στο Παράρτημα 1 παρουσιάζεται τυπική καμπύλη τάσης – παραμόρφωσης με τιμές παραμόρφωσης που κυμαίνονται μεταξύ $0,06$ έως $0,25$.

4.2.4 Αντιστοιχία συνθηκών ισχύος σε W

Η αντιστοιχία της ένδειξης ισχύς στον ροοστάτη του φούρνου μικροκυμάτων με την πραγματική ενέργεια που αποδίδει στον θάλαμο είναι η εξής: Low = 119 W, Medium = 385 W, High = 700 W (OK, 2014).

4.2.5 Επεξεργασία αποτελεσμάτων

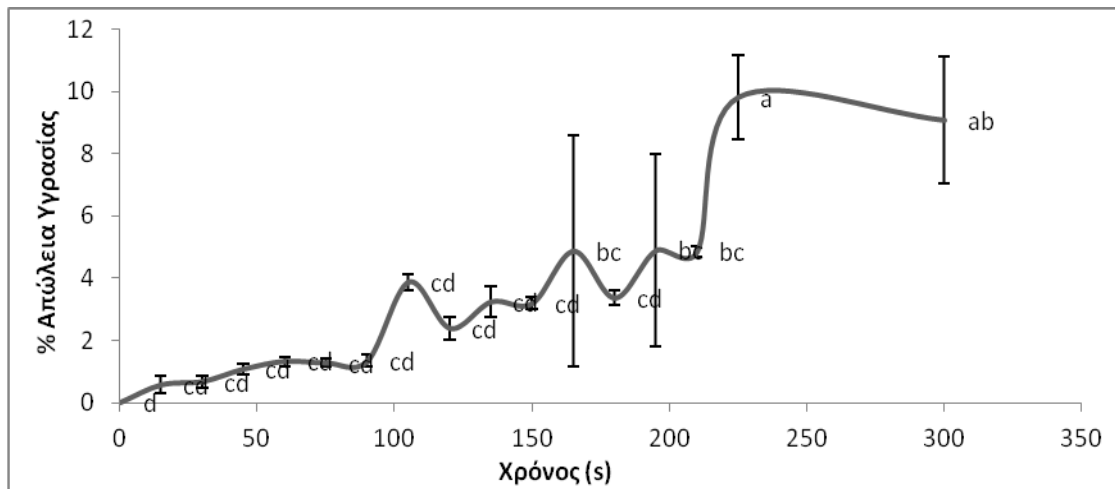
Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του προγράμματος Microsoft Office Excel 2017 (Microsoft Corporation, USA), ενώ για τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Minitab 17 Statistical Software (Minitab Inc., USA). Με τη χρήση του προγράμματος Minitab πραγματοποιήθηκαν οι έλεγχοι one-way ANOVA ($p = 0,05$) και Tukey Test. Για κάθε χρόνο επεξεργασίας, ισχύ, σχήμα, ποσότητα, συγκέντρωση και αριθμό δειγμάτων έγιναν τουλάχιστον 3 επαναλήψεις.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Μελέτης συμπεριφοράς των δειγμάτων πατάτας

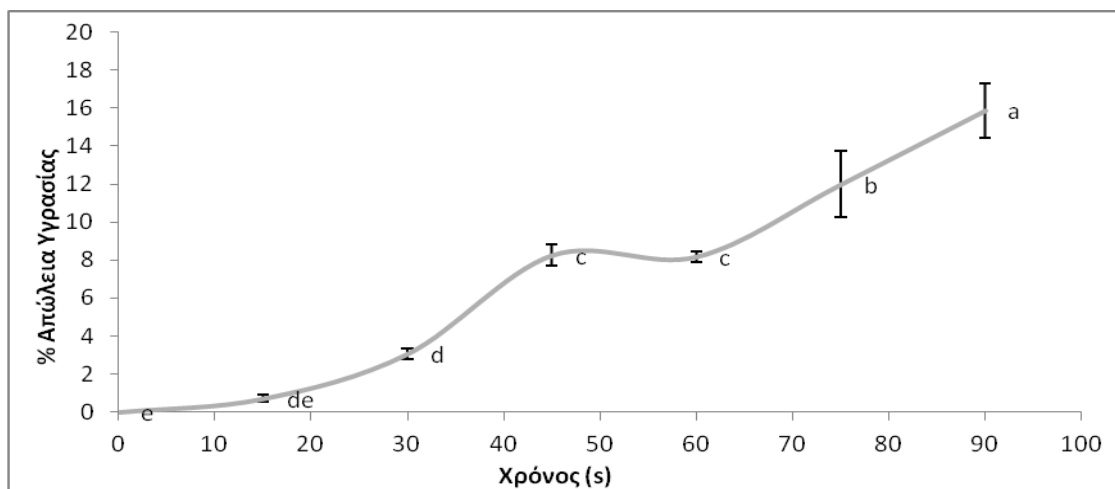
5.1.1 Προσδιορισμός της % απώλειας υγρασίας

Η % απώλεια της υγρασίας των δειγμάτων πατάτας έπειτα από τη θερμική τους επεξεργασία, διαφοροποιείται ανάλογα από τον χρόνο της επεξεργασίας, την ισχύ της επεξεργασίας και το σχήμα του δείγματος. Η διαφοροποίηση της % απώλειας υγρασίας σε σχέση με τον χρόνο επεξεργασίας στην ισχύ Low παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.1. Όπως προέκυψε από την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) η % απώλεια υγρασίας στα δείγματα επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Από τη σύγκριση των μέσων όρων του ελέγχου Tukey διαπιστώθηκε ότι τα δείγματα που επεξεργάστηκαν στους χρόνους από 30 s έως 210 s δεν παρουσιάζουν κάποια σημαντική διαφορά, παράλληλα τα αρχικά δείγματα (0 s) και τα δείγματα έως τον χρόνο 180 s, με εξαίρεση των χρόνο 165 s, δεν παρουσιάζουν καμία σημαντική διαφορά. Ωστόσο σημαντική διαφορά σε σχέση με όλους τους μικρότερους χρόνους παρουσιάζεται στον χρόνο 225 s. Αν και η απώλεια υγρασίας στον χρόνο 300 s είναι ίδια με τον χρόνο 225 s, φαίνεται ότι η απώλεια αυτή είναι και ίδια με τους χρόνους 165 s, 195 s και 210 s. Κάτι τέτοιο οφείλεται στις μεγάλες τυπικές αποκλίσεις που παρουσιάζουν οι μέσοι όροι των παραπάνω χρόνων, και δείχνει ότι η αύξηση της % απώλειας υγρασίας σε αυτήν την περίοδο των χρόνων δεν παρουσιάζει ευδιάκριτες διαφορές. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην χαμηλή ισχύ της επεξεργασίας (Low), που δεν επιτρέπει να παρουσιαστούν διαφορές ανάλογες με τους χρόνους λήψης των δειγμάτων.



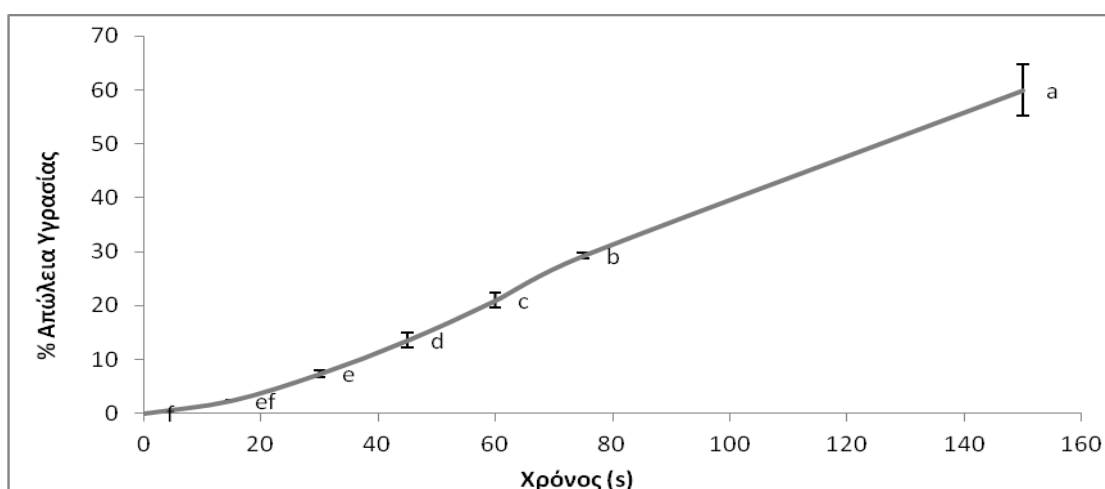
Σχήμα 5.1 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας με μικροκύματα στην % απώλεια υγρασίας στην ισχύ Low σε κυλινδρικά δείγματα πατάτας.

Η στατιστική ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) για την ισχύ Medium για τα κομμάτια κυλινδρικού σχήματος δείχνει ότι η % απώλεια υγρασίας στα δείγματα επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.2 από τη σύγκριση των μέσων όρων του ελέγχου Tukey διαπιστώθηκε ότι τα δείγματα που επεξεργάστηκαν σε χρόνο 15 s δεν παρουσιάζουν καμία σημαντική διαφορά με τα αρχικά δείγματα (0 s) καθώς επίσης ούτε και με τα δείγματα που επεξεργάστηκαν στα 30 s. Παρατηρείται ότι σε όλους τους χρόνους επεξεργασίας από 0 έως 90 s υπάρχει μια εκθετική αύξηση της % απώλειας υγρασίας με εξαίρεση τα 45 και 60 s που δεν παρουσιάζουν καμία σημαντική διαφορά και αυτό μπορεί να οφείλεται σε κάποιο εσωτερικό φαινόμενο.



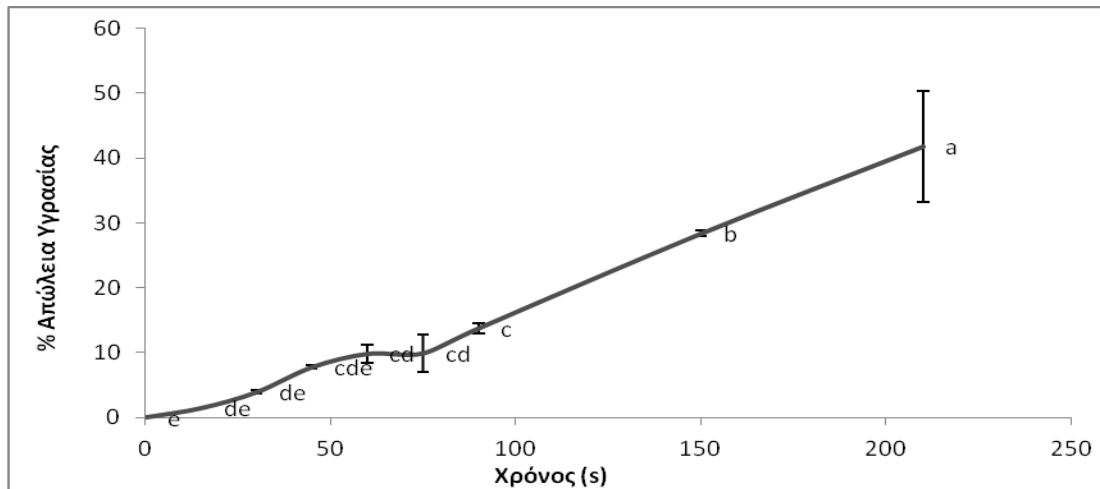
Σχήμα 5.2 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας με μικροκύματα στην % απώλεια υγρασίας στην ισχύ Medium σε κυλινδρικά δείγματα πατάτας.

Σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) που πραγματοποιήθηκε για την ισχύ High φαίνεται ότι η % απώλεια υγρασίας στα δείγματα επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Στο Σχήμα 5.3 βάση της σύγκρισης των μέσων όρων του ελέγχου Tukey παρατηρείται μια σχετικά γρήγορη αύξηση της απώλειας υγρασίας σε σχέση με τους αντίστοιχους μικρούς χρόνους επεξεργασίας των δειγμάτων. Τα δείγματα τα οποία επεξεργάστηκαν σε χρόνο 15 s δεν παρουσιάζουν καμία σημαντική διαφορά με τα αρχικά δείγματα (0 s) αλλά ούτε και με τα δείγματα τα οποία επεξεργάστηκαν στα 30 s. Αντιθέτως όσον αφορά τα δείγματα που επεξεργάστηκαν στους υπόλοιπους χρόνους παρουσιάζουν σημαντικές στατιστικές διαφορές.



Σχήμα 5.3 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας με μικροκύματα στην % απώλεια υγρασίας στην ισχύ High σε κυλινδρικά δείγματα πατάτας.

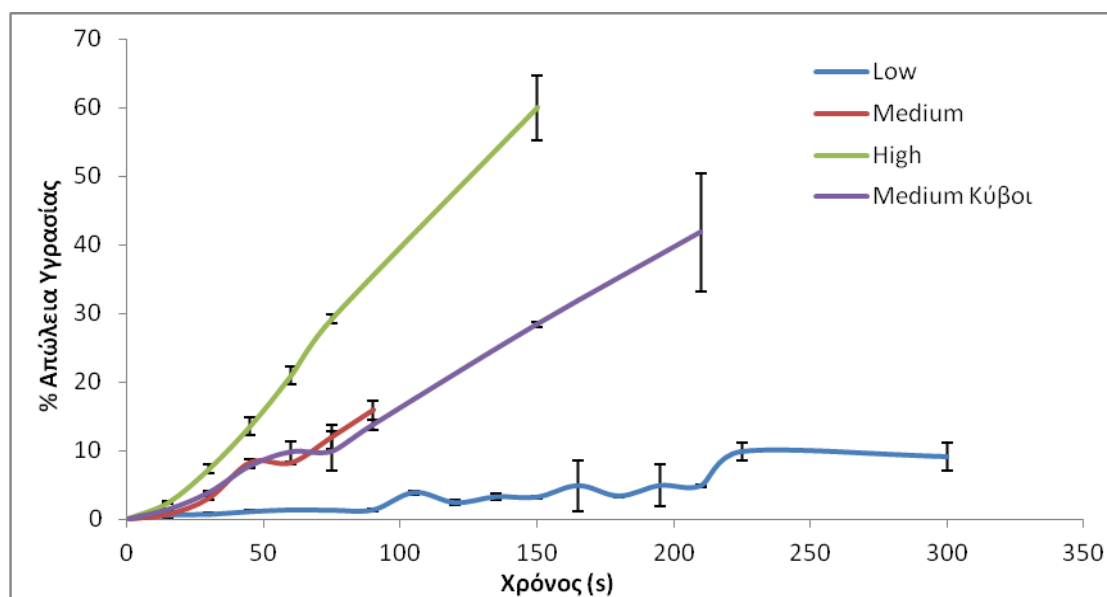
Στο Σχήμα 5.4 παρουσιάζεται το διάγραμμα σύγκρισης των μέσων όρων της % απώλεια υγρασίας σύμφωνα με τον έλεγχο Tukey σε σχέση με το χρόνο επεξεργασίας των δειγμάτων πατάτας κυβικού σχήματος σε ισχύ Medium. Όπως προέκυψε από την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) η % απώλεια υγρασίας στα δείγματα επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Τα δείγματα από 0 έως 60 s δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους όπως και τα δείγματα από 15 έως 75 s αλλά και τα δείγματα που επεξεργάστηκαν από 60 έως 90 s. Τα δείγματα τα οποία επεξεργάστηκαν σε χρόνους από 0 έως 90 s δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές. Αντίθετα τα δείγματα τα οποία επεξεργάστηκαν σε χρόνους 150 και 210 s παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στην % απώλεια υγρασίας.



Σχήμα 5.4 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας με μικροκύματα στην % απώλεια υγρασίας στην ισχύ Medium σε κυβικά δείγματα πατάτας.

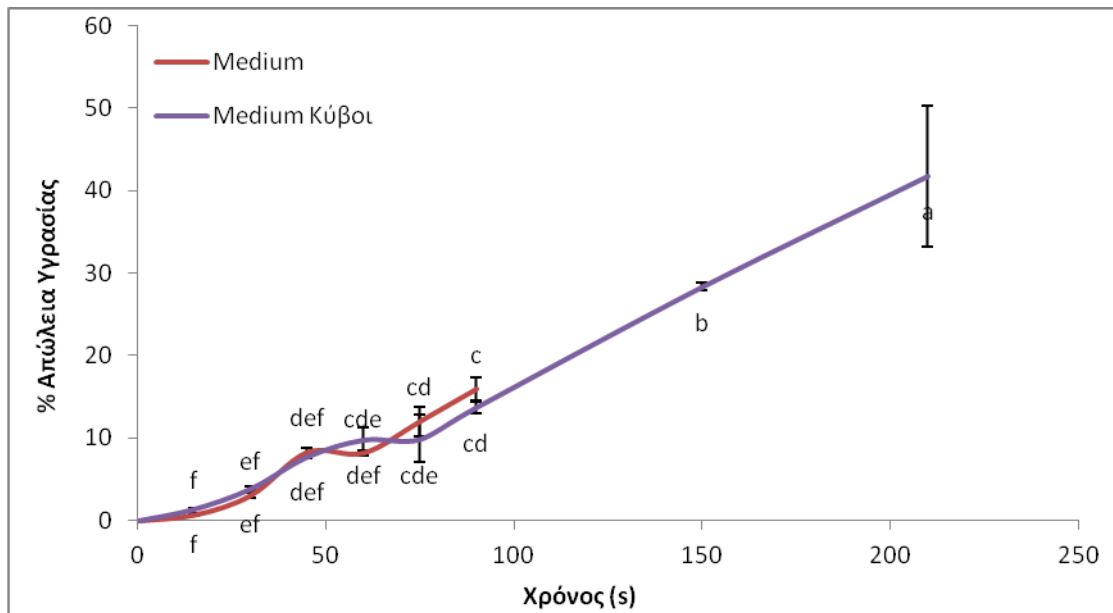
Το Σχήμα 5.5 παρουσιάζει την διαφοροποίηση της % απώλειας υγρασίας σε σχέση με την ισχύ της επεξεργασίας. Στο Σχήμα 5.5 γίνεται δυνατό να αναγνωριστούν οι διαφορές που παρουσιάζουν οι τέσσερις διαφορετικές συνθήκες ισχύς – σχήματος (Low, Medium, High, Medium Κύβοι). Όπως προέκυψε από την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) η % απώλεια υγρασίας στα δείγματα επηρεάστηκε από την ισχύ ($p = 0,000$). Στο σχήμα παρατηρείται ότι η κάθε καμπύλη ακολουθεί διαφορετική πορεία κατά την πάροδο του χρόνου, με εξαίρεση της δυο Medium καμπύλες (Medium, Medium Κύβοι). Από τη σύγκριση των μέσων όρων του ελέγχου Tukey διαπιστώθηκε ότι τα δείγματα που επεξεργάστηκαν στην ισχύ Low, Medium, Medium Κύβοι παρουσιάζουν μια στάσιμη πορεία κατά την πάροδο του χρόνου, όταν η απώλεια υγρασία βρίσκεται στο 10%. Και στις τρεις αυτές περιπτώσεις η % απώλεια υγρασίας καθυστερεί να ανέβει για ένα χρονικό διάστημα το οποίο ποικίλει, ανάλογα με την ισχύ. Στην περίπτωση της ισχύος Low, το φαινόμενο καθυστερεί να συμβεί, λόγω της χαμηλής ενέργειας που αποδίδει στο φούρνο η συγκεκριμένη ισχύ. Στην περίπτωση του Medium και Medium κυβικού σχήματος το φαινόμενο αυτό συμβαίνει ταυτόχρονα λόγω του ίδιου μεγέθους ενέργειας που προσδίδετε από την ισχύ. Το φαινόμενο αυτό δεν παρουσιάζεται στην καμπύλη της ισχύος High, που πιθανός οφείλεται στη πολύ γρήγορη αφυδάτωση που προκλήθηκε στα δείγματα. Η ποσότητα της ενέργειας που αποδόθηκε στον φούρνο λόγω της ισχύος δεν επέτρεψε στον χρόνο δειγματοληψίας να ανιχνεύσει το πότε συνέβη ένα τέτοιο φαινόμενο. Από τη σύγκριση των μέσων όρων επίσης, μπορεί να εξαχθεί μια ολοκληρωμένη άποψη για της διαφορές της κάθε ισχύος. Έτσι, η % απώλεια υγρασίας που επιτυγχάνεται στην ισχύ Medium κυβικού σχήματος στα 150 s, επιτυγχάνεται στα 75 s στην ισχύ High. Με παρόμοιο

τρόπο, η % απώλεια υγρασίας που επιτυγχάνεται στην συνθήκη Low στα 225 s, επιτυγχάνεται στα 45 s στην ισχύ High και στα 75 s στην ισχύ Medium.



Σχήμα 5.5 Επίδραση της ισχύος επεξεργασίας με μικροκύματα (Low, Medium, High κυλινδρικού σχήματος και Medium κυβικού σχήματος) στην % απώλεια υγρασίας σε συνάρτηση με το χρόνο.

Το Σχήμα 5.6 παρουσιάζει τη διαφοροποίηση της % απώλειας υγρασίας του δείγματος κατά την επεξεργασία με μικροκύματα σε σχέση με το σχήμα των δειγμάτων. Σύμφωνα με τον έλεγχο Tukey παρουσιάζεται η σύγκριση των μέσων όρων της % απώλεια υγρασίας στα δείγματα κυλινδρικού και κυβικού σχήματος σε ισχύ Medium. Από την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) προέκυψε ότι η % απώλεια υγρασίας στα δείγματα επηρεάστηκε από το σχήμα του δείγματος ($p = 0,000$). Ωστόσο τα δύο διαφορετικά σχήματα παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά στον τρόπο με το οποίο συμβαίνει η % απώλεια υγρασίας, με εξαίρεση το χρονικό διάστημα που συμβαίνει το φαινόμενο της καθυστέρησης της αύξησης της % απώλειας υγρασίας. Στα δείγματα με κυλινδρικό σχήμα το φαινόμενο αυτό συμβαίνει νωρίτερα από τα δείγματα με κυβικό σχήμα.



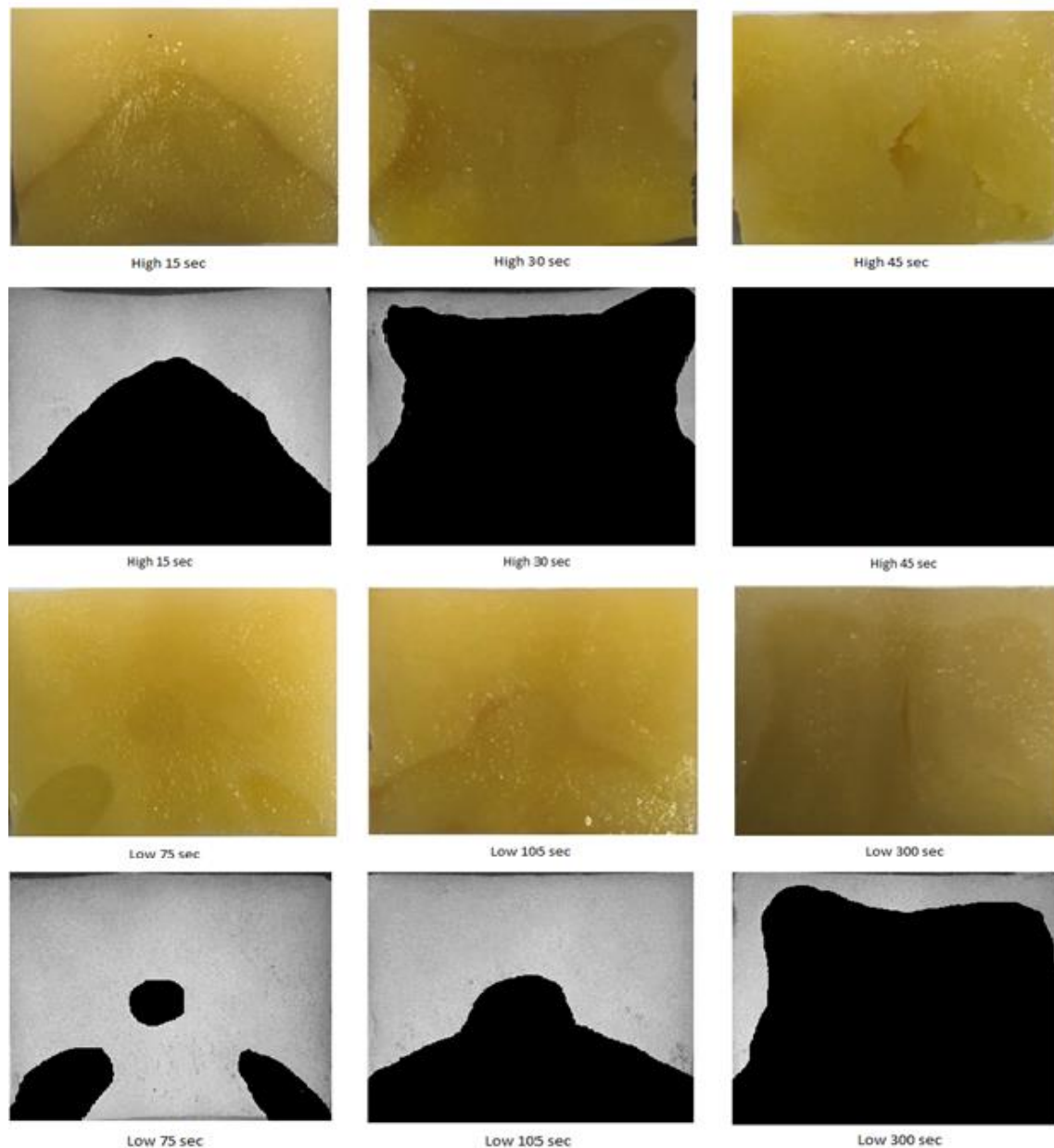
Σχήμα 5.6 Επίδραση του σχήματος του δείγματος (κυλινδρικό, κυβικό) στη % απώλεια υγρασίας στην ισχύ επεξεργασίας Medium σε σχέση με το χρόνο.

Η % απώλεια υγρασίας μελετήθηκε από τον Wakde (2014), όπου κύβοι αποφλοιωμένης πατάτας (1,2 cm x 1,2 cm x 1,2 cm) που θερμάνθηκαν σε φούρνο μικροκυμάτων σε ισχύ 160 W, 320 W, 480 W, 640 W και 800 W, κατόπιν τοποθετήθηκαν σε θάλαμο κενού για 5 λεπτά, σε επίπεδα κενού 100, 150, 200, 250 και 300 mmHg. Η μελέτη αυτή έδειξε ότι η χρήση κενού επιταχύνει την διαδικασία του χρόνου της πλήρους ξήρανσης έως και 72 % στην περίπτωση των 700 mmHg. Κύβοι πατάτας που θερμάνθηκαν σε ισχύ 320 W από 2 έως 10 min και κατόπιν τοποθετήθηκαν σε θάλαμο κενού με επίπεδο κενού από 100 έως 300 mmHg, είχαν ως αποτέλεσμα την % απώλεια υγρασίας κατά 15 % έως 23 % για δείγματα που θερμάνθηκαν 10 min. Για τα δείγματα που θερμάνθηκαν 2 min η % απώλεια υγρασίας ήταν 5% έως 8%. Η μείωση της απώλειας βάρους σε οποιαδήποτε στάθμη ισχύος αυξάνεται με τη θέρμανση καθώς επίσης και με το επίπεδο κενού (Wakde, 2014). Συγκριτικά με τα πειραματικά δεδομένα της παρούσας εργασίας παρατηρείται ότι η % απώλεια υγρασίας ήταν μικρότερη σε σχέση με την % απώλεια υγρασίας που συνέβη σε δείγματα τα οποία τοποθετήθηκαν σε θάλαμο κενού μετά την επεξεργασία του, γεγονός που πιθανόν οφείλεται τόσο στο κενό, όσο και στο μικρότερο μέγεθος των δειγμάτων.

5.1.2 Προσδιορισμός % ποσοστού θερμικής επεξεργασίας

Το % ποσοστό της θερμικής επεξεργασίας που καλύπτει τα δείγματα πατάτας διαφοροποιείται ανάλογα από τον χρόνο της επεξεργασίας, την ισχύ της επεξεργασίας και το σχήμα του δείγματος. Στο Σχήμα 5.7 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα από λήψεις

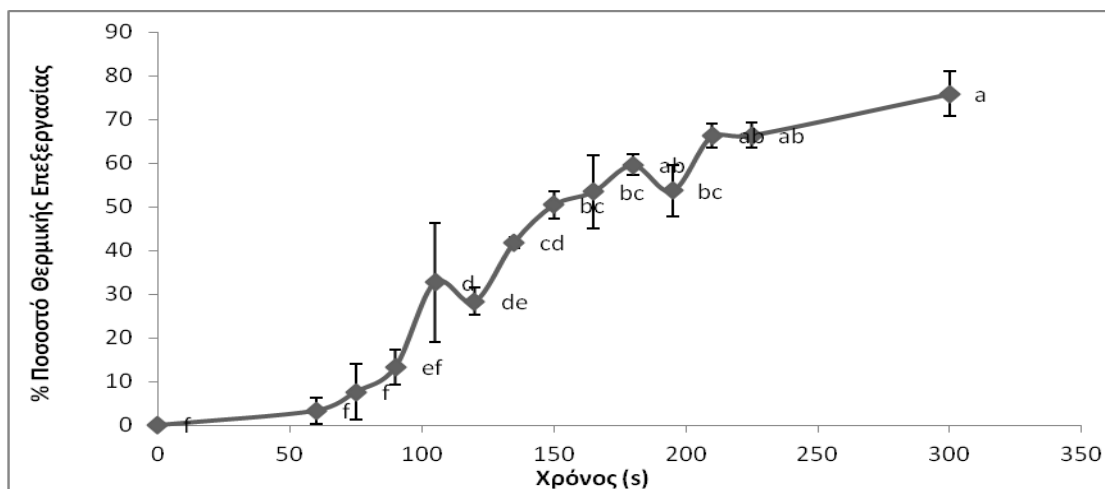
φωτογραφιών των δειγμάτων μετά από την κοπή τους, και μετά την επεξεργασία τους από το πρόγραμμα ImageJ. Το Σχήμα 5.7 παρουσιάζει ποιοτικά τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η θερμική επεξεργασία στο εσωτερικό των δειγμάτων πατάτας. Στα πρώτα στάδια της επεξεργασία παρατηρείται πως το μέτωπο της θερμικής επεξεργασίας δημιουργείται στις κάτω ακμές και στο πυρήνα του δείγματος. Στη συνέχεια το μέτωπο αυτό αυξάνεται, ενώνεται και σχηματίζει μια πυραμίδα η οποία μεγαλώνει εσωτερικά από την κορυφή της. Το μέτωπο με την πάροδο του χρόνου διαχωρίζεται από την πυραμίδα και συνεχίζει προς τις άνω ακμές του δείγματος σχηματίζοντας έτσι ένα Χ. Στο τέλος της επεξεργασίας το μέτωπο κατευθύνεται προς τα σημεία όπου δεν έχει προχωρήσει, που είναι οι εξωτερικές πλάγιες επιφάνειες και η άνω εξωτερική επιφάνεια. Παρόμοιο προφίλ θερμότητας αναφέρεται από τους Liburdi et al. (2019). Κυλινδρικά και κυβικά δείγματα αποφλοιωμένης πατάτας θερμάνθηκαν με μικροκύματα και κατόπιν κόπηκαν σε δύο ίσα μέρη κατά μήκος του δείγματος. Στη συνέχεια διάλυμα γουαϊακόλης 1 % επικαλύφτηκε στις κομμένες επιφάνειες των δειγμάτων. Η ανάπτυξη κόκκινου χρώματος καταδείκνυε την αδρανοποίηση του ενζύμου της υπεροξειδάσης (Liburdi et al. 2019). Η αντίθετη κατά μήκος κοπή των δειγμάτων μετά την επεξεργασία σε σχέση με την κάθετη κοπή των δειγμάτων που εφαρμόστηκε στη παρούσα πειραματική διαδικασία επαληθεύει το προφίλ κατά το οποίο θερμαίνεται ένα δείγμα. Στην περίπτωση των Liburdi et al. 2019 η αδρανοποίηση του ενζύμου που οφείλεται σε υψηλές θερμοκρασίες, αρχικά εμφανιζόταν στον πυρήνα του δείγματος και με την αύξηση του χρόνου διεργασίας το μέτωπο αυτό μεγάλωνε προς τη περιφέρεια της τομής κατά μήκος του κεντρικού άξονα τόσο στα κυλινδρικά όσο και στα κυβικά δείγματα. Η κάθετη τομή που εφαρμόστηκε στα δείγματα του πειραματικού μέρους όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.7 για την συνθήκη Low παρουσιάζει το μέτωπο αρχικά στον πυρήνα όπως και στην περίπτωση της υπεροξειδάσης και στις κάτω ακμές του δείγματος. Κατόπιν το μέτωπο αυτό μεγαλώνει σε σχήμα πυραμίδας, ενώ το μέτωπο στο τμήμα του πυρήνα γίνεται εμφανώς μεγαλύτερο. Με την αύξηση του χρόνου διεργασίας το μέτωπο της επεξεργασίας στο τμήμα του πυρήνα συνεχώς αυξανόταν μέχρις ότου φτάσει στις εξωτερικές επιφάνειες.



Σχήμα 5.7 Φωτογραφίες που απεικονίζουν το μέτωπο της θερμικής επεξεργασίας κάτω από διαφορετικές συνθήκες ισχύος, πριν και μετά από την επεξεργασία τους με το πρόγραμμα ImageJ.

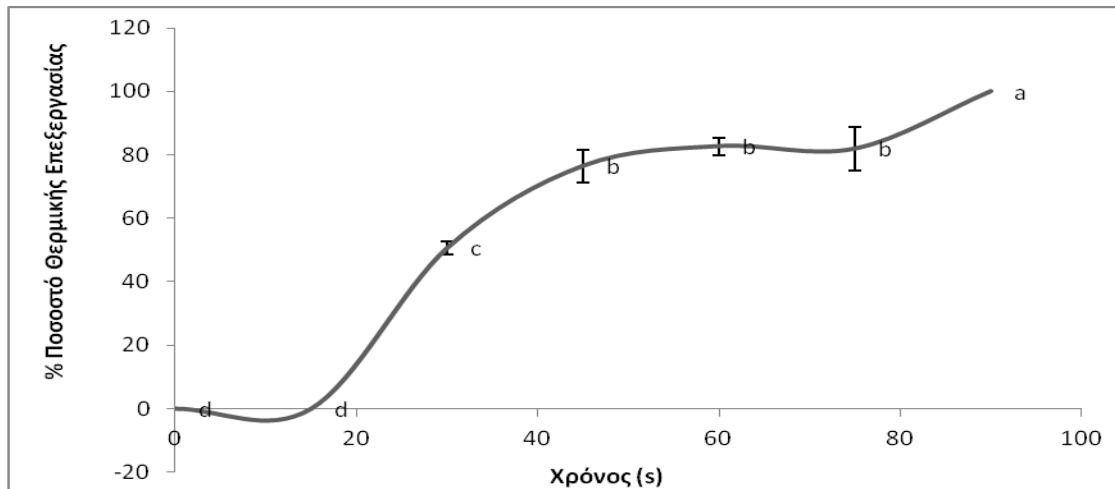
Η διαφοροποίηση του % ποσοστού της θερμικής επεξεργασίας στην ισχύ Low παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.8. Όπως προέκυψε από την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) το % ποσοστό θερμικής επεξεργασίας στα δείγματα επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Από τη σύγκριση των μέσων όρων του ελέγχου Tukey διαπιστώθηκε ότι τα δείγματα που επεξεργάστηκαν μέχρι τον χρόνο 105 s δεν παρουσιάζουν καμία σημαντική διαφορά από τα αρχικά δείγματα (0 s). Ωστόσο μετά από τον χρόνο τον 120 s παρουσιάζεται μια σταδιακή αύξηση του ποσοστού της επεξεργασίας μέχρι του χρόνου 195 s. Στον χρόνο αυτό παρατηρείται μια μείωση του % ποσοστού της θερμική επεξεργασίας που όμως δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές τόσο

με του προηγούμενους χρόνους , όσο και με τους επόμενους, λόγω της μεγάλης τιμής της τυπικής απόκλισης του μέσου όρου. Τελικά για χρόνο 300 s επιτυγχάνεται θερμική επεξεργασία μεγαλύτερη από 75 % του συνολικού δείγματος.



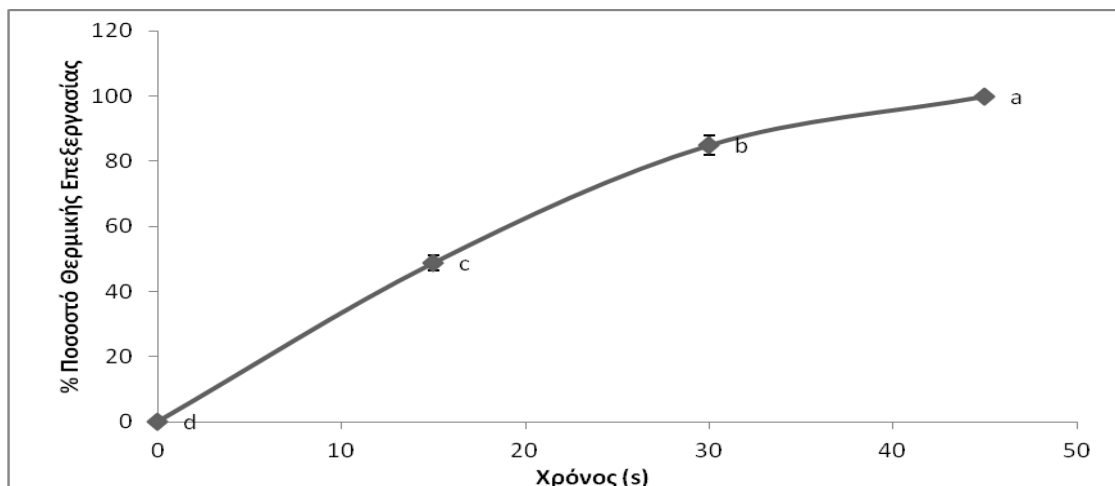
Σχήμα 5.8 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας με μικροκύματα στο % ποσοστό θερμικής επεξεργασίας στην ισχύ Low σε κυλινδρικά δείγματα πατάτας.

Η στατιστική ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) για την ισχύ Medium δείχνει ότι το % ποσοστό της θερμικής επεξεργασίας στα δείγματα επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.9, από τη σύγκριση των μέσων όρων του ελέγχου Tukey διαπιστώθηκε ότι τα δείγματα που επεξεργάστηκαν στον χρόνο 15 s δεν εμφανίζουν καμία διαφορά από τα αρχικά δείγματα καθότι και σε αυτά το % ποσοστό της θερμικής επεξεργασίας είναι 0 %. Με τη πάροδο του χρόνου, παρατηρείται εκθετική αύξηση του % ποσοστού της θερμικής επεξεργασίας μέχρι τον χρόνο 45 s. Η περίοδος μεταξύ του χρόνου 45 s και 75 s παρουσιάζεται στάσιμη, χωρίς να πραγματοποιείται κάποια σημαντική αύξηση του ποσοστού. Αυτό πιθανόν οφείλεται σε εσωτερικό φαινόμενο που συμβαίνει στο εσωτερικό του δείγματος, με αποτέλεσμα να καθυστερεί τη συνέχιση της θερμικής επεξεργασίας. Μετά το πέρας των 75 s το % ποσοστό αυξάνεται εκθετικά μέχρι τα 90 s οπότε και επιτυγχάνεται θερμική επεξεργασία στο 100 % του δείγματος.



Σχήμα 5.9 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας με μικροκύματα στο % ποσοστό θερμικής επεξεργασίας στην ισχύ Medium σε κυλινδρικά δείγματα πατάτας.

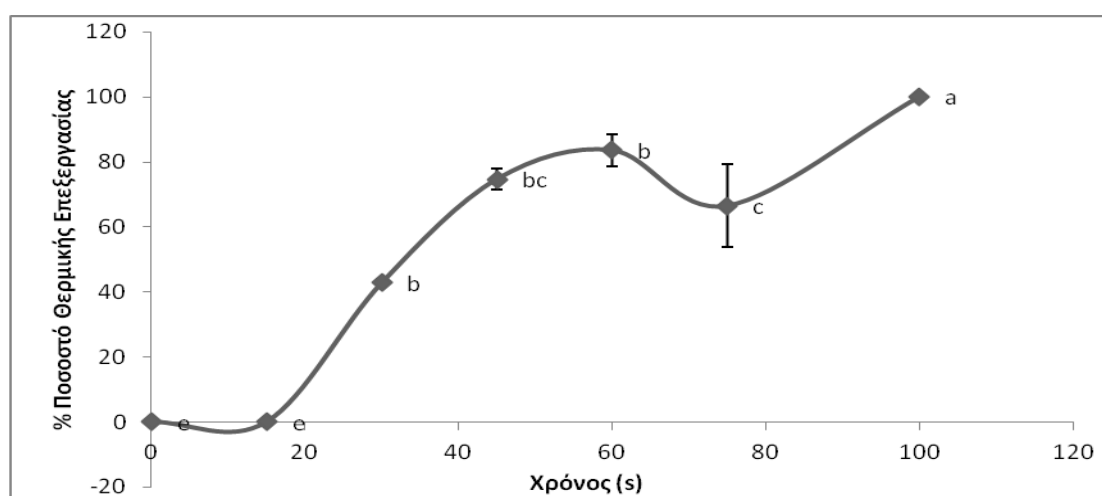
Σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) που πραγματοποιήθηκε για την ισχύ High δείχνει ότι το % ποσοστό θερμικής επεξεργασίας στα δείγματα επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Στο Σχήμα 5.10, βάσει της σύγκρισης των μέσων όρων του ελέγχου Tukey παρατηρείται μια σχετικά γρήγορη και μεγάλη αύξηση του % ποσοστού θερμικής επεξεργασίας σε σύντομο χρονικό διάστημα. Στα 15 s, το % ποσοστό θερμικής επεξεργασίας φτάνει περίπου τα 49% και στα 30 s το 85% έως τα 45 s όπου επιτυγχάνεται πλήρης επικάλυψη από το μέτωπο.



Σχήμα 5.10 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας με μικροκύματα στο % ποσοστό θερμικής επεξεργασίας στην ισχύ High σε κυλινδρικά δείγματα πατάτας.

Στο Σχήμα 5.11 παρουσιάζεται το διάγραμμα σύγκρισης των μέσων όρων του % ποσοστού θερμικής επεξεργασίας σύμφωνα με τον έλεγχο Tukey σε σχέση με το χρόνο επεξεργασίας

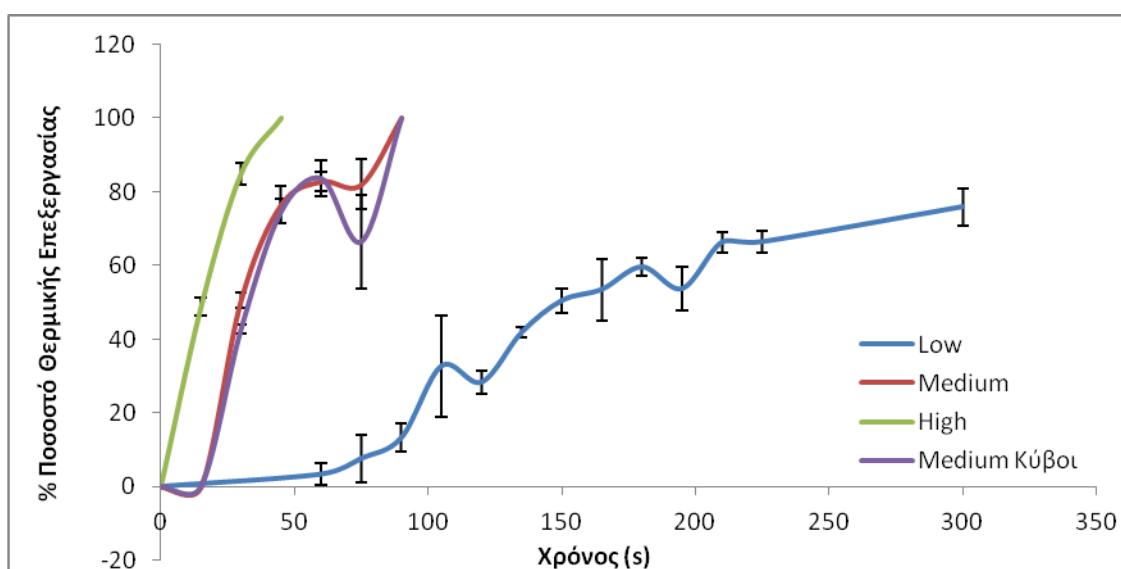
των δειγμάτων πατάτας κυβικού σχήματος σε ισχύ Medium. Όπως προέκυψε από την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) το % ποσοστό θερμικής επεξεργασίας στα δείγματα επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Όπως παρατηρείται τα δείγματα που επεξεργάστηκαν σε χρόνο 15 s δεν εμφανίζουν καμία διαφορά σε σχέση τα αρχικά δείγματα. Ακολούθως παρατηρείται εκθετική αύξηση του % ποσοστού της θερμικής επεξεργασίας μέχρι τον χρόνο 60 s. Σε χρόνο 75 s παρουσιάζεται μια μείωση που διακόπτει την εκθετική αύξηση του % ποσοστού της θερμικής επεξεργασίας. Οι μέσοι όροι των δειγμάτων πατάτας στους χρόνους των 45 και 75 s δεν παρουσιάζουν καμία σημαντική στατιστική διαφορά. Η ολοκλήρωση της θερμικής επεξεργασία επιτυγχάνεται στα 90 s.



Σχήμα 5.11 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας με μικροκύματα στο % ποσοστό θερμικής επεξεργασίας στην ισχύ Medium σε κυβικά δείγματα πατάτας.

Το Σχήμα 5.12 παρουσιάζει τη διαφοροποίηση του % ποσοστού της θερμικής επεξεργασίας σε σχέση με την ισχύ της επεξεργασίας. Στο Σχήμα 5.12 γίνεται δυνατό να αναγνωριστούν οι διαφορές που παρουσιάζουν οι τέσσερις διαφορετικές συνθήκες ισχύς – σχήματος (Low, Medium, High, Medium Κύβοι) σε σχέση με τον χρόνο επεξεργασίας. Όπως προέκυψε από την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) το % ποσοστό θερμικής επεξεργασίας στα δείγματα επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας, την ισχύ και το σχήμα της πατάτας ($p = 0,000$). Στο Σχήμα 5.12 παρατηρείται ότι η κάθε καμπύλη ακολουθεί διαφορετική πορεία κατά την πάροδο του χρόνου, με εξαίρεση της δυο Medium καμπύλες (Medium, Medium Κύβοι). Από τη σύγκριση των μέσων όρων του ελέγχου Tukey διαπιστώθηκε ότι τα δείγματα που επεξεργάστηκαν στην ισχύ Low, Medium, Medium κυβικά δείγματα παρουσιάζουν μια πτώση του % ποσοστού θερμικής επεξεργασίας κατά

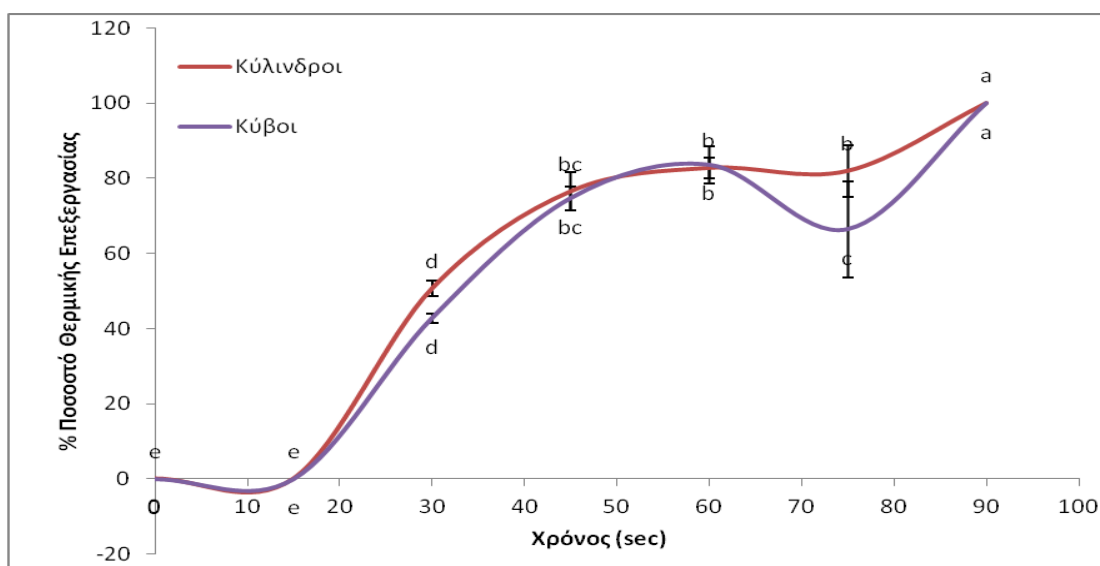
την πάροδο του χρόνου. Και στις τρεις αυτές περιπτώσεις το ποσοστό μειώνεται για ένα χρονικό διάστημα και κατόπιν αυξάνεται εκθετικά. Στην περίπτωση της ισχύος Low, το φαινόμενο φαίνεται να συνέβη δύο φορές πιο καθυστερημένα από τις δυο συνθήκες Medium, λόγω της χαμηλής ενέργειας που αποδίδει στο φούρνο η συγκεκριμένη ισχύς. Στην περίπτωση του Medium κυλινδρικού σχήματος και Medium κυβικού σχήματος το φαινόμενο αυτό συμβαίνει ταυτόχρονα λόγω του ίδιου μεγέθους ενέργειας που αποδίδεται από την ισχύ. Το φαινόμενο αυτό δεν παρουσιάζεται στην καμπύλη της ισχύος High. Η μεγάλη ποσότητα ενέργειας που αποδόθηκε από την ισχύ High δεν επέτρεψε στο χρόνο δειγματοληψίας να ανιχνεύσει ένα τέτοιο φαινόμενο. Ιδιαίτερη σημασία μπορεί να δοθεί στο ότι χρονικά (45 – 70 s) η πτώση και κατόπιν αύξηση του % ποσοστού στις συνθήκες Medium και Medium κυβικού σχήματος συνέβη ταυτόχρονα με την περίοδο της σταθερής τιμής της % απώλειας υγρασίας για τα συγκεκριμένα δείγματα. Από τη σύγκριση των μέσων όρων επίσης, μπορεί να εξαχθεί μια ολοκληρωμένη άποψη για τις διαφορές της κάθε ισχύος. Έτσι, το % ποσοστό της θερμικής επεξεργασίας που επιτυγχάνεται στην ισχύ Medium κυβικού σχήματος και Medium κυλινδρικού σχήματος στα 45 s, στην ισχύ Low στα 300 s επιτυγχάνεται στα 30 s στην ισχύ High. Με παρόμοιο τρόπο, το % ποσοστό της θερμικής επεξεργασίας που επιτυγχάνεται στην συνθήκη της ισχύος High στα 45 s, επιτυγχάνεται μόνο από την ισχύ Medium στα 90 s.



Σχήμα 5.12 Επίδραση της ισχύος επεξεργασίας με μικροκύματα (Low, Medium, High, Medium Κύβοι) στο % ποσοστό θερμικής επεξεργασίας σε συνάρτηση με το χρόνο.

Στο Σχήμα 5.13 παρουσιάζεται η διαφοροποίηση του % ποσοστού της θερμικής επεξεργασίας σε σχέση με το σχήμα του δείγματος. Σύμφωνα με τον έλεγχο Tukey

παρουσιάζεται η σύγκριση των μέσων όρων του % ποσοστού της θερμικής επεξεργασίας σε σχέση με το χρόνο επεξεργασίας των δειγμάτων πατάτας κυβικού αλλά και κυλινδρικού σχήματος σε ισχύ Medium. Από την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) προέκυψε ότι το % ποσοστό της θερμικής επεξεργασίας στα δείγματα επηρεάστηκε από το σχήμα του δείγματος ($p = 0,000$). Παρατηρείται ότι από 0 έως 60 s δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων όρων των δειγμάτων, εκτός του χρόνου 30 s. Σημαντική στατιστική διαφοροποίηση παρουσιάζεται επίσης και στον χρόνο 75 s. Στο χρόνο αυτό παρουσιάζεται το ελάχιστο του φαινομένου κατά το οποίο το % ποσοστό της επεξεργασίας μειώνεται και κατόπιν αυξάνεται εκθετικά. Το κυβικό σχήμα παρουσιάζει σημαντική διαφορά στη μείωση του ποσοστού σε σχέση με το κυλινδρικό σχήμα. Στο χρόνο των 90 s τα δείγματα τόσο του κυλινδρικού, όσο και του κυβικού σχήματος επιτυγχάνουν θερμική επεξεργασία 100 %.

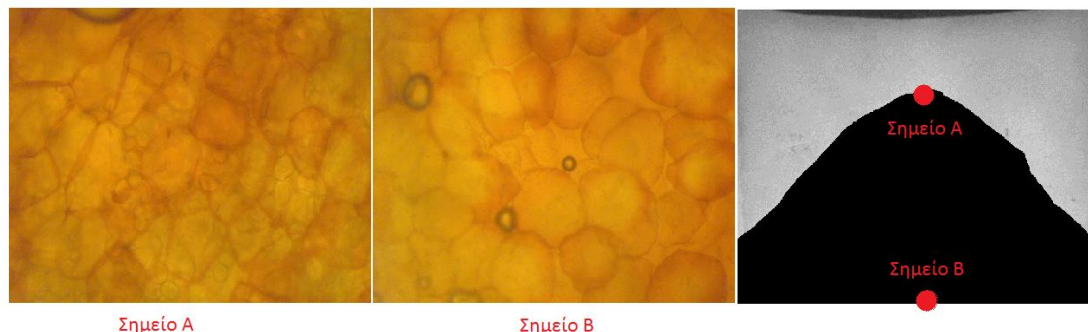


Σχήμα 5.13 Επίδραση του σχήματος του δείγματος (κυλινδρικό, κυβικό) στο % ποσοστό θερμικής επεξεργασίας στην ισχύ Medium σε σχέση με το χρόνο.

5.1.3 Μελέτη της επιφάνειας του μετώπου θερμικής επεξεργασίας με οπτικό μικροσκόπιο.

Η μελέτη της επιφάνειας του μετώπου της θερμικής επεξεργασίας με μικροκύματα παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.14. Από την δειγματοληψία τμημάτων πατάτας από δύο σημεία και κατόπιν εξέταση τους σε οπτικό μικροσκόπιο, παρατηρείται η μεταβολή που συμβαίνει στο μέγεθος των αμυλόκοκκων της πατάτας κατά τη θέρμανση. Αυτό που διαχωρίζει το μέτωπο της επεξεργασίας όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.14 είναι η βαθμιαία διόγκωση των κόκκων του αμύλου, με αποτέλεσμα οι κόκκοι που βρίσκονται στην κορυφή της

σχηματιζόμενης πυραμίδας να είναι μερικώς διογκωμένοι. Αντίθετα, οι κόκκοι αμύλου που βρίσκονται στην βάση της πυραμίδας έχουν περάσει μεγαλύτερο χρόνο από θερμική επεξεργασία σε σχέση με τους αμυλόκοκκους στα σημεία των δειγμάτων στην κορυφή της πυραμίδας, να είναι πλήρως διογκωμένοι.

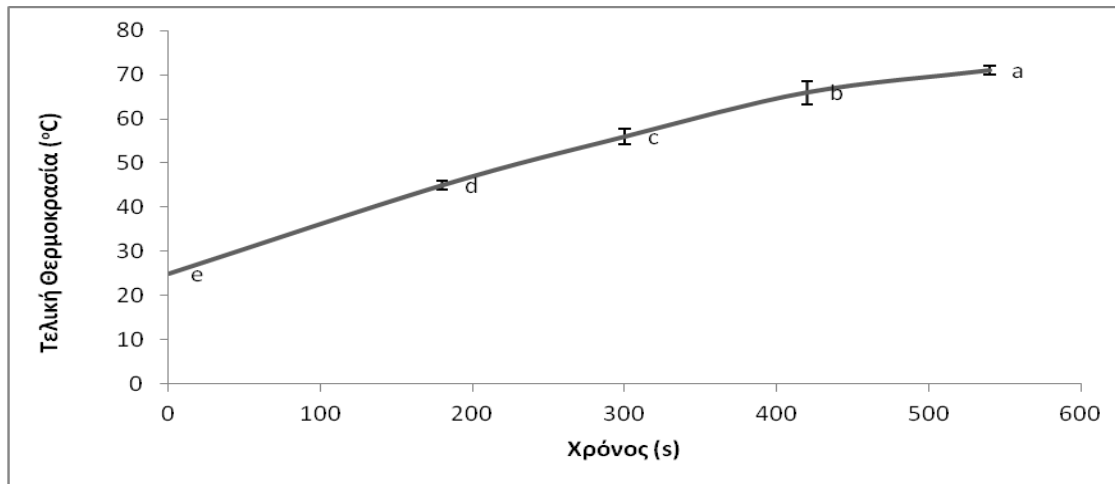


Σχήμα 5.14 Μορφολογική απεικόνιση του φαινομένου που αποτελεί το μέτωπο της θερμικής επεξεργασίας όπως προκύπτει από εξέταση σε οπτικό μικροσκόπιο.

5.2 Μελέτη συμπεριφοράς αιωρημάτων αμύλου αραβόσιτου

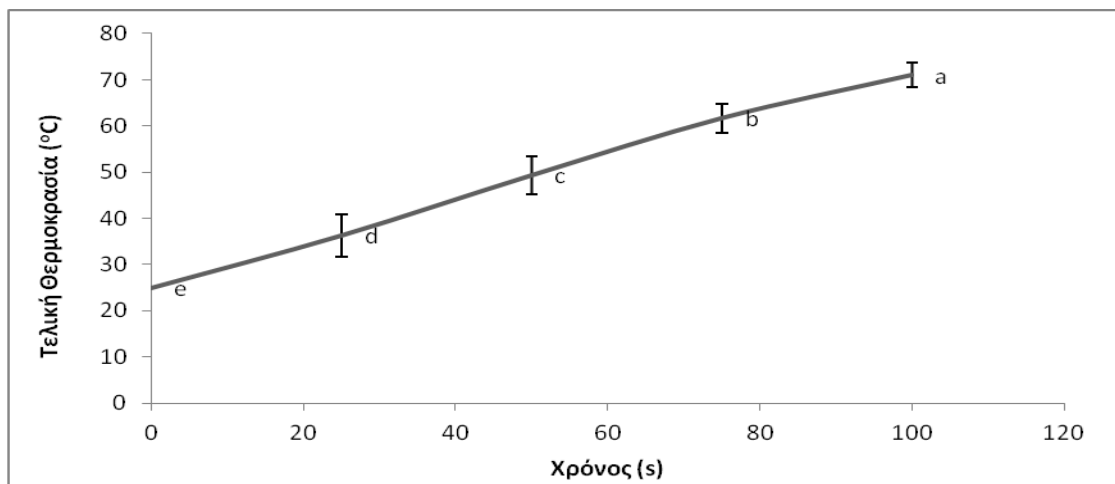
5.2.1 Μελέτη της τελικής θερμοκρασίας

Η αρχική θερμοκρασία των αιωρημάτων αμύλου ήταν 25 °C (θερμοκρασία περιβάλλοντος). Η τελική θερμοκρασία των αιωρημάτων αμύλου μετά από τη θερμική επεξεργασία, διαφοροποιείται ανάλογα με το χρόνο της επεξεργασίας, την ισχύ της επεξεργασίας, τη συγκέντρωση του δείγματος και την ποσότητα του δείγματος. Στο Σχήμα 5.15 παρουσιάζεται η διαφοροποίηση της θερμοκρασίας σε σχέση με το χρόνο για 80 g αιωρήματος 5 % w/w σε ισχύ Low. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) έδειξαν ότι η θερμοκρασία στα δείγματα επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Παρατηρείται ότι η θερμοκρασία στα δείγματα αυξάνεται εκθετικά με την πάροδο του χρόνου έχοντας ως τελική θερμοκρασία στα 540 s τους 71 °C.



Σχήμα 5.15 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην ισχύ Low στη τελική θερμοκρασία 80 g αιωρημάτων αμύλου συγκέντρωσης 5% w/w.

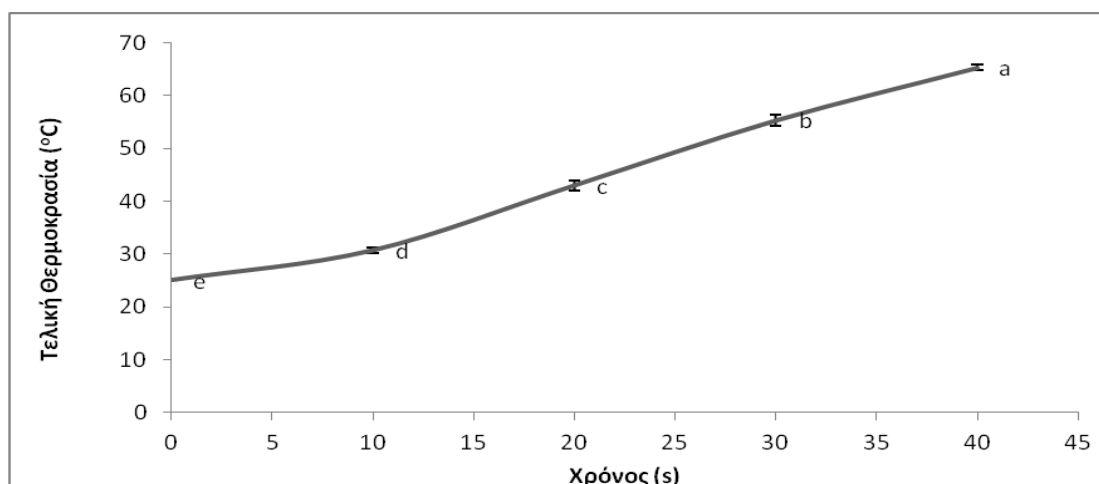
Η διαφοροποίηση της θερμοκρασίας σε σχέση με το χρόνο για 80 g δείγματος 5 % w/w σε ισχύ Medium παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.16. Όπως προέκυψε από την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) η θερμοκρασία στα δείγματα επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Στο διάγραμμα γίνεται εμφανές ότι η θερμοκρασία των δειγμάτων αυξάνει με την πάροδο του χρόνου με τελική θερμοκρασία 71 °C στα 100 s.



Σχήμα 5.16 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην ισχύ Medium στη τελική θερμοκρασία 80 g αιωρημάτων αμύλου συγκέντρωσης 5% w/w.

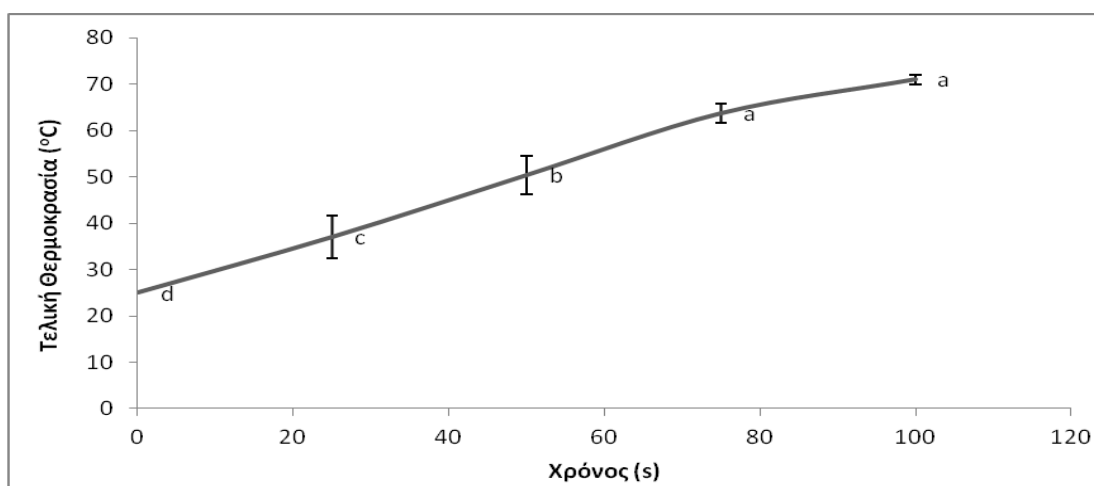
Το Σχήμα 5.17 παρουσιάζει τη διαφορά στη θερμοκρασία με την πάροδο του χρόνου 80 g δείγματος 5 % w/w σε ισχύ High. Έπειτα από ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) η θερμοκρασία στα δείγματα φαίνεται να επηρεάστηκε από το χρόνο

επεξεργασίας ($p = 0,000$). Η θερμοκρασία στα δείγματα αυξάνεται με την αύξηση του χρόνου θερμική επεξεργασίας και σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα των 40 s αποκτά τελική θερμοκρασία 65,3 °C.



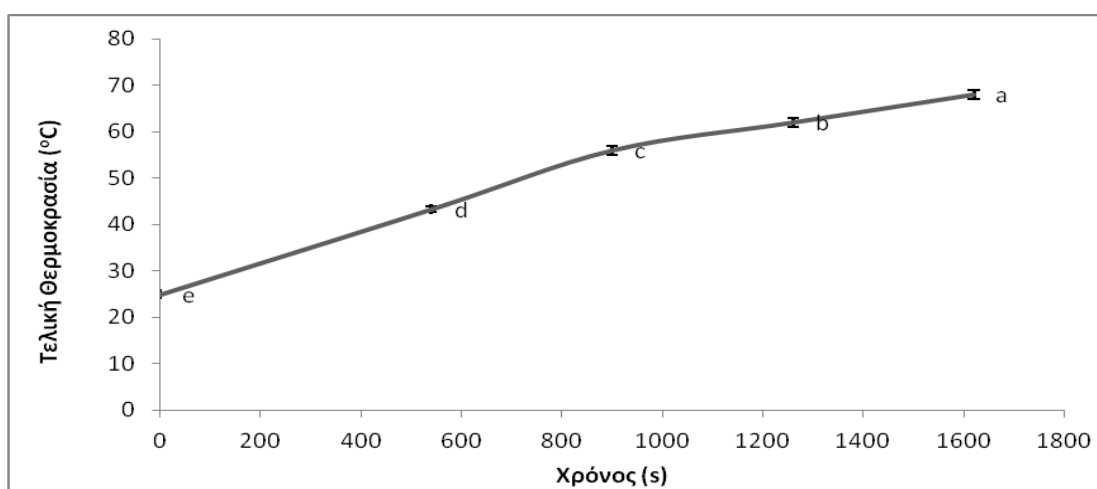
Σχήμα 5.17 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην ισχύ High στη τελική θερμοκρασία των 80 g αιωρημάτων αμύλου συγκέντρωσης 5% w/w.

Σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) που πραγματοποιήθηκε για 80 g αιωρήματος αμύλου συγκέντρωσης 10 % w/w σε ισχύ Medium παρατηρείται ότι η θερμοκρασία των δειγμάτων επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Στο Σχήμα 5.18 φαίνεται ότι θερμοκρασία των δειγμάτων αυξάνεται με την αύξηση του χρόνου θερμικής επεξεργασίας και σε 100 s να φθάνει την θερμοκρασία 71 °C



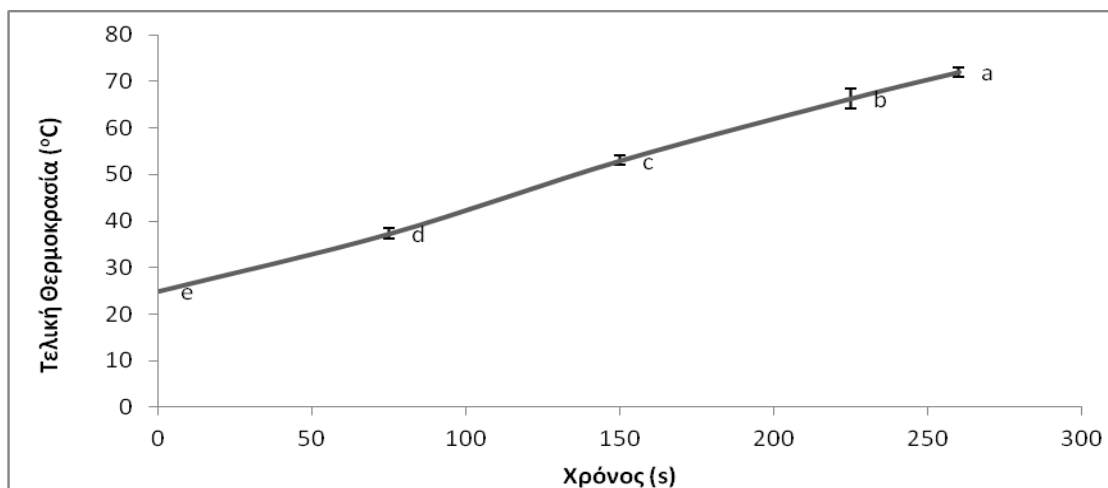
Σχήμα 5.18 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην ισχύ Medium στη τελική θερμοκρασία 80 g αιωρημάτων αμύλου συγκέντρωσης 10% w/w.

Στο Σχήμα 5.19 διακρίνεται η διαφοροποίηση της θερμοκρασίας σε σχέση με το χρόνο 240 g δείγματος συγκέντρωσης 5 % w/w σε ισχύ Low. Η θερμοκρασία των δειγμάτων αυτών επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας κατόπιν της στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) ($p = 0,000$). Η θερμοκρασία στα δείγματα σε σχέση με το χρόνο θερμικής τους επεξεργασίας αυξάνεται με σχετικά αργό ρυθμό, ενώ το φαινόμενο αυτό γίνεται πιο έντονο μεταξύ των χρόνων 1260 και 1620 s όπου παρατηρήθηκε αύξηση μόλις 4 °C. Τα δείγματα σε χρόνο 1620 s έχουν αποκτήσει θερμοκρασία 68 °C.



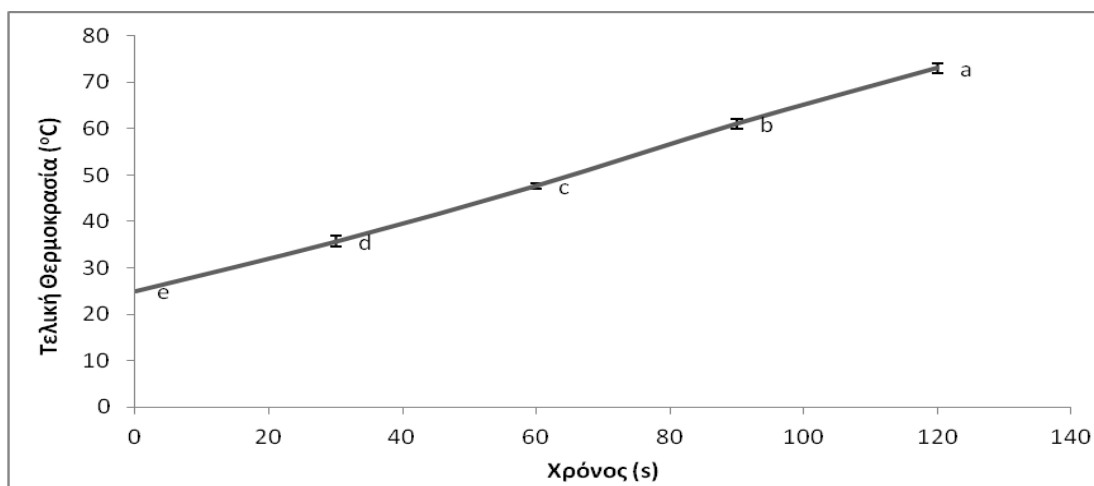
Σχήμα 5.19 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην ισχύ Low στη τελική θερμοκρασία 240 g αιωρημάτων αμύλου συγκέντρωσης 5% w/w.

Η στατιστική ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) για δείγματα 240 g συγκέντρωσης 5 % w/w έδειξε ότι η θερμοκρασία των δειγμάτων έπεται από τη θερμική τους επεξεργασία σε ισχύ Medium επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Στο Σχήμα 5.20 η θερμοκρασία των δειγμάτων φαίνεται να αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου και να καταλήγει σε χρόνο 260 s στους 72 °C.



Σχήμα 5.20 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην ισχύ Medium στη τελική θερμοκρασία 240 g αιωρημάτων αμύλου συγκέντρωσης 5% w/w.

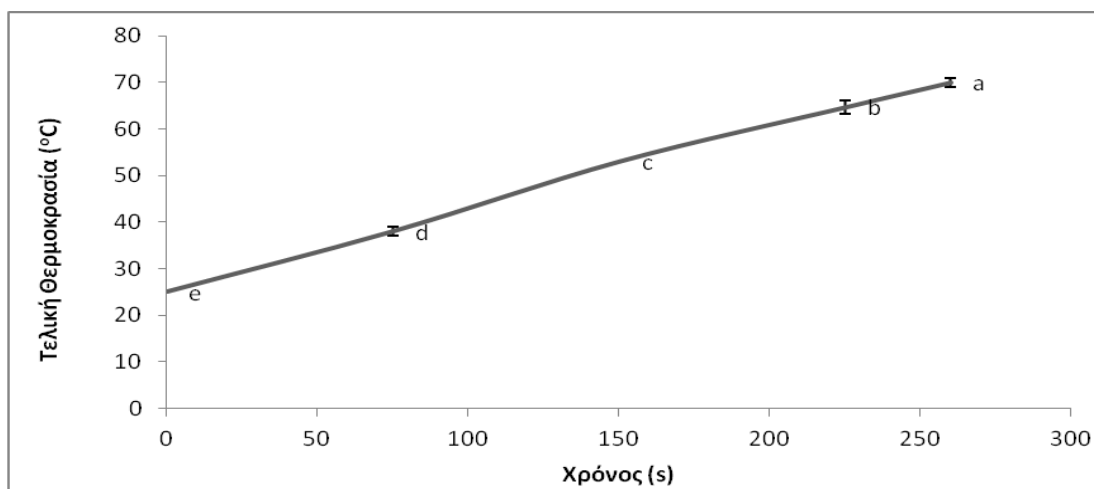
Στο Σχήμα 5.21 διακρίνεται η γραφική παράσταση της θερμοκρασίας με την πάροδο του χρόνου για αιωρήματα 240 g και συγκέντρωση 5 % w/w έπειτα από θερμική τους επεξεργασία σε ισχύ High. Σύμφωνα με την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) η θερμοκρασία στα δείγματα επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Καθώς ο χρόνος θερμικής επεξεργασίας αυξάνεται, παρατηρείται να αυξάνεται αντίστοιχα η θερμοκρασία των δειγμάτων με την τελική θερμοκρασία να βρίσκεται στα 120 s στους 73 °C.



Σχήμα 5.21 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην ισχύ High στη τελική θερμοκρασία 240 g αιωρημάτων αμύλου συγκέντρωσης 5% w/w.

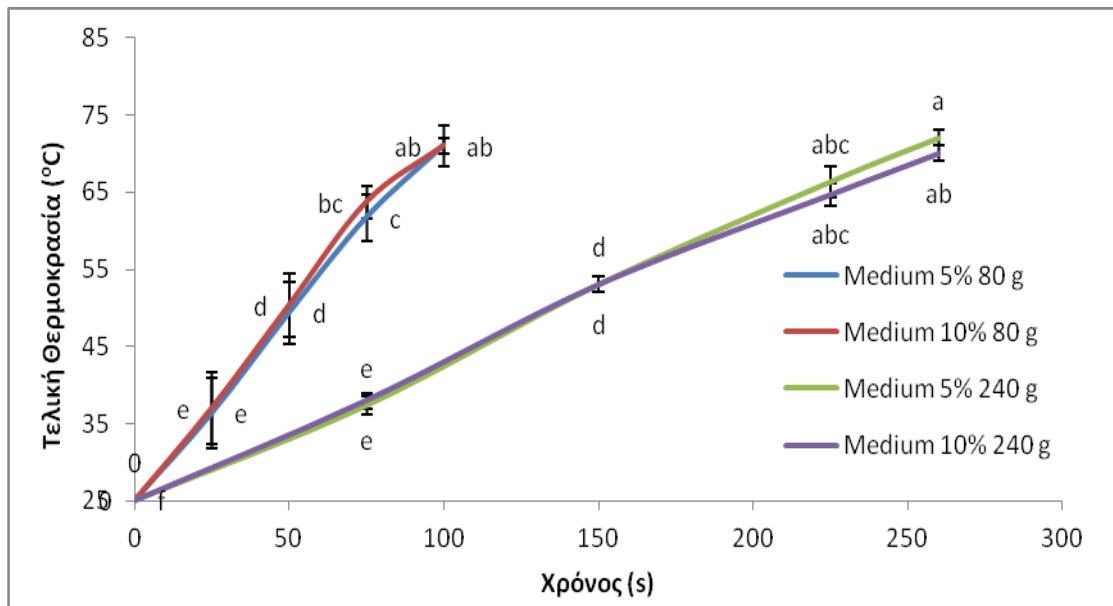
Σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) που πραγματοποιήθηκε για τα δείγματα αιωρημάτων 240 g και συγκέντρωση 10 %

w/w σε ισχύ Medium φαίνεται ότι η θερμοκρασία επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Στο Σχήμα 5.22 παρατηρείται ότι η θερμοκρασία αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου και αποκτά τελική θερμοκρασία 70 °C σε 260 s.



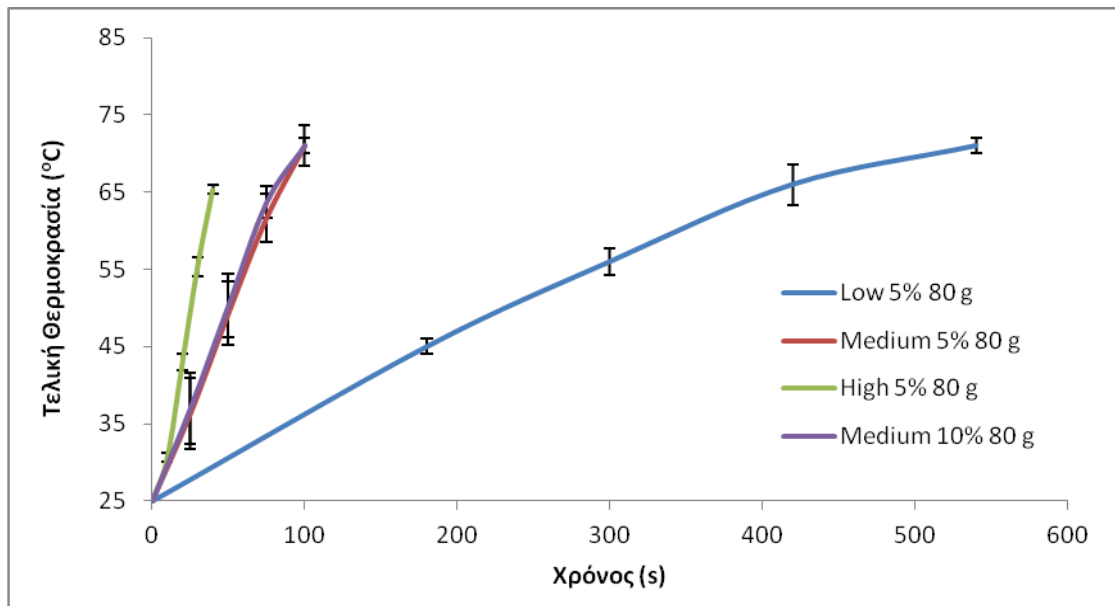
Σχήμα 5.22 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην ισχύ Medium στη τελική θερμοκρασία 240 g αιωρημάτων αμύλου συγκέντρωσης 10% w/w.

Στο Σχήμα 5.23 παρουσιάζετε η διαφοροποίηση μεταξύ των διαφορετικών συγκεντρώσεων και ποσοτήτων για την ισχύ Medium. Σύμφωνα με τον έλεγχο Tukey παρουσιάζεται η σύγκριση των μέσων όρων της διαφοροποίησης της θερμοκρασίας σε σχέση με το χρόνο επεξεργασίας σε τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις ως προς την ποσότητα και την συγκέντρωση του δείγματος (80 g 5 % w/w, 80 g 10 % w/w, 240 g 5% w/w, 240 g 10 % w/w). Από την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) προέκυψε ότι η θερμοκρασία στα δείγματα επηρεάστηκε μόνο από την ποσότητα του δείγματος ($p = 0,000$). Στο Σχήμα 5.23 παρατηρείται ότι οι καμπύλες που έχουν ίδια ποσότητα δείγματος ακολουθούν παρόμοια πορεία μεταξύ τους και άρα η συγκέντρωση του δείγματος δεν επηρεάζει σχεδόν καθόλου την αύξηση της θερμοκρασίας. Τα αιωρήματα με ποσότητα 80 g φαίνεται να αναπτύσσουν την ίδια θερμοκρασία σε μικρότερο χρονικό διάστημα από ότι τα αιωρήματα με ποσότητα 240 g. Επίσης παρατηρείται ότι για να αποκτήσουν την ίδια θερμοκρασία τα δείγματα των 240 g χρειάζονται σχεδόν τριπλάσιο χρόνο από ότι τα δείγματα των 80 g, ανάλογα δηλαδή της ποσότητας τους.



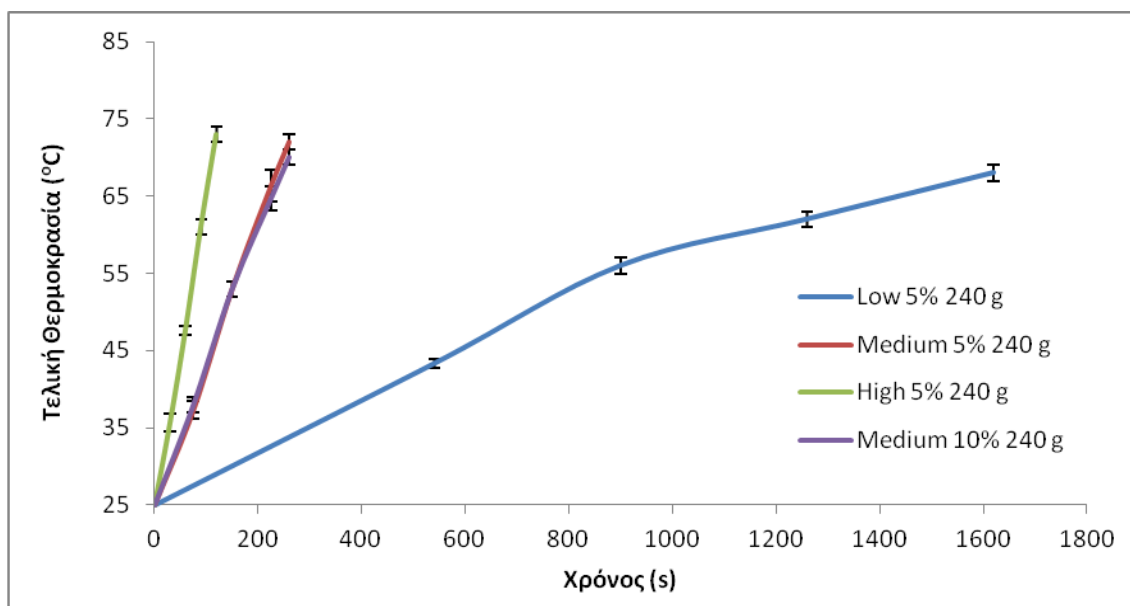
Σχήμα 5.23 Επίδραση της συγκέντρωσης του αιωρήματος αμούλου στη τελική θερμοκρασία του δείγματος σε συνάρτηση με το χρόνο για ποσότητα δείγματος 80 και 240 g.

Στο Σχήμα 5.24 φαίνονται οι διαφορές που παρουσιάζουν αιωρήματα αμούλου ίδιας ποσότητας (80 g) ανάλογα της ισχύος. Διαχωρίζονται σε τέσσερις διαφορετικές συνθήκες ισχύος – συγκέντρωσης (Low 5% w/w, Medium 5% w/w, High 5% w/w, Medium 10% w/w). Όπως προέκυψε από την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) η θερμοκρασία στα δείγματα επηρεάστηκε από τον την ισχύ επεξεργασίας ($p = 0,000$). Στο Σχήμα 5.24 παρατηρείται ότι η κάθε καμπύλη ακολουθεί διαφορετική πορεία σε σχέση με τον χρόνο θερμικής επεξεργασίας, με εξαίρεση της δυο Medium καμπύλες (Medium 5% w/w, Medium 10% w/w) που ακολουθούν την ίδια πορεία. Στο διάγραμμα του σχήματος είναι φανερό ότι η ισχύς που αποδίδει ο φούρνος μικροκυμάτων επηρεάζει σημαντικά το χρόνο αύξησης της θερμοκρασίας στα δείγματα ενώ η συγκέντρωση των δειγμάτων δεν επηρεάζει. Ο πιο αργός ρυθμός αύξησης θερμοκρασίας παρατηρείται στην ισχύ Low, ενώ πιο γρήγορος ρυθμός στην ισχύ High.



Σχήμα 5.24 Επίδραση της ισχύος επεξεργασίας (Low 5%, Medium 5%, High 5%, Medium 10%) στην τελική θερμοκρασία του δείγματος σε συνάρτηση με το χρόνο για ποσότητα δείγματος 80 g.

Στο Σχήμα 5.25 φαίνονται οι διαφορές που παρουσιάζουν αιωρήματα αμύλου ίδιας ποσότητας (240 g) ανάλογα της ισχύος. Διαχωρίζονται σε τέσσερις διαφορετικές συνθήκες ισχύος – συγκέντρωσης (Low 5% w/w, Medium 5% w/w, High 5% w/w, Medium 10% w/w). Σύμφωνα με την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) η θερμοκρασία στα δείγματα επηρεάστηκε από την ισχύ επεξεργασίας ($p = 0,000$). Στο Σχήμα 5.25 φαίνεται ότι οι δύο καμπύλες με ισχύ Medium ακολουθούν την ίδια πορεία σε σχέση με τον χρόνο, παρόλο που τα δείγματα αιωρημάτων έχουν διαφορετική συγκέντρωση. Άρα η θερμοκρασία δεν επηρεάζεται από την συγκέντρωση. Παρατηρείται ότι ο χρόνος που απαιτείται για να αναπτύξουν όλα τα δείγματα την ίδια θερμοκρασία είναι μεγαλύτερος στην ισχύ Low. Στη συνέχεια ακολουθούν οι δύο συνθήκες Medium, ενώ μεγάλο ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας σε σχετικά πολύ μικρό χρονικό διάστημα διακρίνεται στην ισχύ High.

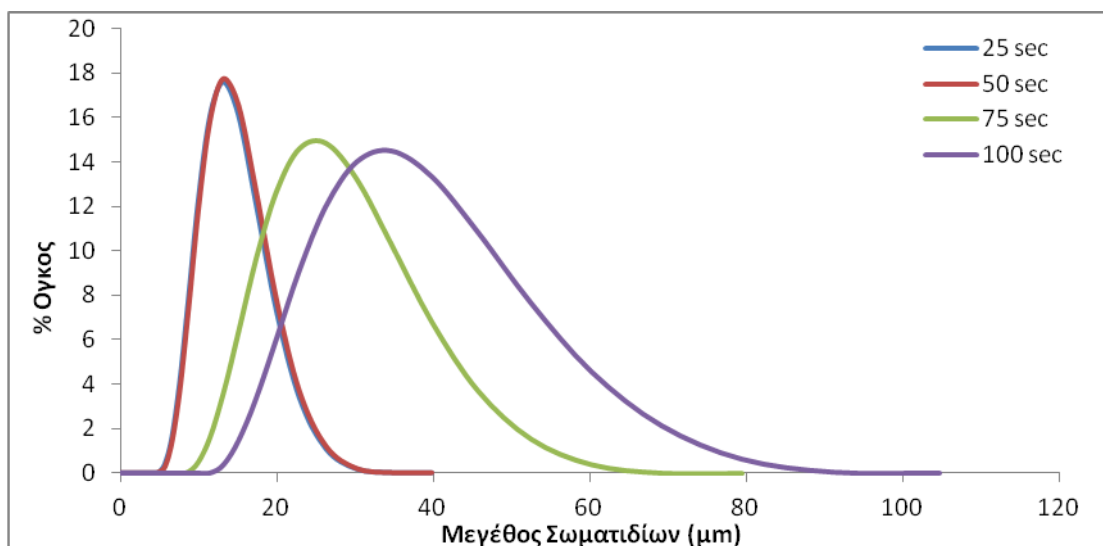


Σχήμα 5.25 Επίδραση της ισχύος επεξεργασίας (Low 5%, Medium 5%, High 5%, Medium 10%) στην τελική θερμοκρασία του δείγματος σε συνάρτηση με το χρόνο για ποσότητα δείγματος 240 g.

Συγκριτικά με τα πειραματικά δεδομένα, οι Casasnovas και Anantheswaran (2016) λένε ότι η τελική θερμοκρασία αιωρήματος αμύλου (250 mL) μετά τη θέρμανση με μικροκύματα στα 605 W, είναι 70 °C σε χρόνο 400 s, τόσο για άμυλο καλαμποκιού, όσο και κηρώδους και διασυνδεμένου κηρώδους καλαμποκιού. Η θερμοκρασία 70 °C είναι πολύ κοντά στη θερμοκρασία που επιτυγχάνεται από την ισχύ Medium και High σε χρόνο μικρότερο από 400 s για την ποσότητα αιωρήματος 240 g της παρούσας μελέτης.

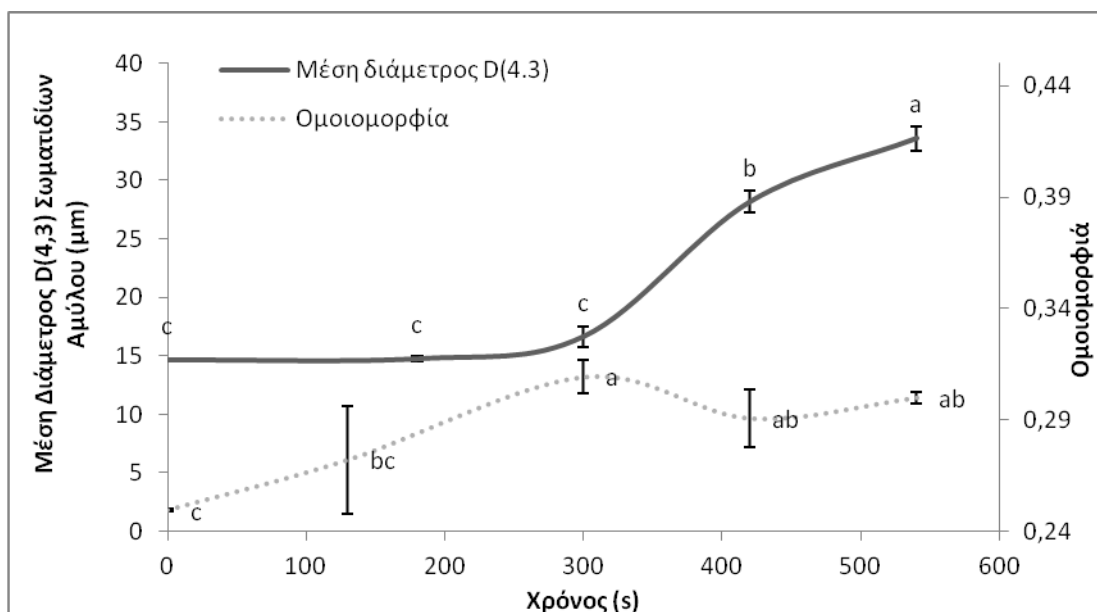
5.2.2 Μελέτη του μεγέθους των αμυλόκοκκων – κοκκομετρική ανάλυση

Η τεχνική της στατικής σκέδασης του φωτός χρησιμοποιήθηκε για το προσδιορισμό του μεγέθους των σωματιδίων (κόκκων αμύλου). Στο Σχήμα 5.26 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα από το τρόπο με τον οποίο αυξάνεται διαδοχικά το μέγεθος σωματιδίων κατά την πάροδο του χρόνου στα δείγματα, υπό την επίδραση της θέρμανσης με μικροκύματα. Έτσι η καμπύλη που σχηματίζει η κατανομή του μεγέθους στα 25 s είναι ίδια με αυτή που σχηματίζει στα 50 s. Με τη πάροδο του χρόνου, το μέσο μέγεθος αυξάνεται, ωστόσο παρατηρείται ότι στον χρόνο 100 s υπάρχουν τάξεις μεγεθών που συμπίπτουν τόσο με τον χρόνο 75 s, όσο και με τους χρόνους 25 και 50 s. Επίσης παρατηρείται πως και οι τέσσερις καμπύλες παρουσιάζουν την μορφή κανονικής κατανομής, ενώ ταυτόχρονα οι τάξεις μεγεθών αυξάνονται με το πέρας του χρόνου, σχηματίζοντας έτσι καμπύλες με μικρότερο % όγκο .



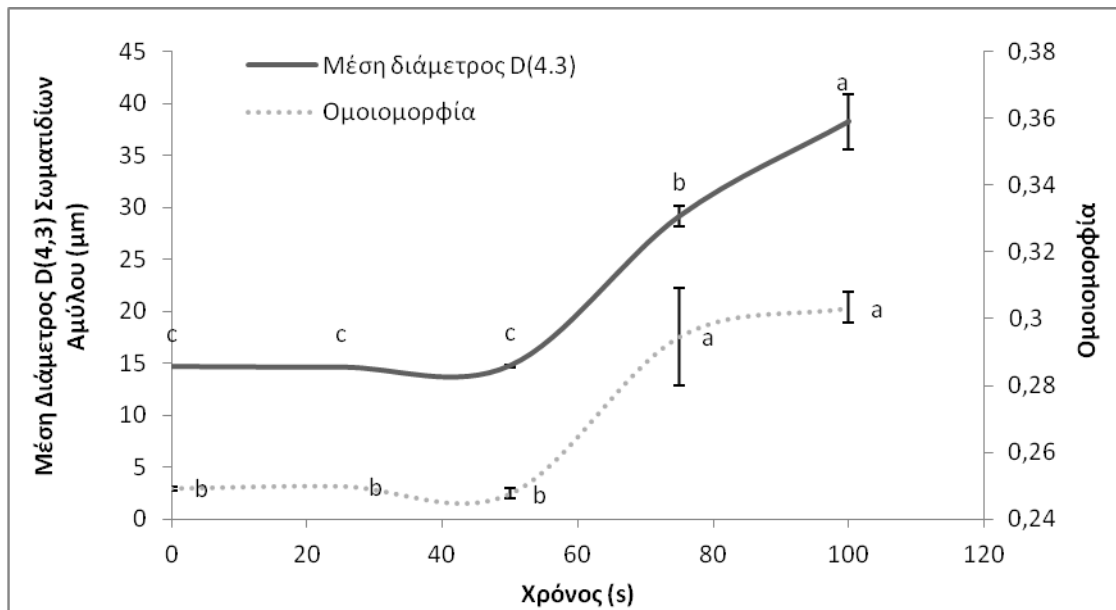
Σχήμα 5.26 Διάγραμμα κατανομής του μεγέθους των σωματιδίων σε διαφορετικούς χρόνους επεξεργασίας με μικροκύματα.

Στο Σχήμα 5.27 παρουσιάζεται η διαφοροποίηση της μέσης διαμέτρου $D(4,3)$ των αμυλόκοκκων σε σχέση με το χρόνο για ποσότητα δείγματος 80 g και συγκέντρωσης 5 % w/w που επεξεργάστηκαν σε ισχύ Low. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) έδειξαν ότι η διάμετρος των αμυλόκοκκων στα δείγματα επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Από τη σύγκριση των μέσων όρων του ελέγχου Tukey διαπιστώθηκε ότι τα δείγματα που επεξεργάστηκαν μέχρι και τα 300 s δεν παρουσιάζουν καμία στατιστική διαφορά. Η καμπύλη του διαγράμματος μέχρι τα 300 s δεν φαίνεται να παρουσιάζει καμία σημαντική αύξηση αλλά να παραμένει στάσιμη. Αντίθετα παρουσιάζεται μια εκθετική αύξηση στη διάμετρο των σωματιδίων αμύλου μετά το πέρας των 300 s. Στο Σχήμα 5.27 παρουσιάζεται επίσης η ομοιομορφία της κατανομής του μεγέθους των σωματιδίων σε σχέση με το χρόνο επεξεργασίας. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) έδειξαν ότι η ομοιομορφία της κατανομής επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Παρατηρείται ότι η ομοιομορφία της κατανομής κυμαίνεται μεταξύ 0,249 έως 0,309 και φαίνεται ότι με τη πάροδο του χρόνου τα σωματίδια αμύλου γίνονται όλο και πιο ανομοιόμορφα. Στο σχήμα παρουσιάζονται κάποιες αυξομειώσεις οι οποίες όμως δεν διαφέρουν σημαντικά.



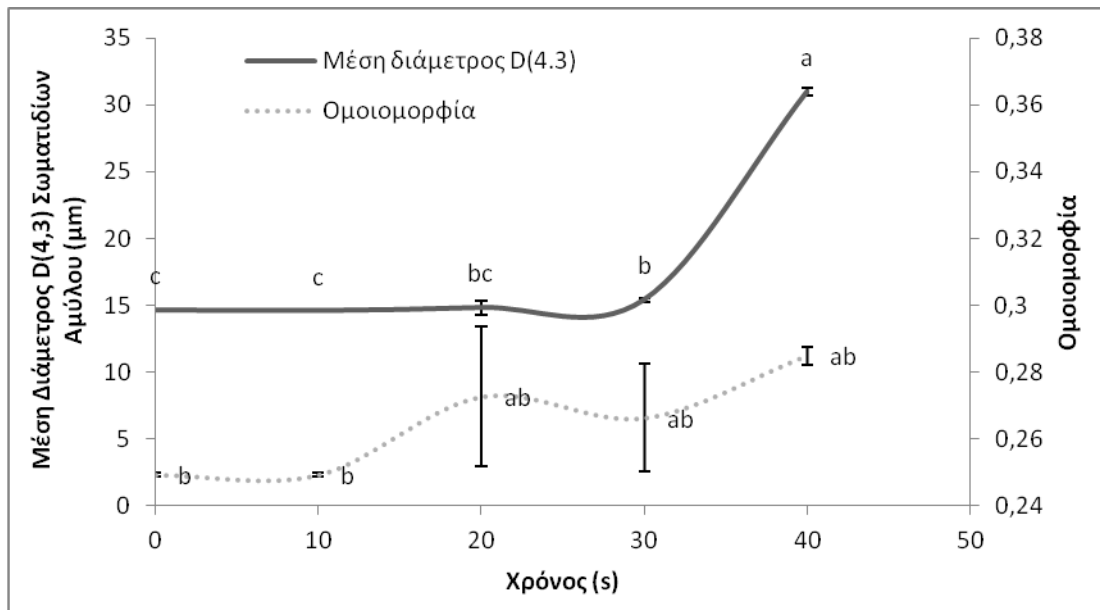
Σχήμα 5.27 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην ισχύ Low στη μέση διάμετρο D(4,3) των σωματιδίων αμύλου στο αιώρημα, συγκέντρωσης 5% και ποσότητας 80 g.

Η διαφοροποίηση της μέσης διαμέτρου D(4,3) των σωματιδίων αμύλου σε σχέση με το χρόνο για 80 g δείγματος συγκέντρωσης 5 % w/w σε ισχύ Medium παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.28. Όπως προέκυψε από την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) η διάμετρος των σωματιδίων αμύλου στα δείγματα επηρεάστηκε από το χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Σύμφωνα με τον έλεγχο Tukey διαπιστώθηκε ότι οι μέσοι όροι των δειγμάτων που επεξεργάστηκαν μέχρι και τα 50 s δεν παρουσιάζουν καμία σημαντική διαφορά σε σχέση με τα αρχικά δείγματα. Μετά το πέρας των 50 s η διόγκωση των αμυλόκοκκων προχωράει με γρήγορο ρυθμό. Στο Σχήμα 5.28 παρουσιάζεται επίσης η ομοιομορφία της κατανομής του μεγέθους των σωματιδίων σε σχέση με το χρόνο επεξεργασίας. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) έδειξαν ότι η ομοιομορφία της κατανομής επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Η ομοιομορφία της κατανομής κυμαίνεται μεταξύ 0,25 έως 0,3 και φαίνεται ότι ενώ αρχικά παραμένει σταθερή, μετά το χρόνο των 50 s τα σωματίδια αμύλου γίνονται όλο και πιο ανομοιόμορφα.



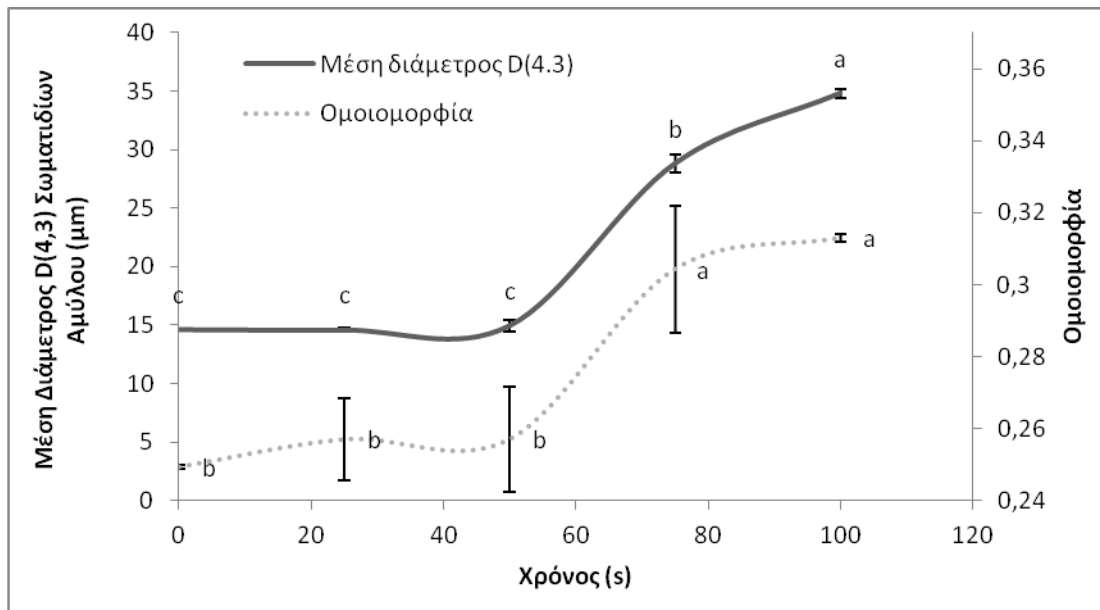
Σχήμα 5.28 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην ισχύ Medium στη μέση διάμετρο D(4,3) των σωματιδίων αμύλου στο αιώρημα, συγκέντρωσης 5% και ποσότητας 80 g.

Το Σχήμα 5.29 παρουσιάζει την αύξηση της μέσης διαμέτρου D(4.3) των κόκκων αμύλου σε σχέση με τον χρόνο για 80 g δείγματος συγκέντρωσης 5 % w/w σε ισχύ High. Έπειτα από ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) η διάμετρος των κόκκων αμύλου στα δείγματα φαίνεται να επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Στο διάγραμμα του σχήματος δεν παρατηρείται κάποια σημαντική αύξηση στην διάμετρο των κόκκων με εξαίρεση το χρονικό διάστημα μεταξύ 30 και 40 s όπου παρατηρείται μια απότομη αύξηση της μέσης διαμέτρου η οποία έγινε διπλάσια σε μόλις 10 s. Στο Σχήμα 5.29 παρουσιάζεται επίσης η ομοιομορφία της κατανομής του μεγέθους των σωματιδίων σε σχέση με το χρόνο επεξεργασίας. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) έδειξαν ότι η ομοιομορφία της κατανομής επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Παρατηρείται ότι η ομοιομορφία της κατανομής κυμαίνεται μεταξύ 0,249 έως 0,285 και φαίνεται ότι με τη πάροδο του χρόνου τα σωματίδια αμύλου γίνονται ελάχιστα πιο ανομοιόμορφα



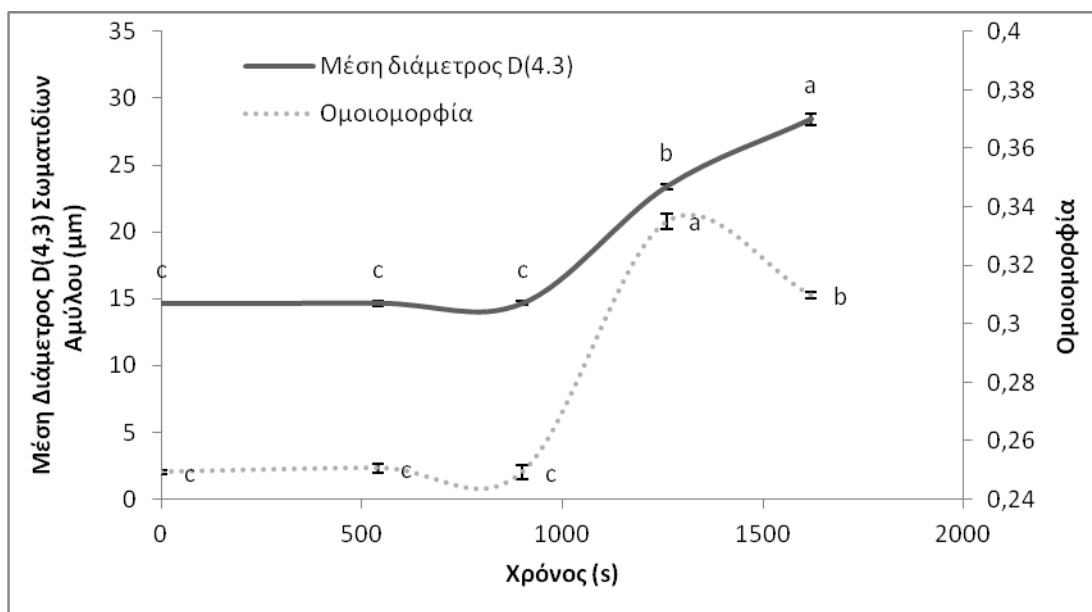
Σχήμα 5.29 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην ισχύ High στη μέση διάμετρο D(4,3) των σωματιδίων αμύλου στο αιώρημα, συγκέντρωσης 5% και ποσότητας 80 g.

Σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση της διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) που πραγματοποιήθηκε για αιώρημα αμύλου 80 g συγκέντρωσης 10 %w/w σε ισχύ Medium φαίνεται ότι η μέση διάμετρος D(4.3) των σωματιδίων αμύλου επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Στο Σχήμα 5.30 δεν φαίνεται καμία αύξηση της μέσης διαμέτρου των αμυλόκοκκων μέχρι τα 50 s ενώ αντιθέτως μετά το πέρας των 50 s παρατηρείται εκθετική αύξηση της μέσης διαμέτρου σε σχέση με το χρόνο. Στο Σχήμα 5.30 παρουσιάζεται επίσης η ομοιομορφία της κατανομής του μεγέθους των σωματιδίων σε σχέση με το χρόνο επεξεργασίας. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) έδειξαν ότι η ομοιομορφία της κατανομής επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Η ομοιομορφία της κατανομής κυμαίνεται μεταξύ 0,257 έως 0,313 και φαίνεται ότι ενώ αρχικά παραμένει σταθερή, μετά το χρόνο των 50 s τα σωματίδια αμύλου γίνονται όλο και πιο ανομοιόμορφα



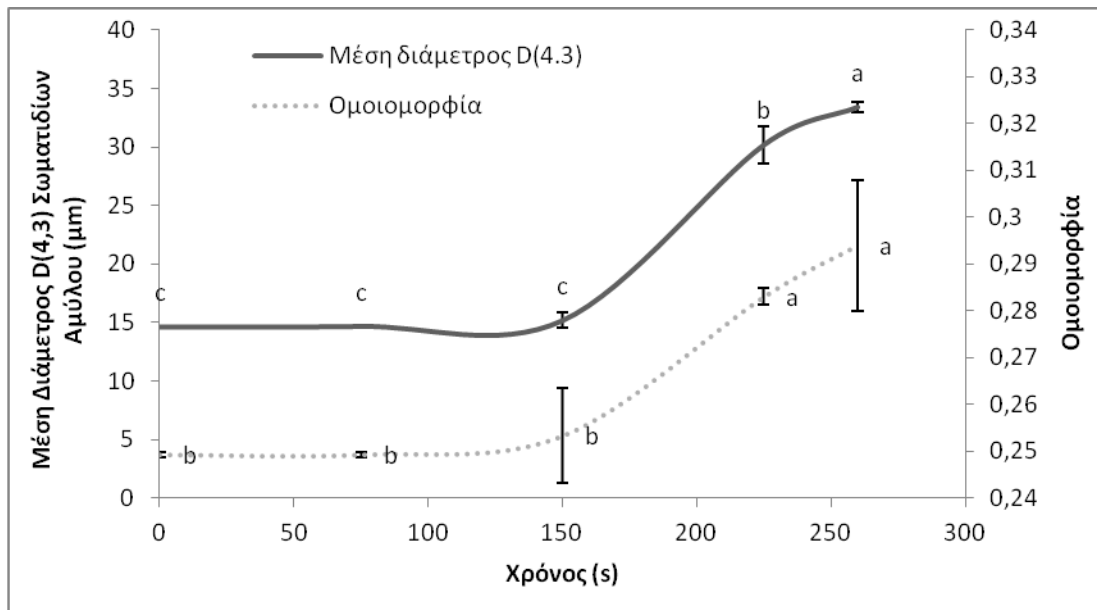
Σχήμα 5.30 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην ισχύ Medium στη μέση διάμετρο D(4,3) των σωματιδίων αμύλου στο αιώρημα, συγκέντρωσης 10% και ποσότητας 80 g.

Στο Σχήμα 5.31 παρουσιάζεται η διαφοροποίηση του μέσου μεγέθους D(4.3) των κόκκων αμύλου σε σχέση με το χρόνο για 240 g δείγματος συγκέντρωσης 5 % w/w σε ισχύ Low. Η διάμετρος των κόκκων αμύλου αυτών των δειγμάτων επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) ($p = 0,000$). Στο χρονικό διάστημα μέχρι τα 900 s δεν φαίνεται να υπάρχει καμία διόγκωση των αμυλόκοκκων ενώ μετά τα 900 s παρατηρείται βαθμιαία διόγκωση των κόκκων αμύλου. Στο Σχήμα 5.31 παρουσιάζεται επίσης η ομοιομορφία της κατανομής του μεγέθους των σωματιδίων σε σχέση με το χρόνο επεξεργασίας. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) έδειξαν ότι η ομοιομορφία της κατανομής επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Παρατηρείται ότι η ομοιομορφία της κατανομής κυμαίνεται μεταξύ 0,249 έως 0,335. και φαίνεται ότι με τη πάροδο του χρόνου παραμένει σταθερή μέχρι του χρόνου 900 s και κατόπιν τα σωματίδια αμύλου γίνονται όλο και πιο ανομοιόμορφη μέχρι του χρόνου 1260 s. Στην συνέχεια παρατηρείται μια αύξηση της ομοιομορφίας των σωματιδίων αμύλου στο αιώρημα.



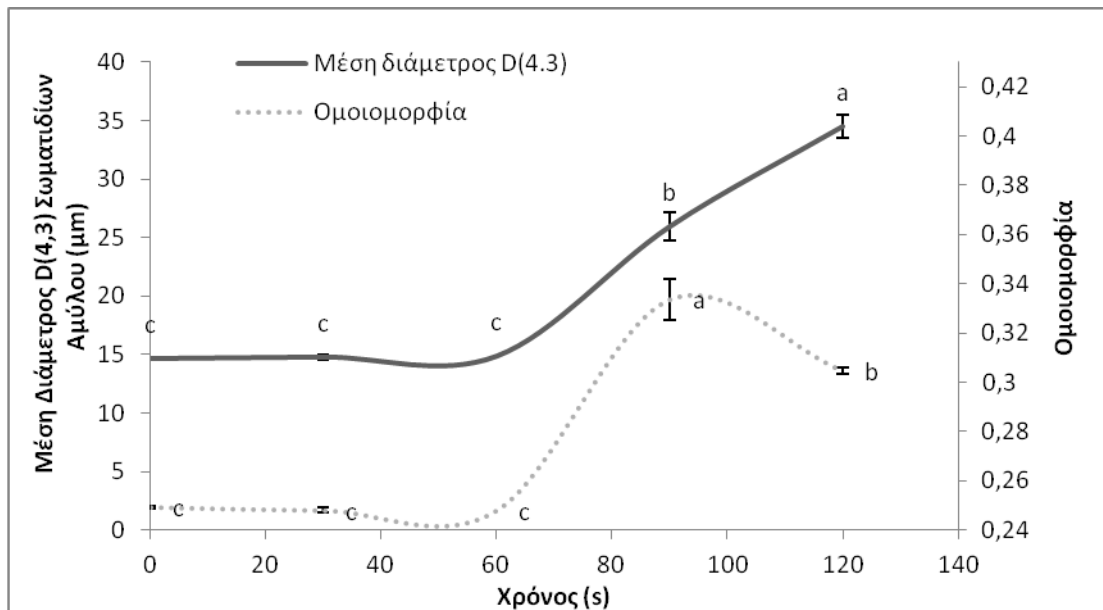
Σχήμα 5.31 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην ισχύ Low στη μέση διάμετρο D(4,3) των σωματιδίων αμύλου στο αιώρημα, συγκέντρωσης 5% και ποσότητας 240 g.

Η στατιστική ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) για δείγματα 240 g συγκέντρωσης 5 % w/w έδειξε ότι η μέση διάμετρος D(4,3) των σωματιδίων αμύλου των δειγμάτων έπειτα από θερμική τους επεξεργασία σε ισχύ Medium επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Στο Σχήμα 5.32 η διάμετρος των σωματιδίων αμύλου των δειγμάτων φαίνεται να παραμένει σταθερή μέχρι τα 150 s και στην συνέχεια να αυξάνεται εκθετικά. Στο Σχήμα 5.32 παρουσιάζεται επίσης η ομοιομορφία της κατανομής του μεγέθους των σωματιδίων σε σχέση με το χρόνο επεξεργασίας. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) έδειξαν ότι η ομοιομορφία της κατανομής επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Η ομοιομορφία της κατανομής κυμαίνεται μεταξύ 0,249 έως 0,294. Παρατηρείται ότι αρχικά παραμένει σταθερή, ενώ μετά το χρόνο των 150 s τα σωματίδια αμύλου γίνονται όλο και πιο ανομοιόμορφα, μέχρι του σημείου που συνεχίζουν με την ίδια ομοιομορφία.



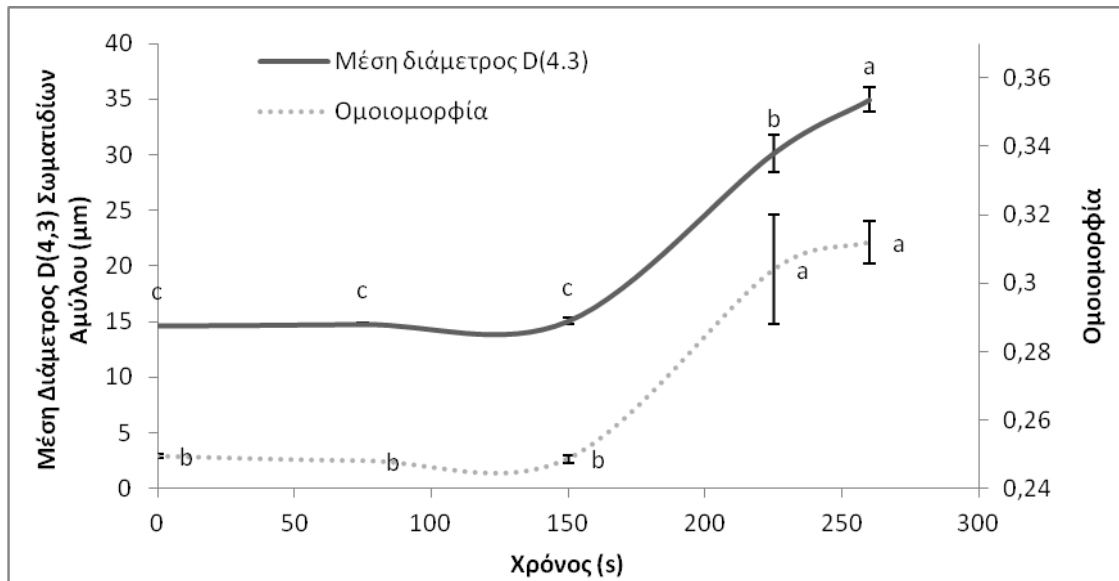
Σχήμα 5.32 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην ισχύ Medium στη μέση διάμετρο D(4,3) των σωματιδίων αμύλου στο αιώρημα, συγκέντρωσης 5% και ποσότητας 240 g.

Στο Σχήμα 5.33 παρουσιάζεται η γραφική παράσταση της διόγκωσης των αμυλόκοκκων με την πάροδο του χρόνου για αιωρήματα 240 g συγκέντρωσης 5 % w/w έπειτα από θερμική τους επεξεργασία σε ισχύ High. Σύμφωνα με την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) η μέση διάμετρος D(4.3) των αμυλόκοκκων στα δείγματα επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Στους αρχικούς χρόνους επεξεργασίας 30 και 60 s δεν παρατηρήθηκε καμία διόγκωση των αμυλόκοκκων. Οι κόκκοι αμύλου άρχισαν να διογκώνονται μετά το χρόνο των 60 s. Στο Σχήμα 5.33 παρουσιάζεται επίσης η ομοιομορφία της κατανομής του μεγέθους των σωματιδίων σε σχέση με το χρόνο επεξεργασίας. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) έδειξαν ότι η ομοιομορφία της κατανομής επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Παρατηρείται ότι η ομοιομορφία της κατανομής κυμαίνεται μεταξύ 0,249 έως 0,334. και φαίνεται ότι με τη πάροδο του χρόνου παραμένει σταθερή μέχρι του χρόνου 50 s και κατόπιν τα σωματίδια αμύλου γίνονται όλο και πιο ανομοιόμορφα μέχρι του χρόνου 90 s. Στην συνέχεια παρατηρείται μια αύξηση της ομοιομορφίας των σωματιδίων αμύλου στο αιώρημα.



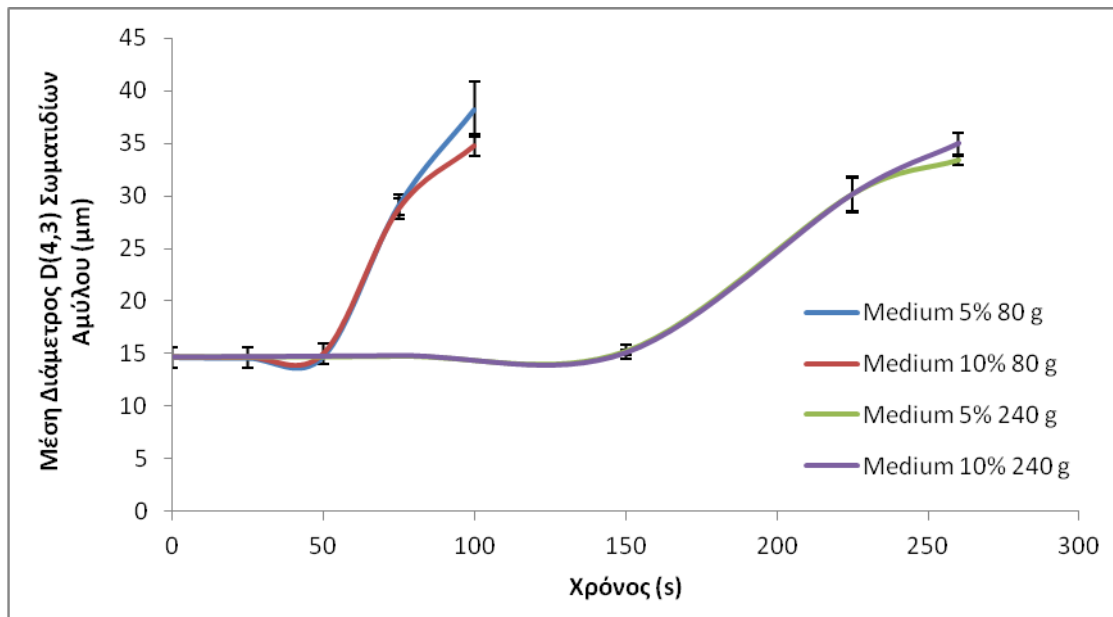
Σχήμα 5.33 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην ισχύ High στη μέση διάμετρο D(4,3) των σωματιδίων αμύλου στο αιώρημα, συγκέντρωσης 5% και ποσότητας 240 g.

Σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) που πραγματοποιήθηκε για τα δείγματα αιωρημάτων 240 g και συγκέντρωσης 10% w/w σε ισχύ Medium φαίνεται πως η μέση διάμετρος D(4.3) των σωματιδίων αμύλου επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Στο Σχήμα 5.34 παρατηρείται ότι η διόγκωση των κόκκων αμύλου άρχισε να συμβαίνει μετά τα 150 s. Στο Σχήμα 5.34 παρουσιάζεται επίσης η ομοιομορφία της κατανομής του μεγέθους των σωματιδίων σε σχέση με το χρόνο επεξεργασίας. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) έδειξαν ότι η ομοιομορφία της κατανομής επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Η ομοιομορφία της κατανομής κυμαίνεται μεταξύ 0,249 έως 0,312. Παρατηρείται ότι αρχικά παραμένει σταθερή, ενώ μετά το χρόνο των 50 s τα σωματίδια αμύλου γίνονται όλο και πιο ανομοιόμορφα, μέχρι του σημείου που συνεχίζουν με την ίδια ομοιομορφία.



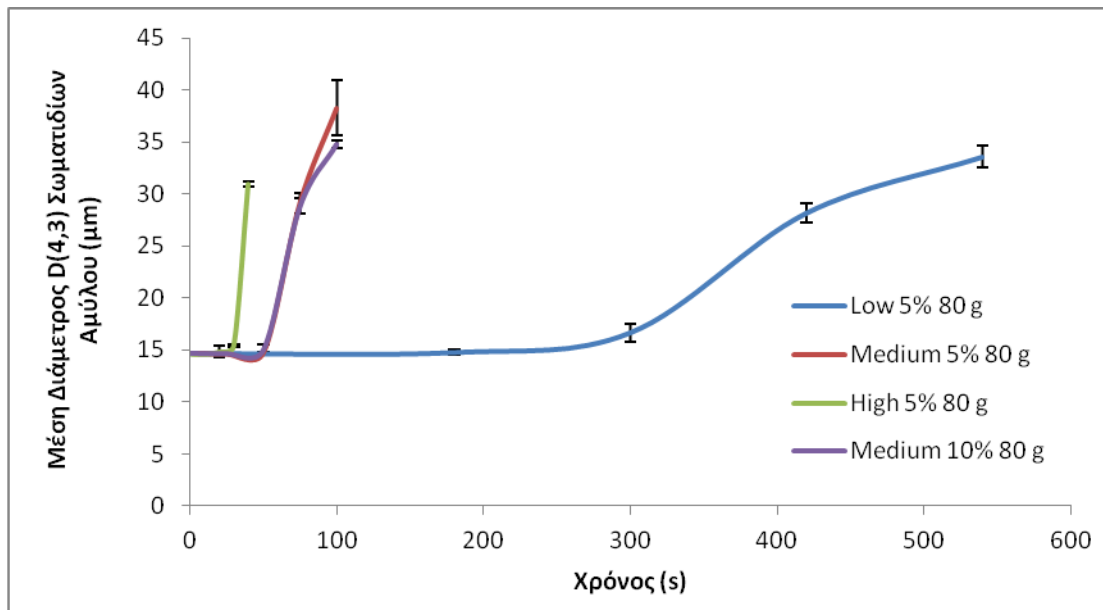
Σχήμα 5.34 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην ισχύ Medium στη μέση διάμετρο D(4,3) των σωματιδίων αμύλου στο αιώρημα, συγκέντρωσης 10% και ποσότητας 240 g.

Στο Σχήμα 5.35 παρουσιάζεται η διαφοροποίηση στο μέγεθος των σωματιδίων που προκύπτει ανάλογα της συγκέντρωσης και της ποσότητας του δείγματος. Σύμφωνα με τον έλεγχο Tukey, παρουσιάζεται η σύγκριση της μέσης διαμέτρου D(4.3) των αμυλόκοκκων σε σχέση με τη συγκέντρωση και τη ποσότητας του δείγματος σε συνάρτηση με το χρόνο για δείγματα αιωρημάτων αμύλου τα οποία επεξεργάστηκαν στην ίδια ισχύ Medium. Διαφοροποιούνται σε 4 διαφορετικές περιπτώσεις ως προς την συγκέντρωση και την ποσότητα του δείγματος (80 g 5 % w/w, 80 g 10 % w/w, 240 g 5% w/w, 240 g 10 % w/w). Από την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) προέκυψε ότι η διάμετρος των σωματιδίων αμύλου στα δείγματα επηρεάστηκε από την ποσότητα του δείγματος ($p = 0,000$). Στο διάγραμμα του σχήματος παρατηρείται ότι οι καμπύλες που αντιπροσωπεύουν την ίδια ποσότητα δείγματος αλλά έχουν διαφορετική συγκέντρωση ακολουθούν παρόμοια πορεία μεταξύ τους και άρα η συγκέντρωση του δείγματος δεν επηρεάζει καθόλου την αύξηση της μέσης διαμέτρου των κόκκων αμύλου. Στα αιωρήματα με ποσότητα 80 g φαίνεται να παρατηρείται διόγκωση των κόκκων αμύλου με πιο γρήγορο ρυθμό σε μικρότερο χρονικό διάστημα από ότι τα αιωρήματα με ποσότητα 240 g. Άρα για να αρχίσει η διόγκωση χρειάζονται σχεδόν τριπλάσιο χρόνο θερμικής επεξεργασίας.



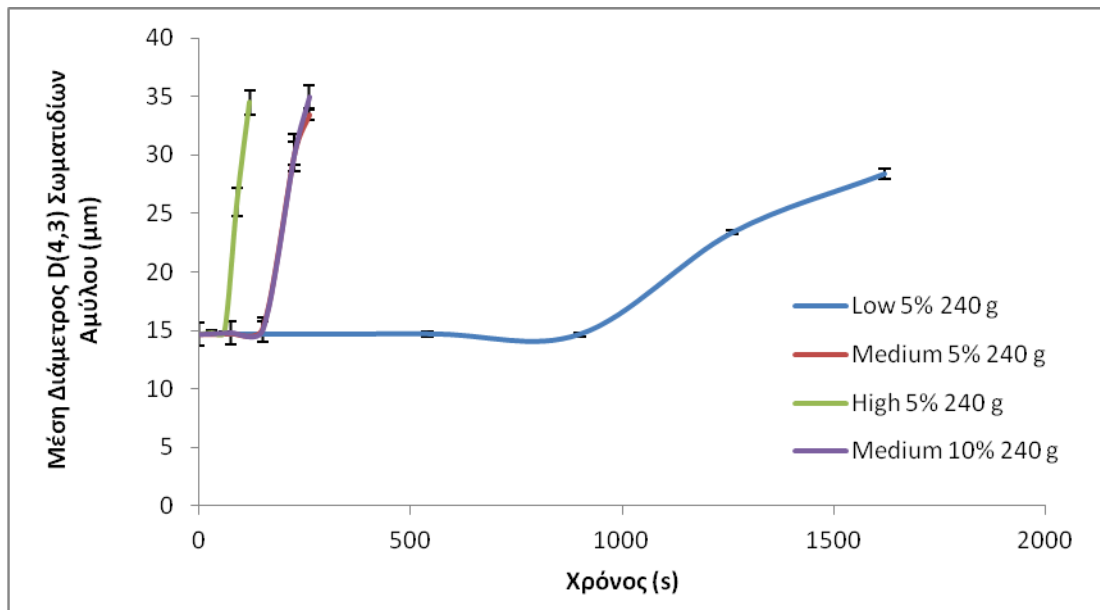
Σχήμα 5.35 Επίδραση της συγκέντρωσης του αιωρήματος αμύλου στο μέσο μέγεθος των σωματιδίων D(4,3) του αμύλου σε συνάρτηση με το χρόνο για ποσότητα δείγματος 80 και 240 g.

Στο Σχήμα 5.36 φαίνονται οι διάφορες που παρουσιάζουν ως προς την διόγκωση των αμυλόκοκκων αιωρήματα αμύλου ίδιας ποσότητας 80 g τα οποία όμως διαχωρίζονται σε τέσσερις διαφορετικές συνθήκες ισχύος (Low 5% w/w, Medium 5% w/w, High 5% w/w, Medium 10% w/w) σε σχέση με τον χρόνο επεξεργασίας. Όπως προέκυψε από την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) η μέση διάμετρος D94.3) των αμυλόκοκκων στα δείγματα επηρεάστηκε από την ισχύ επεξεργασίας ($p = 0,000$). Στο Σχήμα 5.36 παρατηρείται ότι η κάθε καμπύλη ακολουθεί διαφορετική πορεία σε σχέση με τον χρόνο θερμικής επεξεργασίας, με εξαίρεση της δυο καμπύλες Medium (Medium 5% w/w, Medium 10% w/w) που ακολουθούν σχεδόν την ίδια πορεία. Στο Σχήμα 5.36 φαίνεται ότι η ισχύς που αποδίδει ο φούρνος μικροκυμάτων επηρεάζει σημαντικά το χρόνο διόγκωσης των κόκκων αμύλου στα δείγματα, ενώ η συγκέντρωση των δεν επηρεάζει καθώς οι δύο καμπύλες που αντιπροσωπεύουν την ισχύ Medium ακολουθούν παρόμοια πορεία. Ο πιο αργός ρυθμός αύξησης της μέσης διαμέτρου των σωματιδίων αμύλου παρατηρείται στην ισχύ Low, ενώ ο πιο γρήγορος ρυθμός στην ισχύ High.



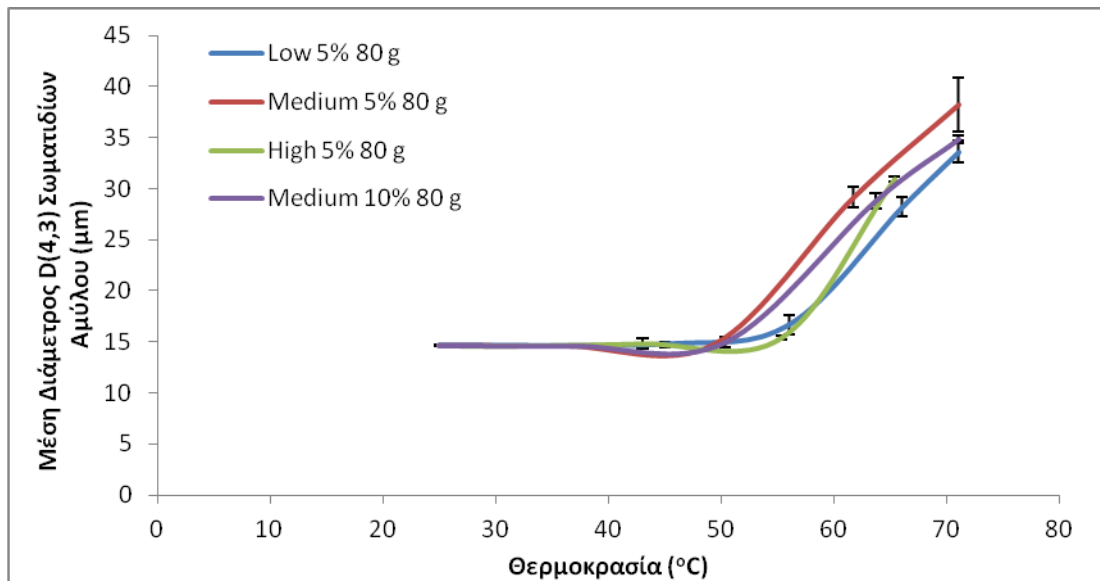
Σχήμα 5.36 Επίδραση της ισχύος επεξεργασίας με μικροκύματα (Low 5%, Medium 5%, High 5%, Medium 10%) στη μέση διάμετρο D(4,3) των σωματιδίων του αμύλου σε συνάρτηση με το χρόνο για ποσότητα δείγματος 80 g.

Στο Σχήμα 5.37 παρουσιάζεται η αύξηση του μεγέθους των κόκκων αμύλου στα δείγματα ποσότητας 240 g, τεσσάρων διαφορετικών συνθηκών ισχύος (Low 5% w/w, Low 5% w/w, High 5% w/w, Medium 10% w/w) σε σχέση με τον χρόνο επεξεργασίας. Σύμφωνα με την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) η θερμοκρασία στα δείγματα επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας, την ισχύ και τη συγκέντρωση των δειγμάτων ($p = 0,000$). Στο Σχήμα 5.37 φαίνεται ότι οι δύο καμπύλες με ισχύ Medium ακολουθούν την ίδια πορεία σε σχέση με τον χρόνο παρότι έχουν διαφορετική συγκέντρωση. Η αύξηση της μέσης διαμέτρου των κόκκων αμύλου επιτυγχάνεται γρηγορότερα όταν τα δείγματα επεξεργάζονται στην ισχύ High και αργότερα όταν η επεξεργασία γίνεται στην ισχύ Low.

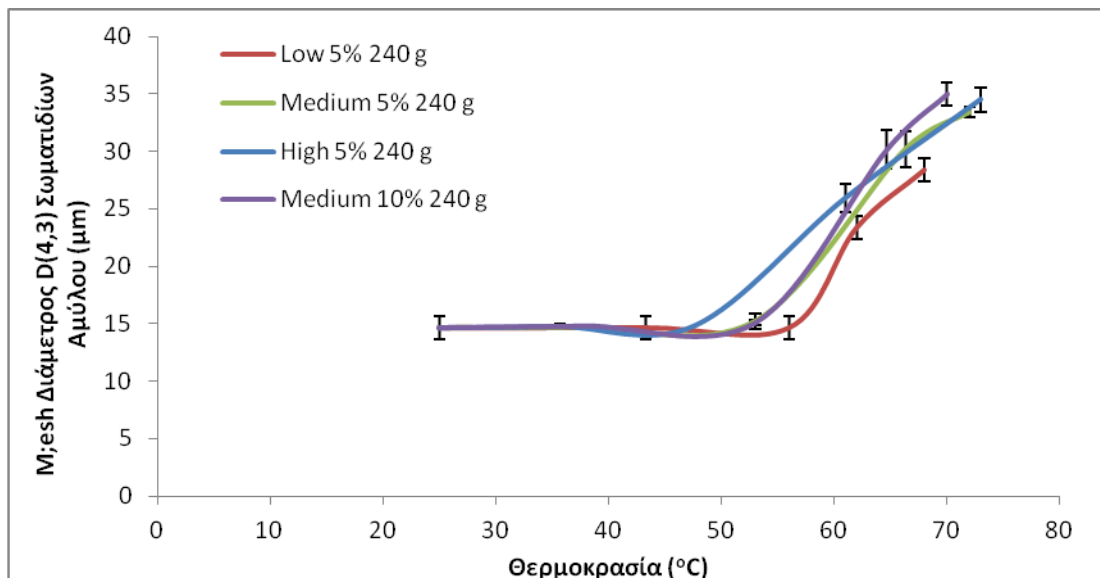


Σχήμα 5.37 Επίδραση της ισχύος επεξεργασίας με μικροκύματα (Low 5%, Medium 5%, High 5%, Medium 10%) στη μέση διάμετρο D(4,3) των σωματιδίων του αμύλου σε συνάρτηση με το χρόνο για ποσότητα δείγματος 240 g.

Στο Σχήμα 5.38 και στο Σχήμα 5.39 παρουσιάζεται η αύξηση της μέσης διαμέτρου D(4,3) των σωματιδίων αμύλου στο αιώρημα για τα δείγματα των 80 g και 240 g αντίστοιχα, σε συνάρτηση με την αύξηση της θερμοκρασίας που προκύπτει από την επίδραση των μικροκυμάτων. Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρείται ότι μέχρι την θερμοκρασία 50 °C δεν συμβαίνει κάποια διόγκωση στο μέγεθος των σωματιδίων για όλες τις διαφορετικές συνθήκες. Αύξηση του μεγέθους των αμυλόκοκκων παρατηρείται μετά τη θερμοκρασία 50 °C. Μέχρι τη θερμοκρασία 70 °C η αύξηση αυτή συμβαίνει αναλογικά με την αύξηση της θερμοκρασίας. Σύμφωνα με τους Casasnovas και Anantheswaran (2016) και τους Nadiah et al. (2015) η αύξηση του μεγέθους των κόκκων του αμύλου οφείλεται στη διόγκωση των αμυλόκοκκων λόγω αύξησης της θερμοκρασίας σε ένα αιώρημα αμύλου. Η διόγκωση αυτή αποτελεί το πρώτο στάδιο της ζελατινοποίησης του αμύλου (Casasnovas and Anantheswaran, 2016; Nadiah et al., 2015).



Σχήμα 5.38 Επίδρασή της θερμοκρασίας στη διόγκωση των κόκκων αμύλου σε ποσότητα δείγματος 80 g.



Σχήμα 5.39 Σχήμα 5.40 Επίδρασή της θερμοκρασίας στη διόγκωση των κόκκων αμύλου σε ποσότητα δείγματος 240 g.

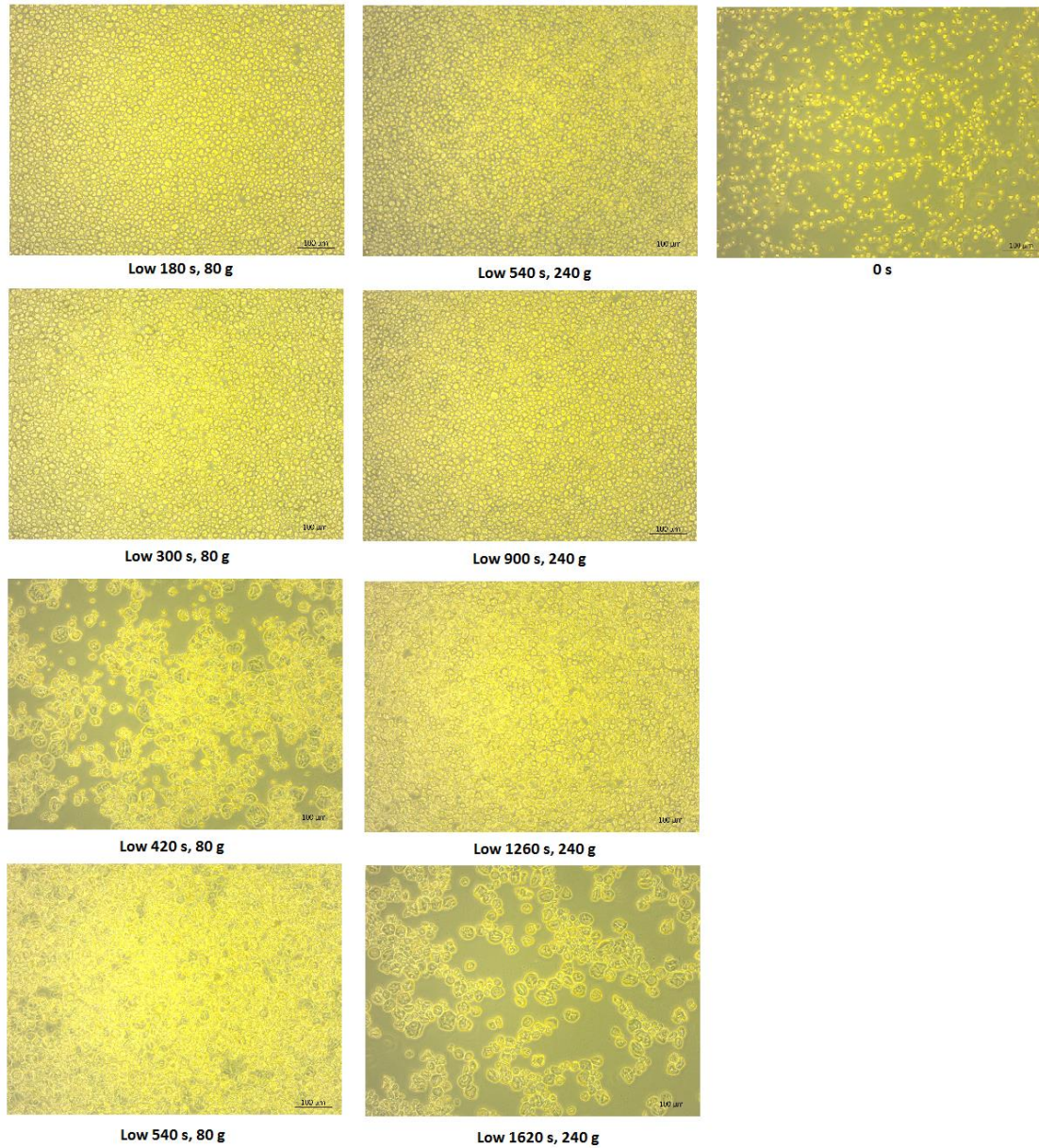
Η θέρμανση αιωρημάτων αμύλου πατάτας και ταπιόκας με μικροκύματα σε θερμοκρασίες 50 °C και 60 °C περιγράφεται από τους Casasnovas και Anantheswaran (2016). Συγκριτικά με το άμυλο αραβοσίτου που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία, η μέση διάμετρος D(4,3) για το άμυλο πατάτας ήταν $192,11 \mu\text{m} \pm 0,93$ για τη θερμοκρασία 50 °C και $306,69 \pm 2,67$ για τη θερμοκρασία 60 °C. Αντίστοιχα για το άμυλο ταπιόκας η μέση διάμετρος D(4,3) ήταν $192,41 \mu\text{m} \pm 0,59$ για τη θερμοκρασία 50 °C και $306,62 \mu\text{m} \pm 0,56$ για τη θερμοκρασία 60 °C (των 70 °C. Η διάμεσος D(v,0,5) των αμυλόκοκκων σε αιώρημα

αμύλου 250 mL μετρήθηκε στα 605 W από τους Nadiah et al. (2015). Έτσι η διάμεσος ήταν 25 μm στην θερμοκρασία των 70 °C για την περίπτωση αμύλου αραβόσιτου, περίπου 30 μm στην θερμοκρασία των 70 °C στην περίπτωση του αμύλου κηρώδους αραβόσιτου και 30 μm στην θερμοκρασία των 70 °C στην περίπτωση του διασυνδεδεμένου αμύλου κηρώδους αραβόσιτου. Αξιοσημείωτο είναι το ότι και στις τρεις αυτές περιπτώσεις το προφίλ της διόγκωσης των κόκκων του αμύλου είναι παρόμοιο με τη διόγκωση των αμυλόκοκκων στο Σχήμα 5.38 και Σχήμα 5.39. Συγκριτικά με τα πειραματικά δεδομένα της παρούσας εργασίας, η μέση διάμετρος των περίπου 25 - 30 μm στην θερμοκρασία των 70 °C συμπίπτει με τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Casasnovas and Anantheswaran (2016). Η μέση διάμετρος των πειραματικών δεδομένων δεν μπορεί να παρομοιαστεί σε καμία περίπτωση με τη μέση διάμετρο του αμύλου πατάτας και ταπιόκας στην θερμοκρασία των 50 και 60 °C , όπως αυτή μετρήθηκε από τους Nadiah et al. (2015) λόγω φυσικών μορφολογικών διαφορών στο μέγεθος των τριών αυτών αμύλων.

5.2.3 Οπτικό μικροσκόπιο

Η ποιοτική αξιολόγηση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση οπτικού μικροσκοπίου εφοδιασμένου με φωτογραφική μηχανή. Στο Σχήμα 5.40 παρατηρούνται οι φωτογραφίες που τραβήχτηκαν μετά από εξέταση των δειγμάτων της ισχύος Low 5% 80 g και Low 5% 240 g. Όπως προκύπτει από το Σχήμα 5.40 το μέγεθος των κόκκων του αμύλου στο αιώρημα δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές στον χρόνο 180 και 300 s (Low 80 g) σε σχέση με το δείγμα αναφοράς. Επαληθεύονται έτσι τα αποτελέσματα της μέτρησης με στατική σκέδαση φωτός, όπως αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.27. Στον χρόνο 420 s παρατηρείται αισθητή διαφορά του μεγέθους των κόκκων στο αιώρημα. Σύμφωνα με το Σχήμα 5.27 η διάμετρος των σωματιδίων ήταν $D(4,3)$ 28,188 μm. Στον χρόνο 540 s παρατηρείται ακόμα μεγαλύτερη αύξηση των σωματιδίων, που εκφράζεται σύμφωνα με το Σχήμα 5.27 ως διάμετρος $D(4,3)$ 35,595 μm. Παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζουν τα δείγματα Low 240 g, καθότι μέχρι το χρόνο 900 s δεν παρατηρείται καμία διαφορά στο μέγεθος των κόκκων αμύλου σε σχέση με το δείγμα αναφοράς. Επίσης στο χρόνο 1260 s παρουσιάζεται μια μικρή αύξηση του μεγέθους που εκφράζεται από το Σχήμα 5.31 ως διάμετρος $D(4,3)$ 23,398 μm, ενώ στον τελευταίο χρόνο 1620 s το μέγεθος παρατηρείται να είναι μεγαλύτερο από όλα τα προηγούμενα. Σύμφωνα με το Σχήμα 5.31 η διάμετρος των σωματιδίων σε αυτόν το χρόνο ήταν $D(4,3)$ 28,434 μm. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως ο τριπλασιασμός της ποσότητας του δείγματος επηρεάζει την αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων αμύλου. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί από τον χρόνο 540 s και για τις δυο

περιπτώσεις. Στην περίπτωση των δειγμάτων 80 g το μέγεθος παρουσιάζεται εμφανώς μεγαλύτερο από το αρχικό δείγμα, ενώ στη περίπτωση των δειγμάτων 240 g το μέγεθος παρουσιάζεται ίδιο με αυτό του αρχικού δείγματος.

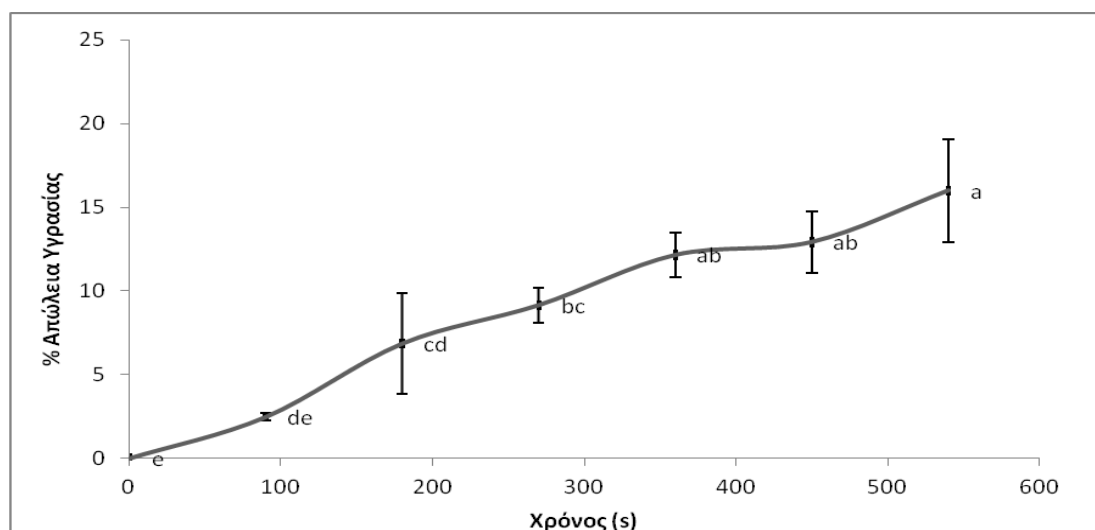


Σχήμα 5.41 Απεικόνιση της μορφολογίας των κόκκων του αμύλου κατά την πρόοδο της θερμικής εξεργασίας με μικροκύματα στην ισχύ Low για ποσότητα αιωρήματος 80 και 240 g.

5.3 Μελέτη συμπεριφοράς πηκτών αμύλου

5.3.1 Προσδιορισμός της % απώλειας υγρασίας

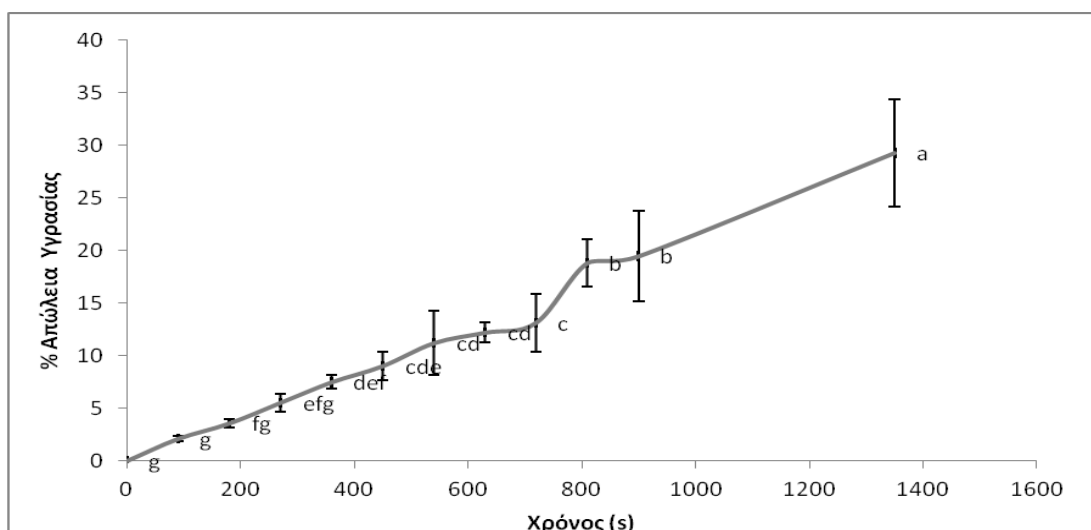
Η % απώλεια υγρασίας των πηκτών αμύλου έπειτα από τη θερμική τους επεξεργασία, διαφοροποιείται ανάλογα με το χρόνο της επεξεργασίας, την ισχύ της επεξεργασίας και τον αριθμό των πηκτών που δέχθηκαν θερμική επεξεργασία. Η διαφοροποίηση της % απώλειας υγρασίας των πηκτών αμύλου σε σχέση με τον χρόνο επεξεργασίας τους στην ισχύ Low παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.42. Όπως προέκυψε από την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) η % απώλεια υγρασίας στα δείγματα επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,001$). Στο διάγραμμα του Σχήματος 5.42 παρατηρείται ότι η % απώλεια υγρασίας στις πηκτές αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου θερμικής επεξεργασίας. Από τη σύγκριση των μέσων όρων του ελέγχου Tukey διαπιστώθηκε ότι τα δείγματα που επεξεργάστηκαν στα 90 s δεν παρουσιάζουν κάποια σημαντική διαφορά με τα αρχικά δείγματα ούτε με τις πηκτές που επεξεργάστηκαν στα 180 s. Επίσης τα δείγματα πηκτών που αντιστοιχούν στο χρόνο 270 s, δεν παρουσιάζουν καμία σημαντική διαφορά με τα δείγματα που επεξεργάστηκαν στα 180, 360 και 450 s. Τα δείγματα πηκτών που δέχθηκαν θερμική επεξεργασία στα 540 s παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές σε σχέση με όλους τους υπόλοιπους χρόνους με εξαίρεση τα δείγματα στα 360 και 450 s. Παρατηρείται ακόμη ότι η % απώλεια υγρασίας που είχαν οι πηκτές στα 360 και 450 s ήταν ελάχιστη.



Σχήμα 5.42 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην ισχύ Low ενός δείγματος στην % απώλεια υγρασίας.

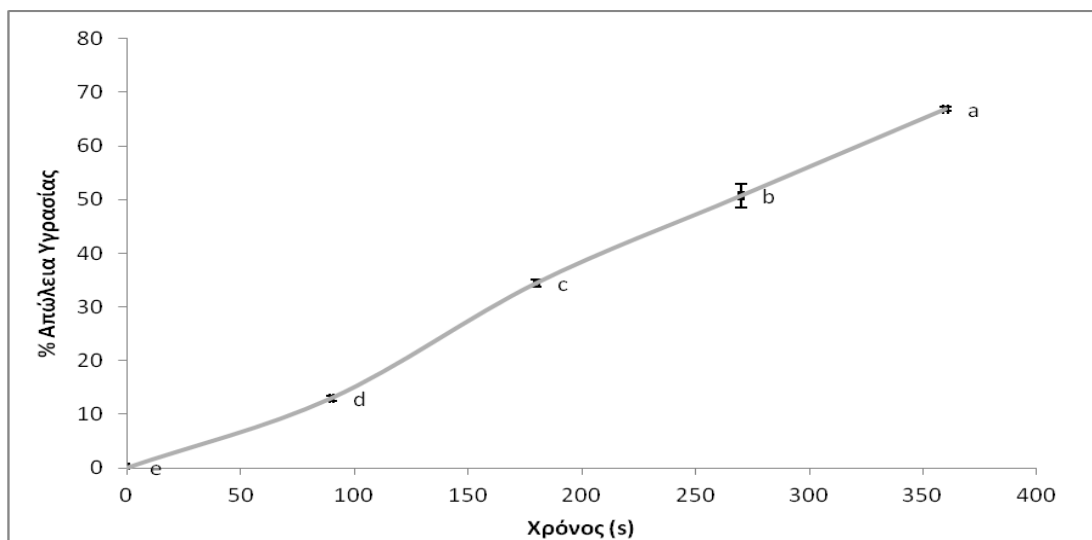
Στο Σχήμα 5.43 παρουσιάζεται το διάγραμμα σύγκρισης των μέσων όρων της % απώλεια υγρασίας σύμφωνα με τον έλεγχο Tukey σε σχέση με το χρόνο επεξεργασίας διπλάσιου αριθμού πηκτών αμύλου σε ισχύ Low. Όπως προέκυψε από την ανάλυση διακύμανσης ενός

παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) η % απώλεια υγρασίας στα δείγματα επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Παρουσιάζεται ότι η % απώλεια υγρασίας αυξάνεται με την αύξηση του χρόνου θερμικής επεξεργασίας. Παρατηρείται ότι από 0 έως και 720 s η % απώλεια υγρασίας αυξάνεται με αργό ρυθμό ενώ από 720 έως 1350 s υπάρχει μια απότομη και γρήγορη αύξηση της υγρασίας που χάνεται. Τα δείγματα από 0 έως 270 s δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους όπως και τα δείγματα από 180 έως 360 s αλλά και τα δείγματα που επεξεργάστηκαν από 270 έως 450 s. Επίσης δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές τα δείγματα τα οποία επεξεργάστηκαν σε χρόνους από 360 έως 630 s καθώς και τα δείγματα από 450 έως 720 s. Δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, τα δείγματα που επεξεργάστηκαν σε χρόνο 810 και 900 s σε αντίθεση με τις πηκτές αμύλου στα 1350 s οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στην % απώλεια υγρασίας με όλα τα δείγματα σε όλους τους υπόλοιπους χρόνους.



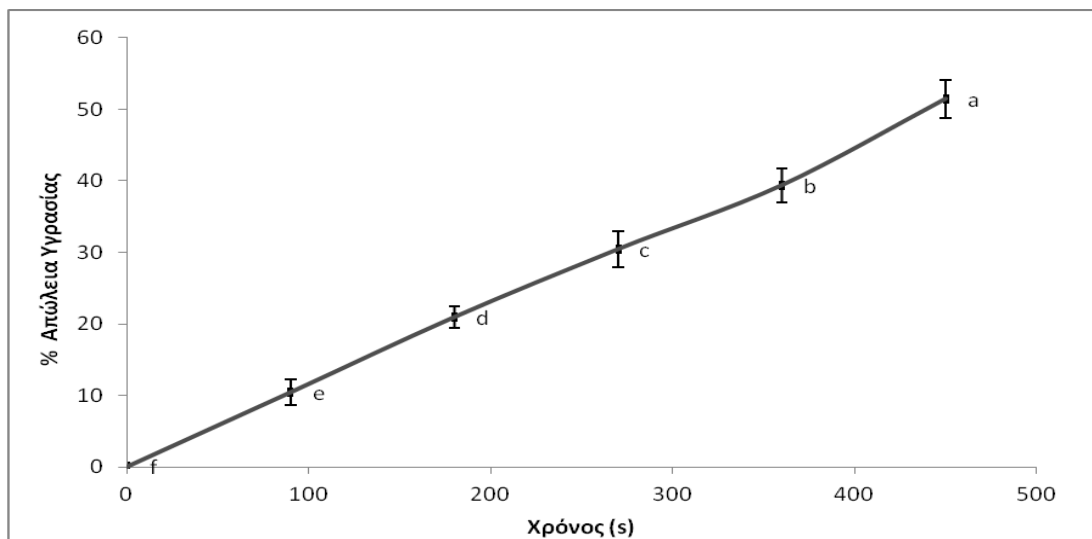
Σχήμα 5.43 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην ισχύ Low δύο δειγμάτων στην % απώλεια υγρασίας.

Σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση της διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) που πραγματοποιήθηκε για την ισχύ Medium φαίνεται ότι η % απώλεια υγρασίας στα δείγματα μίας πηκτής επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Στο Σχήμα 5.44 βάση της σύγκρισης των μέσων όρων του ελέγχου Tukey παρατηρείται ότι όλα τα δείγματα σε όλους τους αντίστοιχους χρόνους θερμικής επεξεργασίας διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους. Παρατηρείται ότι η % απώλεια υγρασίας αυξάνεται εκθετικά με την πάροδο του χρόνου και ότι ποσοστό μεγαλύτερο του 50% επιτυγχάνεται σε χρόνους από 270 s και άνω.



Σχήμα 5.44 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην ισχύ Medium ενός δείγματος στην % απώλεια υγρασίας.

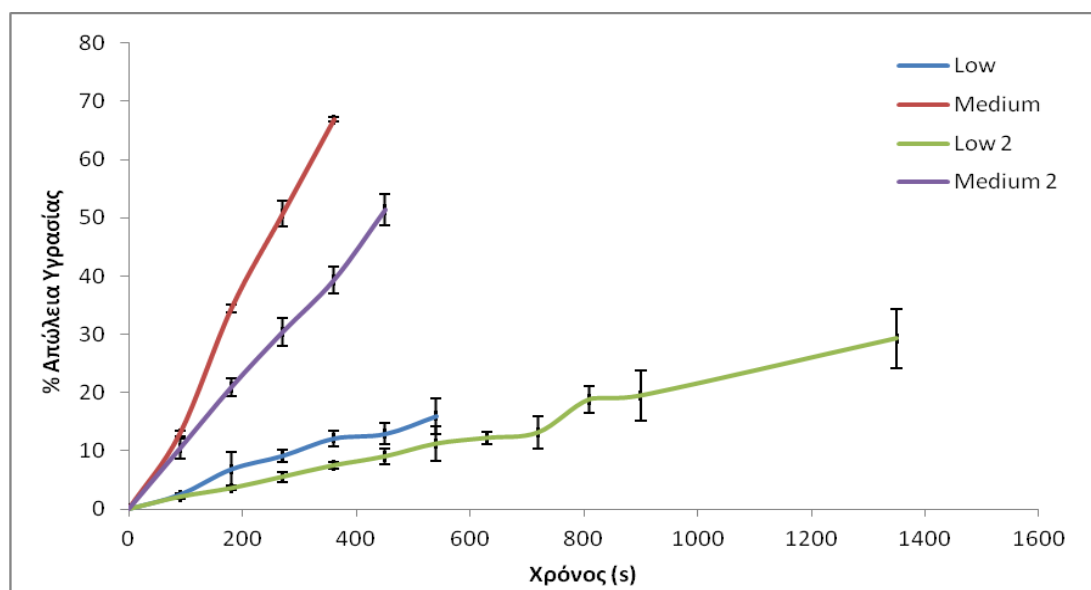
Στο Σχήμα 5.45 διακρίνεται η διαφοροποίηση της % απώλειας υγρασίας σε σχέση με το χρόνο επεξεργασίας διπλάσιου αριθμού πηκτών αμύλου σε ισχύ Medium. Η % απώλεια υγρασίας των δειγμάτων αυτών επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας κατόπιν της στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) ($p = 0,000$). Βάση της σύγκρισης των μέσων όρων του ελέγχου Tukey παρατηρείται ότι όλα τα δείγματα πηκτών σε όλους τους χρόνους διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους. Η % απώλεια υγρασίας των πηκτών αμύλου φαίνεται να αυξάνεται σχεδόν με σταθερό ρυθμό όσο αυξάνεται ο χρόνος θερμικής τους επεξεργασίας.



Σχήμα 5.45 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην ισχύ Medium δύο δειγμάτων στην % απώλεια υγρασίας.

Στο Σχήμα 5.46 γίνεται δυνατό να αναγνωριστούν οι διάφορες που παρουσιάζονται στην % απώλεια υγρασίας στα δείγματα πηκτών αμύλου ως προς τον αριθμό των πηκτών, το χρόνο θερμικής επεξεργασίας αλλά και ως προς την ισχύ. Όπως προέκυψε από την ανάλυση

διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) η % απώλεια υγρασίας στα δείγματα επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας, την ισχύ και τη ποσότητα των δειγμάτων ($p = 0,000$), Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.46 ο πιο γρήγορος ρυθμός της % απώλειας υγρασίας παρατηρείται στην ισχύ Medium όταν στο φούρνο μικροκυμάτων επεξεργάστηκε ένα δείγμα πηκτής. Αντίθετα ο πιο αργός ρυθμός της % απώλειας υγρασίας παρατηρείται στη ισχύ Low όταν στο φούρνο μικροκυμάτων επεξεργάστηκαν δύο δείγματα πηκτών αμύλου. Συγκρίνοντας μεταξύ τους τις διαφορετικές συνθήκες ισχύς παρατηρείται ότι τα δείγματα που επεξεργάστηκαν σε ισχύ Medium παρουσίασαν μεγαλύτερη % απώλεια υγρασίας και σε μικρότερο χρόνο από ότι τα δείγματα σε ισχύ Low, αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη ενέργεια που αποδίδει ο φούρνος μικροκυμάτων σε αυτή την ισχύ. Παρατηρείται επίσης ότι, όταν η θερμική επεξεργασία στο φούρνο μικροκυμάτων έγινε με δύο δείγματα πηκτών, η % απώλεια υγρασίας ήταν εμφανώς μικρότερη από ότι οι δοκιμές που έγιναν με ένα δείγμα πηκτής. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η ποσότητα των πηκτών είναι διπλάσια. Τότε η ενέργεια μοιράζεται με αποτέλεσμα το κάθε δείγμα να δέχεται μικρότερη θερμική επεξεργασία άρα να έχει μικρότερη % απώλεια υγρασίας.

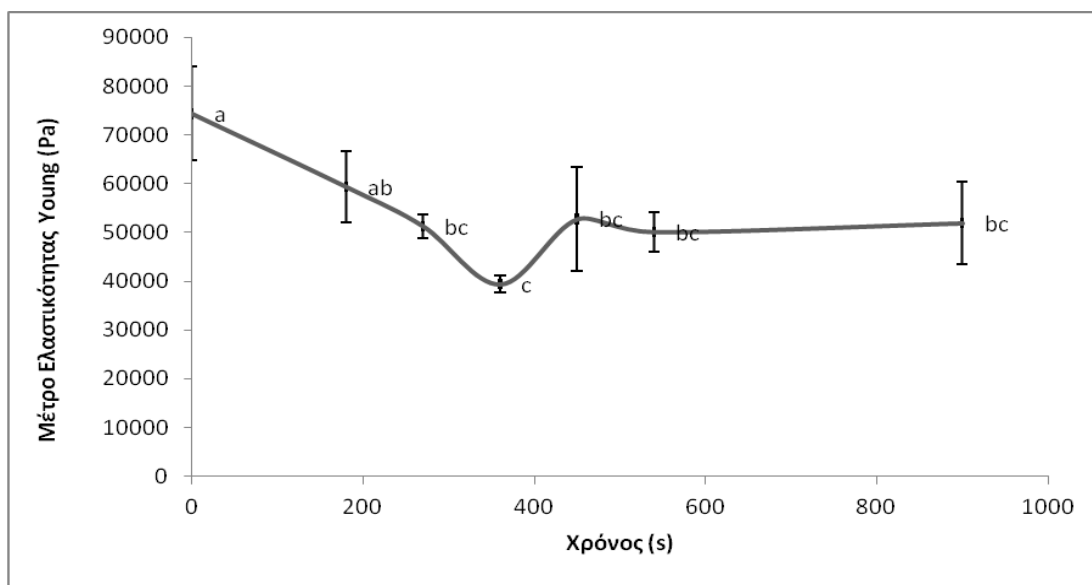


Σχήμα 5.46 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στην % απώλεια υγρασίας για ένα και δύο δείγματα σε ισχύ Low και Medium.

5.3.2 Προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας Young

Ελαστικότητα είναι η ιδιότητα υλικών σωμάτων να επανέρχονται στο αρχικό τους σχήμα μετά από άσκηση εξωτερικής τάσης και χαρακτηρίζεται από ένα φυσικό μέγεθος, γνωστό ως μέτρο ελαστικότητας. Κάθε υλικό σώμα με την άσκηση τάσης, δηλαδή δύναμης ανά

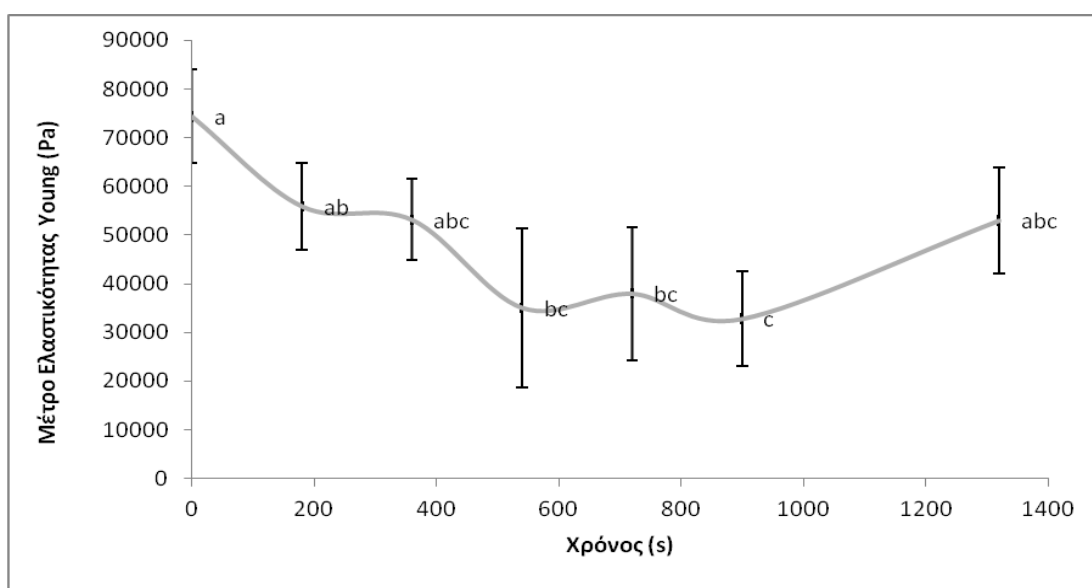
μονάδα διατομής, παραμορφώνεται. Για μικρές τάσεις η παραμόρφωση είναι ανάλογη της τάσης που εφαρμόζεται. Ο λόγος της τάσης προς την παραμόρφωση σε κάθε σώμα είναι σταθερός και ονομάζεται μέτρο ελαστικότητας. Στο Σχήμα 5.47 παρουσιάζεται η διαφοροποίηση του μέτρου ελαστικότητας Young πηκτών αμύλου σε σχέση με τον χρόνο επεξεργασίας τους στην ισχύ Low. Σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) που πραγματοποιήθηκε για την ισχύ Low φαίνεται ότι το μέτρο ελαστικότητας στα δείγματα πηκτών επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Παρατηρώντας την πορεία της καμπύλης στο Σχήμα 5.47 φαίνεται ότι το μέτρο ελαστικότητας των πηκτών αρχίζει να μειώνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος θερμικής τους επεξεργασίας μέχρι τα 360 s όπου παρατηρείται και η μεγαλύτερη μαλακότητα. Με την πάροδο του χρόνου θερμικής επεξεργασίας τα δείγματα πηκτών αρχίζουν να μαλακώνουν έως και τα 360 s και στην συνέχεια αρχίζουν να γίνονται πιο σκληρά αλλά περισσότερο μαλακά από ότι τα αρχικά δείγματα. Από τη σύγκριση των μέσων όρων του ελέγχου Tukey διαπιστώθηκε ότι τα δείγματα που επεξεργάστηκαν στα 180 s παρουσιάζουν σημαντική διαφορά μόνο με τα δείγματα στα 360 s. Επίσης όλα τα δείγματα πηκτών τα οποία επεξεργάστηκαν σε όλους τους χρόνους μετά το πέρας των 270 s δεν παρουσιάζουν μεταξύ τους καμία σημαντική στατιστική διαφορά.



Σχήμα 5.47 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στο μέτρο ελαστικότητας Young ενός δείγματος σε ισχύ Low.

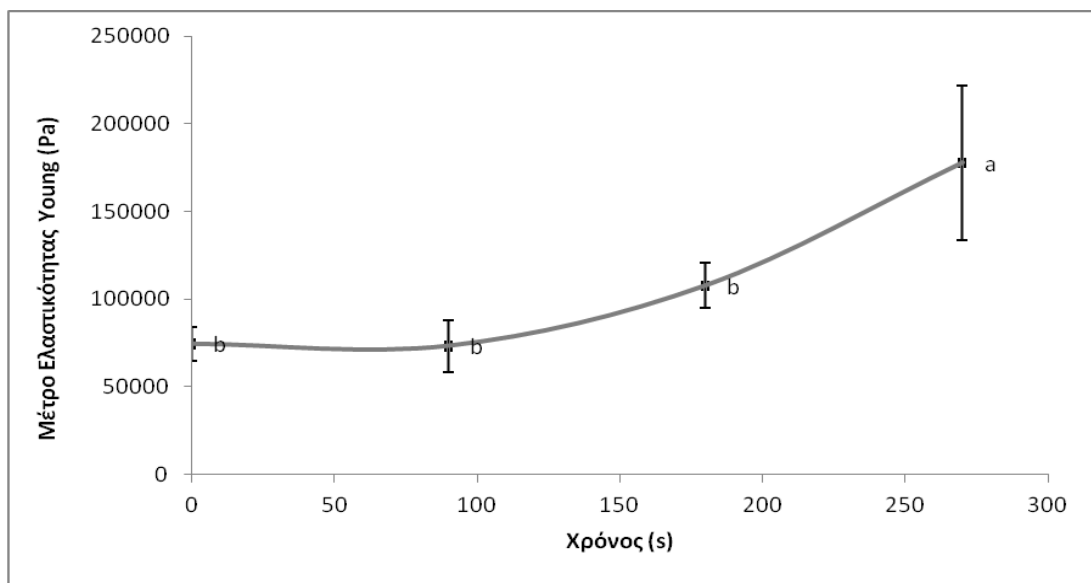
Σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) που πραγματοποιήθηκε για την ταυτόχρονη επεξεργασία δύο δειγμάτων πηκτών σε ισχύ Low φαίνεται ότι το μέτρο ελαστικότητας στα δείγματα επηρεάστηκε από τον

χρόνος επεξεργασίας ($p = 0,000$). Στο Σχήμα 5.48 παρατηρείται ότι τα δείγματα αρχίζουν να γίνονται πιο μαλακά καθώς αυξάνεται ο χρόνος θερμικής τους επεξεργασίας. Μεταξύ των χρόνων θερμικής επεξεργασίας φαίνεται να υπάρχουν μικρές αυξομειώσεις του μέτρου Young οι τιμές όμως του οποίου είναι όλες μικρότερες σε σύγκριση με τα αρχικά δείγματα. Βάση της σύγκρισης των μέσων όρων του ελέγχου Tukey παρατηρείται ότι τα δείγματα σε χρόνους από 180 έως και 1320 s με εξαίρεση τα δείγματα στα 900 s δεν διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους. Επίσης δεν φαίνεται να υπάρχει καμία στατιστική διαφορά μεταξύ των δειγμάτων στους χρόνους 0 – 360 s, 1320 s και των δειγμάτων από 360 έως 1320 s.



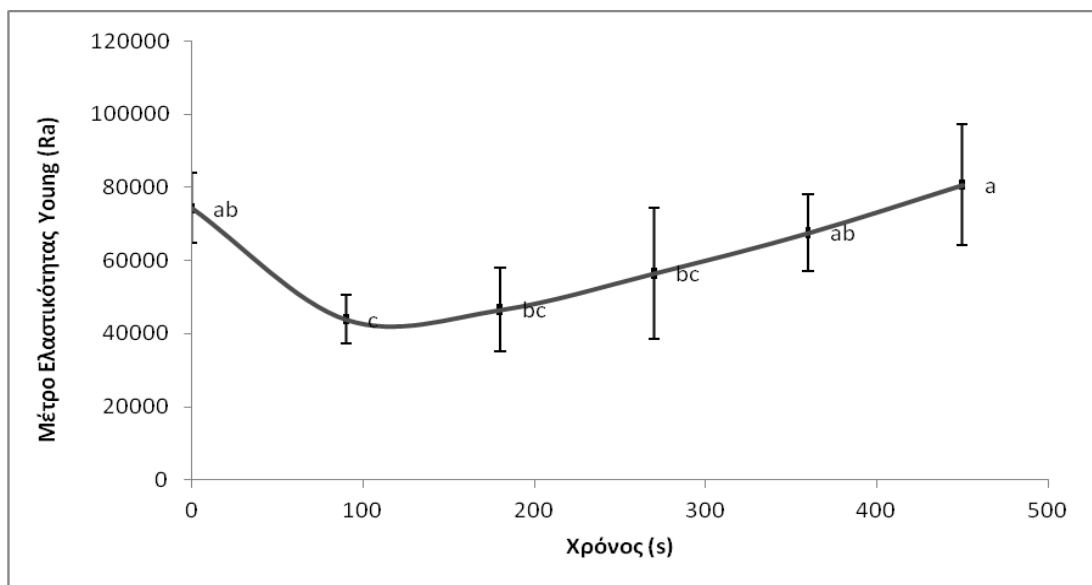
Σχήμα 5.48 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στο μέτρο ελαστικότητας Young δύο δειγμάτων σε ισχύ Low.

Στο Σχήμα 5.49 παρατηρείται η διαφοροποίηση του μέτρου ελαστικότητας σε σχέση με το χρόνο επεξεργασίας πηκτών αμύλου σε ισχύ Medium. Το μέτρο ελαστικότητας των δειγμάτων αυτών σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) ($p = 0,003$) φαίνεται να επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας. Βάση της σύγκρισης των μέσων όρων του ελέγχου Tukey παρατηρείται ότι όλα τα δείγματα πηκτών σε όλους τους χρόνους δεν παρουσιάζουν στατιστικές διαφορές με εξαίρεση τα δείγματα στα 270 s. Το μέτρο Young των πηκτών αμύλου παρατηρείται ότι αυξάνεται εκθετικά με την αύξηση του χρόνου της θερμικής τους επεξεργασίας. Όσο πιο μεγάλος είναι ο χρόνος διάρκειας της θερμικής επεξεργασίας των πηκτών τόσο πιο μεγάλη είναι η σκληρότητα που παρουσιάζουν.



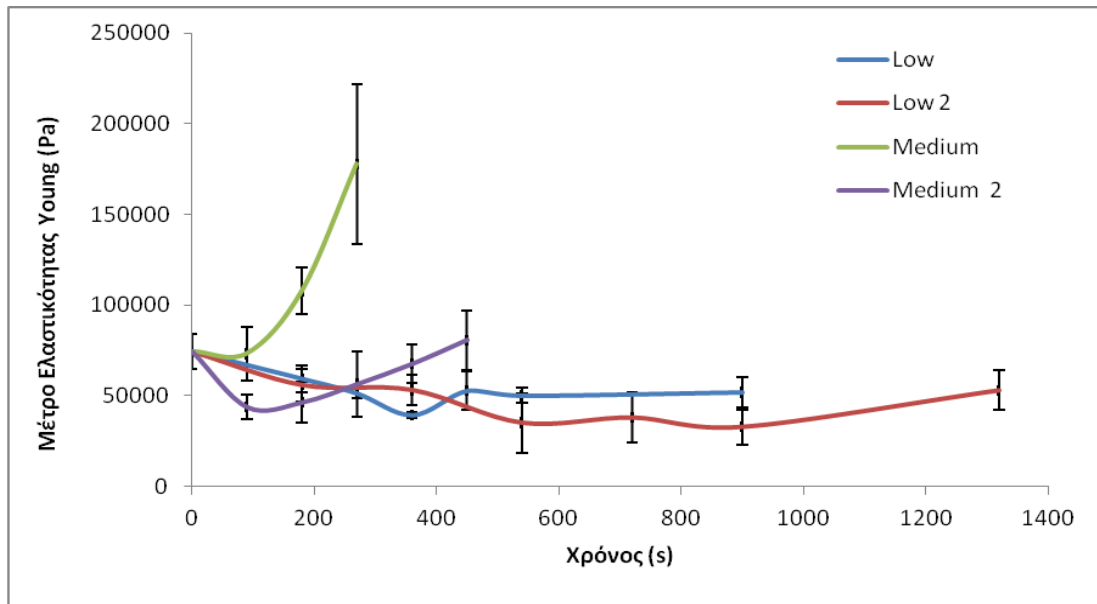
Σχήμα 5.49 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στο μέτρο ελαστικότητας Young ενός δείγματος σε ισχύ Medium.

Στο Σχήμα 5.50 παρουσιάζεται το διάγραμμα σύγκρισης των μέσων όρων του μέτρου ελαστικότητας σύμφωνα με τον έλεγχο Tukey σε σχέση με το χρόνο επεξεργασίας ποσότητας δύο δειγμάτων πηκτών αμύλου σε ισχύ Medium. Όπως προέκυψε από την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) το μέτρο ελαστικότητας Young επηρεάστηκε από το χρόνο επεξεργασίας ($p = 0,000$). Στο Σχήμα 5.50 το μέτρο ελαστικότητας φαίνεται να μειώνεται μέχρι τα 90 s όπου τα δείγματα γίνονται πιο μαλακά και στη συνέχεια το μέτρο ελαστικότητας αυξάνεται με αποτέλεσμα και την αύξηση της σκληρότητας των δειγμάτων. Από τη σύγκριση των μέσων όρων του ελέγχου Tukey φαίνεται ότι τα δείγματα στους χρόνους 0,360,450 s, τα δείγματα από 90 έως 270 s καθώς και τα δείγματα στα 0,180,270 και 360 δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.



Σχήμα 5.50 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στο μέτρο ελαστικότητας Young δύο δειγμάτων σε ισχύ Medium.

Στο Σχήμα 5.51 φαίνονται οι διάφορες που παρουσιάζουν στο μέτρο ελαστικότητας δείγματα πηκτών αμύλου σύμφωνα με τον αριθμό των πηκτών και την ισχύ. Όπως προέκυψε από την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA, $p < 0,05$) το μέτρο ελαστικότητας στα δείγματα επηρεάστηκε από τον χρόνο επεξεργασίας, την ισχύ και τη ποσότητα των δειγμάτων ($p = 0,000$). Συγκριτικά με την ισχύ, παρατηρείται ότι τα δείγματα που επεξεργάστηκαν σε ισχύ Medium παρουσίασαν μεγαλύτερες τιμές μέτρου ελαστικότητας σε μικρότερο χρόνο από ότι τα δείγματα σε ισχύ Low. Στην περίπτωση όπου η ισχύ του φούρνου μικροκυμάτων ήταν Medium και το δείγμα πηκτής ήταν ένα παρατηρείται ότι προκύπτουν οι μεγαλύτερες τιμές μέτρου ελαστικότητα Young, επειδή οι πηκτές έχασαν μεγαλύτερη υγρασία και άρχισαν να σκληραίνουν. Συγκρίνοντας με τον αριθμό των πηκτών, παρατηρείται ότι όταν η θερμική επεξεργασία στο φούρνο μικροκυμάτων έγινε με δύο δείγματα πηκτών το μέτρο ελαστικότητας ήταν μικρότερο από ότι οι δοκιμές που έγιναν με ένα δείγμα πηκτής. Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει λόγω του διπλάσιου αριθμού των πηκτών, με αποτέλεσμα η ενέργεια που αποδίδει ο φούρνος μικροκυμάτων μοιράζεται.



Σχήμα 5.51 Επίδραση του χρόνου επεξεργασίας στο μέτρο ελαστικότητας Young ενός και δυο δειγμάτων σε ισχύ Low και Medium.

Από τους Wang et al. (2013) μελετήθηκε η ξήρανση υπό κενό σε μικροκύματα (MVD) πηκτών αμύλου κασσάβας. Οι πηκτές αμύλου παρασκευάστηκαν με αναλογία αμύλου: νερού 1:1, δηλαδή συγκέντρωσης 50% w/w σε θερμοκρασία 75, 90, 100 °C για 30 min καθώς και 100 °C για 60 min. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ξήρανση των πηκτών πάχους 4 mm και βάρους 100 g ανά δείγμα σε ένα ξηραντήρα μικροκυμάτων κενού. Η ισχύς για κάθε δοκιμή ξήρανσης ήταν 210 W. Ο χρόνος ξήρανσης των δειγμάτων διήρκεσε περίπου 25-27 min μέχρι τελικής υγρασίας 7%. Ακολούθως οι πηκτές υποβλήθηκαν σε δοκιμή συμπίεσης χρησιμοποιώντας έναν αναλυτή υφής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η θερμική επεξεργασία για παρασκευή των πηκτών στους 90 °C εμφάνισαν υψηλότερη σκληρότητα από ότι στους 75 °C ενώ δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές στην ελαστικότητα μεταξύ τους. Περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας και του χρόνου της θερμικής επεξεργασίας για παρασκευή των πηκτών έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της σκληρότητας σε κάποιο βαθμό και σημαντική αύξηση της ελαστικότητας. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της μεγαλύτερης διόγκωσης και πρόληψης νερού από το άμυλο στη διάρκεια της ζελατινοποίησης που ενίσχυσαν το πήκτωμα αμύλου. Κατά το σχηματισμό ισχυρότερου πηκτώματος μπορεί να γίνει απορρόφηση περισσότερου νερού με αποτέλεσμα την αύξηση της ελαστικότητας. Σύμφωνα με τους Arimi et al. (2010) οι διαφορές στην υφή του πηκτώματος σχετίζονται κυρίως με την ενεργότητα του νερού, καθώς και την εσωτερική δομή που σχηματίζεται. Έχει βρεθεί ότι η σκληρότητα της πηκτής αυξάνεται με τη μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία καθώς και με την ενεργότητα του νερού. Συγκρίνοντας τα

αποτελέσματα των Wang et al. (2013) και Arimi et al. (2010) με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης παρατηρείται ότι συμπίπτουν οι απόψεις ότι με την μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία μειώνεται η ελαστικότητα και αυξάνεται η σκληρότητα.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη συμπεριφοράς των δειγμάτων πατάτας συμπεραίνεται ότι ο χρόνος επεξεργασίας επηρεάζει τόσο την % απώλειά υγρασίας όσο και το % ποσοστό επικάλυψης θερμικής επεξεργασίας, τα οποία αυξάνονται με τη πάροδο του χρόνου ανεξάρτητα της ισχύος (Low, Medium, High) και του γεωμετρικού σχήματος (Κύλινδροι, Κύβοι). Παρατηρείται επίσης φαινόμενο καθυστέρησης αύξησης της % απώλειας υγρασίας που συμβαίνει στην ισχύ Low και Medium και όχι στην ισχύ High λόγω της αυξημένης ισχύος που αποδίδεται. Ένα ανάλογο φαινόμενο συμβαίνει και στην αύξηση του % ποσοστού θερμικής επεξεργασίας το οποίο σε κάποιο σημείο παρουσιάζει πτώση και κατόπιν αύξηση στην ισχύ Low και Medium και όχι στην ισχύ High λόγω της αυξημένης ισχύος που αποδίδεται. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως τα δύο φαινόμενα που παρατηρούνται στην % απώλεια υγρασίας και στο % ποσοστό θερμικής επεξεργασία συμβαίνουν ταυτόχρονα στην ισχύ Medium. Ωστόσο η % απώλειας υγρασίας και το % ποσοστό θερμικής επεξεργασίας επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την ισχύ. Αντίθετα το γεωμετρικό σχήμα δεν επηρεάζει σημαντικά την % απώλεια υγρασίας και το % ποσοστό θερμικής επεξεργασίας εκτός του σημείου που συμβαίνει το φαινόμενο της καθυστέρησης και το φαινόμενο της πτώσης του % ποσοστού θερμικής επεξεργασίας. Συμπεραίνεται επίσης ο τρόπος με τον οποίο εμφανίζεται το μέτωπο της θερμικής επεξεργασίας που είναι στον πυρήνα του δείγματος, η περαιτέρω αύξηση του, άλλα και η μορφολογική αλλαγή (μερική διόγκωση των κόκκων αμύλου) που συμβαίνει στη περιοχή του μετώπου.

Από τη μελέτη συμπεριφοράς αιωρημάτων αμύλου συμπεραίνεται ότι τελική θερμοκρασία επηρεάζεται από τον χρόνο επεξεργασίας σε κάθε ισχύ. Αντίθετα η διαφορετική συγκέντρωση των αιωρημάτων δεν επηρεάζει την τελική θερμοκρασία όπως την επηρεάζει η διαφορετική ποσότητα δείγματος. Ο τριπλασιασμός της ποσότητας του δείγματος, τριπλασιάζει το χρόνο που απαιτείται για να επιτευχθεί και στις δυο περιπτώσεις η ίδια θερμοκρασία. Επίσης η κάθε ισχύς (Low, Medium, High) επηρεάζει τον ρυθμό με το οποίο αυξάνεται η τελική θερμοκρασία. Συμπεραίνεται επίσης ότι η μέση διάμετρος των αμυλόκοκκων αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου σε κάθε ισχύ. Αντίθετα η διαφορετική συγκέντρωση των αιωρημάτων δεν επηρεάζει την μέση διάμετρο των αμυλόκοκκων όπως την επηρεάζει η διαφορετική ποσότητα δείγματος. Η κάθε ισχύς επηρεάζει διαφορετικά τη μέση διάμετρο των σωματιδίων για τον ίδιο χρόνο επεξεργασίας. Επαληθεύεται ότι η διόγκωση των αμυλόκοκκων σε ένα αιώρημα επηρεάζεται μόνο από τη θερμοκρασία του δείγματος, ανεξάρτητα της ισχύος και της ποσότητας.

Από τη μελέτη συμπεριφοράς των πηκτών αμύλου συμπεραίνεται ότι, ο χρόνος επεξεργασίας επηρεάζει την % απώλειά υγρασίας, η οποία αυξάνεται με τη πάροδο του χρόνου ανεξάρτητα της ισχύος (Low, Medium) και ανεξάρτητα από τον αριθμό των δειγμάτων (ένα, δύο). Επίσης ο αριθμός των πηκτών μέσα στον φούρνο επηρεάζει την % απώλεια υγρασίας λόγω του διαμοιρασμού την ενέργειας που αποδίδεται. Συμπεραίνεται ότι κατά τα αρχικά στάδια της επεξεργασίας πραγματοποιείται μια μείωση του μέτρου Young που οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας. Κατόπιν λόγω απώλειας υγρασίας που οδηγεί και σε αύξηση της σκληρότητας παρατηρείται αύξηση του μέτρου ελαστικότητας Young. Η υψηλότερη ενέργεια που αποδίδεται στην ισχύ Medium χωρίς να διαμοιράζεται σε δύο δείγματα δεν επιτρέπει την παρατήρηση αυτού του φαινομένου. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση της ισχύος Low, όπου η χαμηλή ενέργεια που αποδίδεται και διαμοιράζεται δεν επιτρέπει σε ορισμένο χρονικό διάστημα να παρατηρηθεί ολόκληρο το φαινόμενο.

7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Από τη μελέτη συμπεριφοράς δειγμάτων πατάτας προτείνεται για μελλοντική έρευνα:

- Η μελέτη και διερεύνηση των φαινομένων καθυστέρησης αύξησης της % απώλειας υγρασίας και μείωσης του % ποσοστού θερμικής επεξεργασίας, η ποσοτικοποίηση και η μοντελοποίηση τους.
- Η διερεύνηση και επαλήθευση των παραπάνω φαινομένων στην ισχύ High, μειώνοντας το χρόνο δειγματοληψίας.
- Μελέτη της προόδου της θερμικής επεξεργασίας με τη δοκιμή της γουαϊακόλης για την επιτυχία ή μη της αδρανοποίησης των ενζύμων στον σχηματισμό του μετώπου.
- Χρήση υψηλού κενού μετά το τέλος της θερμικής επεξεργασίας με μικροκύματα.
- Χρήση μικρότερου μεγέθους δειγμάτων.
- Χρήση κατεψυγμένων δειγμάτων πατάτας και μελέτη της προόδου της θερμικής επεξεργασίας κατά την απόψυξη τους.

Από τη μελέτη συμπεριφοράς δειγμάτων αιωρημάτων αμύλου προτείνεται για μελλοντική έρευνα:

- Η συνέχιση της θερμικής επεξεργασίας σε μεγαλύτερους χρόνους επεξεργασίας και σε μεγαλύτερες ποσότητες δείγματος.
- Μελέτη της μεταβολής στο ιξώδες των αιωρημάτων που οφείλεται στην διόγκωση και ζελατινοποίηση των αμυλόκοκκων.
- Μελέτη της επίδρασης της προσθήκης λιπαρών και πρωτεϊνικών ενώσεων ή ζάχαρης σε παράγοντες όπως η μεταβολή της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων, το χρώμα και τη μεταβολή του ιξώδους.

Από τη μελέτη συμπεριφοράς δειγμάτων πηκτών αμύλου προτείνεται για μελλοντική έρευνα:

- Μελέτη και επαλήθευση της συμπεριφοράς του μέτρου ελαστικότητας Young στην ισχύ Medium (ένα δείγμα) μειώνοντας τον χρόνο δειγματοληψίας και στην ισχύ

Low (ένα και δύο δείγματα) συνεχίζοντας την επεξεργασία σε μεγαλύτερους χρόνους.

- Μελέτη της συμπεριφοράς του μέτρου ελαστικότητας Young σε μεγαλύτερου μεγέθους πηκτές αμύλου.
- Μελέτη της επίδρασης της προσθήκης λιπαρών και πρωτεϊνικών ενώσεων ή ζάχαρης σε παράγοντες όπως η μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας Young.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσσα άρθρα

Arimi J.M., Duggan E., O’Riordan E.D., O’Sullivan M., Lyng, J.G. (2010). Effect of moisture content and water mobility on microwave expansion of imitation cheese, *Food Chemistry*, **121**, 509-516.

Buleon A., Colonna P., Planchot V. and Ball S. (1998). Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, **23**, 85-112.

Casasnovas J. and Anantheswaran C.R. (2016). Dynamic measurement of starch granule swelling during microwave heating. *Carbohydrate Polymers*, **151**, 1052-1057.

Guo Q., Sun D.-W., Cheng J.-H. and Han Z. (2017). Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, **67**, 236-247.

Harrison A. and Whittaker A.G. Microwave Heating . *Comprehensive Coordination Chemistry II*, **1**, 741–745, University of Edinburgh, UK.

Jouquand C., Tessiera F.J., Bernarda J., Mariera D., Woodward K., Jacolota P., Gadonna-Widehema P., Laguerrea J.C. (2015) Optimization of microwave cooking of beef burgundy in terms of nutritional and organoleptic properties. *LWT - Food Science and Technology*, **60**, 271-276.

Keetels M.A.J.C., Vliet T. and Walstra P. (1996). Gelation and retrogradation of concentrated starch systems: 2. Reregradation. *Food Hydrocolloids*, **3**, 355-362.

Lakshmi S., Chakkaravarthi A., Subramanian R. and Singh V.(2005) Energy consumption in microwave cooking of rice and its comparison with other domestic appliances. *Journal of Food Engineering*, **78**, 715–722.

Liburdi K., Benucci I. and Esti M. (2019). Effect of microwave power and blanching time in relation to different geometric shapes of vegetables. *LWT – Food Science and Technology*, **99**, 497-504.

Liu S., Ogiwara Y., Fukuoka M. and Sakai N. (2014). Investigation and modeling of temperature changes in food heated in a flatbed microwave oven. *Journal of Food Engineering*, **131**, 142–153.

- Lyng J.G., Arimi J.M., Scully M., Marra F. (2014). The influence of compositional changes in reconstituted potato flakes on thermal and dielectric properties and temperatures following microwave heating. *Journal of Food Engineering*, **124**, 133–142.
- Nadiah I. N., Uthumporn U. and Syahariza A. Z. (2015) Effect of Microwave Heating on Patato and Tapioca Starches in Water Suspension. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, **4**, 264-271.
- New C.Y., Thung T.Y., Premarathne J.M.K.J.K., Russly A.R., Abdulkarim S.M., Son R. (2017). Microwave oven safety: A food safety consumer survey in Malaysia. *Food Control*, **80**, 420-427.
- Regier M., Knoerzer K. Schubert H., (2017). Determination of the dielectric properties of foods. *The microwave processing of foods (Second Edition)*. Woodhead Publishing in food Science, Technology and Nutrition, 44-64.
- Shaheen M.S., El-Massry K.F., El-Ghorab A.H., Anjum F.M. (2012). Microwave Applications in Thermal Food Processing, *The Development and Application of Microwave Heating*, 5-16.
- Singh N., Singh J., Kaur L., Sodhi S.N. and Gill S.B. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, **81**, 219-231.
- Tester F.R., Karkalas J. and Qi X. (2004). Starch – composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, **39**, 151-165.
- Thostenson E.T., Chou T.-W. (1999). Microwave processing: fundamentals and applications, *Composites: Part A*, **30**, 1055–1071.
- Wang Y., Zhang M. and Mujumdar A. (2013). Effect of cassava starch gel, fish gel and mixed gels and thermal treatment on structure development and various quality parameters in microwave vacuum-dried gel slices. *Food hydrocolloids*, **33**, 26-37.
- Wood K., Carragher J. and Davis R. (2017). Australian consumers' insights into potatoes - Nutritional knowledge, perceptions and beliefs. *Appetite*, **114**, 169-174.
- Xie F., Zhang W., Lan X., Gong S., Wu J. and Wang Z. (2018). Effects of High hydrostatic pressure and High pressure homogenization processing on characteristics of potato peel waste pectin. *Carbohydrate Polymers*, **196**, 474–482.

Xie Y., Yan M., Yuan S., Sun S. and Huo Q. (2013), Effect of microwave treatment on the physicochemical properties of potato starch granules. *Chemistry Central Journal*.

Xu Y., Chen Y., Cao Y., Xia W. and Jiang Q. (2016). Application of simultaneous combination of microwave and steam cooking to improve nutritional quality of cooked purple sweet potatoes and saving time. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **36**, 303–310.

Ξενόγλωσσα βιβλία

Bergthaller W. (2004). Starch World Markets and Isolation of Starch. In: *Chemical and Functional Properties of Food Saccharides*, 110-129, CRC Press LLC.

Jane J. (2004). Starch: Structure and Properties. In: *Chemical and Functional Properties of Food Saccharides*, (Tomasik P.), 90-109, CRC Press LLC.

Sinha N.K. and Po E. (2011). Potatoes: Production, Quality, and Major Processed Products. *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing*. 683-685.

Ελληνικά βιβλία

Belitz H.D., Grisch W. and Schieberle P. (2009). *Χημεία Τροφίμων*, 4η Έκδοση. 343-355 Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Μπλούκας Ι.Γ. (2004). Επεξεργασία και Συντήρηση Τροφίμων. 51-61 *Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε.*, Αθήνα.

Δημοσιεύσεις επιστημονικών εργασιών

Wakde D. (2014). Microwave Drying of Potato Cubes Followed by Vacuum Tempering. Department of Post Harvest Process and Food Engineering, Ranipool, India.

Γιώτη Σ. (2016). Ανάλυση Λειτουργίας Κυκλωμάτων Λευκών Συσκευών. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Παράρτημα Χανίων, Τμήμα Ηλεκτρονικής.

Μαρινοπούλου Α. (2016). Η Επίδραση του Σχηματισμού Συμπλοκών Αμυλόζης – Λιπαρών Οξέων στα Δομικά και Φυσικοχημικά Χαρακτηριστικά Συστημάτων Αμύλου. Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

Άλλες βιβλιογραφίες

Ackerman E. (2016). A Brief History of the Microwave Oven. *IEEE Spectrum*

FAO. (2008). International Year Of The Potato.

International Potato Center (www.cgiar.org). A CGIAR RESEARCH CENTER (τελευταία επίσκεψη: 10/12/2018)

John R. (1973). The facts about microwave ovens. The what's new magazine: Popular Science. pp 79-81. U.S.A.

OK. (2014). Manual – OK OMW 1221 W Microwave, Imtron GmbH, Germany.

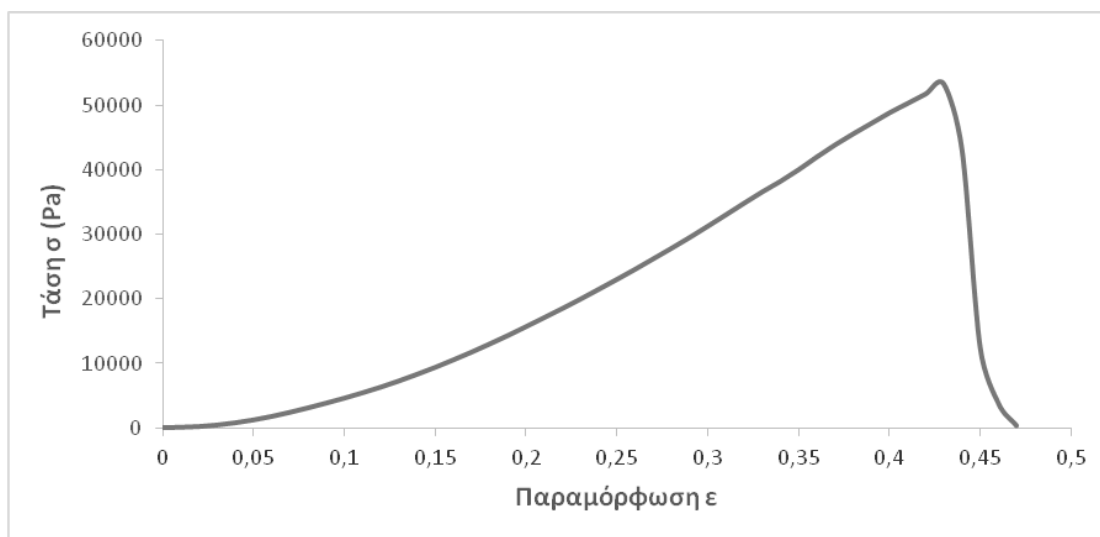
Regier M. and Schubert H., Microwave processing, Information sheet, University of Karlsruhe.

World Health Organization. (2005). Electromagnetic fields & public health: Microwave ovens. Information Sheet.

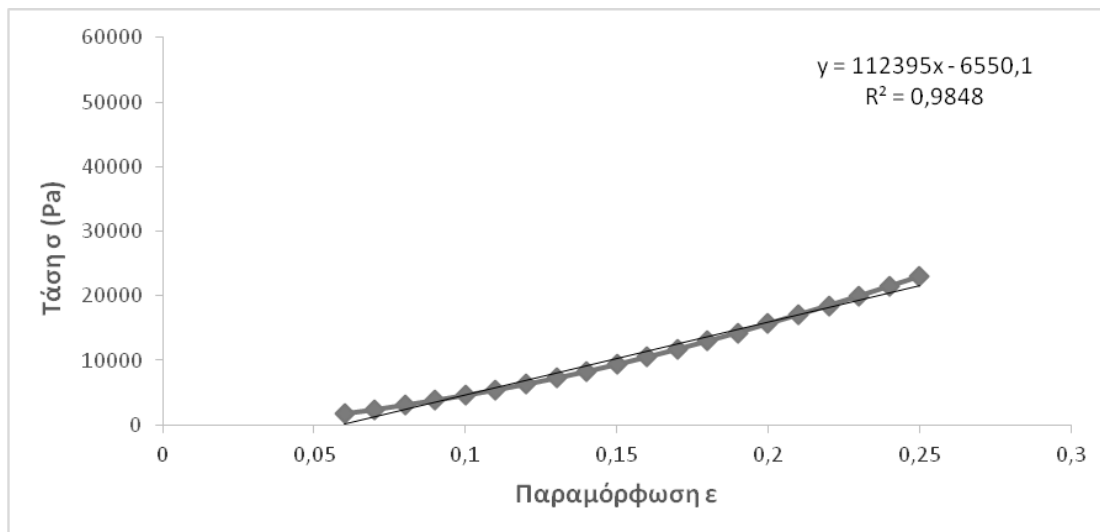
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παράρτημα 1

Τυπική καμπύλη τάσης – παραμόρφωσης που προέκυψε για τον υπολογισμό του μέτρου ελαστικότητας Young.



Σχήμα Π1.1 Καμπύλη τάσης - παραμόρφωσης, όπως προέκυψε από τον αναλυτή υφής.



Σχήμα Π1.2 Η ελαστική περιοχή, όπως προέκυψε από τον υπολογισμό του μέτρου Young με τυπικές τιμές παραμόρφωσης που κυμαίνονται από 0,06 έως 0,25.