



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ , ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ

ΑΝΘΡΩΠΟΥ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών:

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ:

«Επίδραση της μικροάλεσης αλεύρου σίτου ολικής άλεσης στα ρεολογικά χαρακτηριστικά των ζυμαριών και στην ποιοτική αξιολόγηση του άρτου»

ΑΚΡΙΒΟΥ Α. ΣΩΤΗΡΙΑ

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

ΜΑΝΤΑΛΑ Ι., Επίκουρος Καθηγήτρια Γ.Π.Α

ΑΘΗΝΑ

2015

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΑΛΕΣΗΣ ΑΛΕΥΡΟΥ ΣΙΤΟΥ
ΟΛΙΚΗΣ ΑΛΕΣΗΣ ΣΤΑ ΡΕΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ
ΖΥΜΑΡΙΩΝ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ
ΑΡΤΟΥ

ΑΚΡΙΒΟΥ Α. ΣΩΤΗΡΙΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΜΑΝΤΑΛΑ Ι., Επίκουρος Καθηγήτρια Γ.Π.Α. (επιβλέπουσα)

ΓΙΑΝΝΙΩΤΗΣ Σ., Καθηγητής Γ.Π.Α

ΣΤΟΦΟΡΟΣ Ν. , Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παραγωγή αλεύρου σίτου ολικής έχει αυξηθεί κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας λόγω των ερευνών που αποδεικνύουν την ευεργετική δράση και τα οφέλη των δημητριακών ολικής άλεσης στη διατροφή μας. Ένα από τα πιο διαδεδομένα τρόφιμα που καταναλώνεται περισσότερο παγκοσμίως είναι το ψωμί.

Σκοπός λοιπόν της συγκεκριμένης πτυχιακής μελέτης ήταν η διερεύνηση της επίδρασης του αλεύρου ολικής αλέσεως προερχόμενο από jet mill στα ρεολογικά χαρακτηριστικά του ζυμαριού αλλά και η ενσωμάτωση του σε ψωμιά χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικές περιεκτικότητες νερού στη συνταγή. Τέσσερις συνθήκες άλεσης οι οποίες διέφεραν στην πίεση, το ρυθμό τροφοδοσίας και τον αριθμό των περασμάτων από τον μύλο χρησιμοποιήθηκαν για να παραχθούν άλευρα με μειωμένη κοκκομετρία.

Η μικρότερη κοκκομετρία είχε σαν αποτέλεσμα η ικανότητα συγκράτησης του νερού να αυξηθεί ενώ το ποσοστό υγρασίας να μειωθεί. Η ποιοτική αξιολόγηση του άρτου έδειξε ότι μεγαλύτερη απώλεια υγρασίας είχαν τα ψωμιά περιεκτικότητας νερού 85% όπως και υψηλότερη περιεχόμενη υγρασία. Ο ειδικός όγκος των ψωμιών επηρεάστηκε από την κοκκομετρία του αλεύρου καθώς τα ψωμιά που προέρχονται από αλεύρι μικρής κοκκομετρία είχαν μικρότερη τιμή ειδικού όγκου. Πιο φωτεινά πιο κόκκινα και πιο κίτρινα ήταν τα δείγματα με περιεκτικότητα νερού 65 % έπειτα από την ανάλυση χρώματος που έγινε.

Στα ψωμιά με το περισσότερο νερό (85%) η ελαστικότητα (REL%) ήταν μεγαλύτερη καθώς είναι πιο μαλακά. Η μέση διάμετρος των πόρων ήταν μεγαλύτερη στα δείγματα με 85% νερό όπως και το ποσοστό των πόρων ανά εκατοστό ήταν μικρότερο στα δείγματα με 65% νερό. Ενώ το ιξώδες της ζύμης αυξήθηκε με την μείωση της κοκκομετρίας.

Λέξεις κλειδιά: Ψωμιά ολικής άλεσης , άλευρο από jet milling, περιεκτικότητα νερού ,ρεόμετρο

ABSTRACT

Whole wheat flour production and demand has increased during the last decade due to evidence supporting the benefits of whole grains in the diet. One of the most popular foods that consumed worldwide is bread.

The purpose of this study was to investigate the effect of jet milled whole wheat flour content in rheological characteristics of the dough as well as the incorporation into bread using three different water contents in the recipe. Four milling conditions differing in pressure, feed rate and number of passes from the jet mill were used to produce flour with reduced particle size.

The smaller particle size resulted in the water holding capacity increased while the moisture content decreased. Furthermore, the quality assessment of bread showed that the breads with 85% water content had greater loss of moisture and higher moisture content. The specific volumes of breads influenced by the particle size of the flour as breads with small particle size flour had a lower specific volume value. Brighter, redder and more yellow were the samples with 65% water content after the color analysis.

Also, the relative elasticity (REL%) was higher in breads with 85% water content. The average of pore diameter was higher in the samples with 85% water content as the percentages of pores per centimeter were less in the samples with 65% water content. The viscosity of the dough was increased by reducing the particle size.

Key words: Whole wheat breads, jet milled flour, water content, rheometer

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας και Συντήρησης Γεωργικών Προϊόντων του τμήματος Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών υπό την επίβλεψη της Επίκουρου Καθηγήτριας Μαντάλα Ιωάννας.

Από τη θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους που με τον έναν ή με τον άλλον τρόπο συντέλεσαν και βοήθησαν στο να ολοκληρώσω αυτή την μεταπτυχιακή μελέτη, ιδιαίτερα την επιβλέπουσα επίκουρο καθηγήτρια Μαντάλα Ιωάννα για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου και για την πολύτιμη βοήθεια και στήριξη της.

Τον αξιότιμο καθηγητή Γιαννιώτη Σταύρο και τον αξιότιμο αναπληρωτή καθηγητή Στοφόρο Νικόλαο , που συνθέτουν την εξεταστική επιτροπή, για τον χρόνο που αφιέρωσαν στη διόρθωση και βαθμολόγηση της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης.

Την υποψήφια διδάκτωρ Πρωτονοταρίου Στυλιανή για την υπομονή και την βοήθεια της καθώς με τις γνώσεις της και τις παρατηρήσεις της βοήθησε να ολοκληρωθεί η παρούσα πειραματική έρευνα κ η συγγραφή αυτής της διατριβής.

Επίσης, όλο το προσωπικό του εργαστηρίου Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας και Συντήρησης για την αμέριστη βοήθεια τους πάνω σε όποια δυσκολία και αν αντιμετώπισα.

Τέλος, να ευχαριστήσω φυσικά τους γονείς μου, Αθανάσιο και Ελένη, που στέκονται στο πλευρό μου όλα αυτά τα χρόνια στηρίζοντας κάθε μου προσπάθεια.

Σας ευχαριστώ όλους θερμά.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	5
1.Αλεύρι Σίτου	11
1.1 Γενικές πληροφορίες για τα σιτηρά	11
1.2 Σιτάρι.....	11
1.2.1 Χημική σύσταση σιταριού	13
1.2.1.1 Υδατάνθρακες	13
1.2.1.2 Πρωτεΐνες	13
1.3 Άλεση σίτου	15
1.4 Αλεύρι	16
1.4.1 Αλεύρι ολικής	17
2. Ψωμιά.....	19
2.1 Γενικές πληροφορίες για το ψωμί.....	19
2.2 Συστατικά του ψωμιού και ο ρόλος τους	20
2.2.1 Αλεύρι.....	20
2.2.2 Μαγιά	20
2.2.3. Αλάτι	21
2.2. 4 Σάκχαρα	21
2.2.5 Λιπαρά	21
2.2.6 Νερό.....	21
2.3 Βασικές λειτουργίες των συστατικών που χρησιμοποιούνται στα αρτοποιασκευάσματα	22
2.4 Ζύμη	23
2.5 Παρασκευή ψωμιού.....	23
2.5.1 Ανάμιξη (mixing).....	23
2.5.2 Διαχωρισμός (dividing).....	24
2.5.3 Φορμάρισμα (formation)-Σχηματισμός (shaping).....	24
2.5.4 Ζύμωση (fermentation)- Στοφάρισμα (proofing)	25
2.5.5 Ψήσιμο (baking).....	26
2.5.6 Ψύξη (cooling)	26
3.Υλικά και μέθοδοι.....	27
3.1 Υλικά	27
3.2 Συνταγή	27
3.3 Άλεση αλεύρων.....	27
3.4 Παρασκευή Ψωμιών	28
3.4.1 Δείγματα ψωμιών.....	29

3.5 Συσκευές και όργανα	30
3.5.1 Άλεση με πεπιεσμένο αέρα-Jet milling	30
3.5.2 Universal Testing Machine Instron	31
3.5.3 Ρεόμετρο Starch Pasting Cell (TA, Instruments)	31
3.5.4. Ξηραντήρας Memmert	33
3.5.5 Φουρνάκι Υγρασίας GIBERTINI Electronic Moisture Balance mod. Eurotherm	33
3.6. Μέθοδοι – Μετρήσεις – Αναλύσεις.....	33
3.6.1. Χημική ανάλυση αλεύρου	34
3.6.1.1. Προσδιορισμός Ικανότητας Συγκράτησης Ύδατος αλεύρου (Water Holding Capacity).....	34
3.6.1.2. Προσδιορισμός Υγρασίας αλεύρου	34
3.6.1.3. Προσδιορισμός Τέφρας αλεύρου	35
3.6.1.4. Προσδιορισμός Πρωτεΐνης αλεύρου με την συσκευή Kjeldahl.....	36
3.6.2. Ανάλυση ψωμιού.....	38
3.6.2.1 Προσδιορισμός της απώλειας υγρασίας	38
3.6.2.2. Προσδιορισμός του ειδικού όγκου	38
3.6.2.3. Προσδιορισμός του χρώματος	38
3.6.2.4. Προσδιορισμός της υφής της ψίχας / Πείραμα συμπίεσης-Πείραμα κάμψης	39
3.6.2.5. Προσδιορισμός υγρασίας	40
3.6.2.6. Μέτρηση του επιφανειακού πορώδους.....	40
3.6.3. Ρεολογία Ζύμης	41
3.6.4. Στατιστική ανάλυση.....	42
4.Σκοπός της μελέτης.....	43
5.Αποτελέσματα-Συζήτηση	44
5.1. Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών του αλεύρου (Υγρασία, WHC, Πρωτεΐνη, Τέφρα).....	44
5.2 Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών του άρτου	48
5.2.1 Προσδιορισμός της απώλειας υγρασίας	48
5.2.2 Προσδιορισμός του ειδικού όγκου	48
5.2.3 Προσδιορισμός του χρώματος	49
5.2.4 Προσδιορισμός της υγρασίας.....	53
5.2.5 Προσδιορισμός της υφής της ψίχας.....	53
5.2.6 Μέτρηση του επιφανειακού πορώδους.....	55
5.2.7 Ρεολογία ζύμης.....	57
6.Συμπεράσματα	59
7.Βιβλιογραφία	61

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ:

<i>Πίνακας 1.1 Χημική σύσταση στα διάφορα μέρη του σπόρου. (Grundas, 2003)...</i>	<i>13</i>
<i>Πίνακας 1.2 Γενική σύσταση αλεύρου σίτου και αλεύρου σίτου ολικής αλέσεως (Cauvain and Youg, 2006).</i>	<i>18</i>
<i>Πίνακας 3.1 Συνταγή παρασκευής των ψωμιών βασισμένη στο βάρος του αλεύρου</i>	<i>27</i>
<i>Πίνακας 3.2 Συνθήκες άλεσης αλεύρου-Κοκκομετρία</i>	<i>28</i>
<i>Πίνακας 3.3 Περιγραφή δειγμάτων ψωμιών</i>	<i>29</i>
<i>Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων αλεύρου.....</i>	<i>44</i>
<i>Πίνακας 5.2 Ποιοτικοί παράμετροι ρεολογικών χαρακτηριστικών.....</i>	<i>57</i>

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ:

<i>Εικόνα 1.1: Σιτάρι <i>Triticum spp</i> (http://www.onlineexpo.gr/154.php)</i>	<i>11</i>
<i>Εικόνα 1.2 Δομή του σπόρου του σιταριού (http://thegearredlife.com/the-problem-with-grains/)</i>	<i>12</i>
<i>Εικόνα 1.3 Ταξινόμηση των γλουτενικών πρωτεϊνών (Shewry et al., 1986 Shewry and Tatham, 1990).....</i>	<i>14</i>
<i>Εικόνα 3.1 Τα πιο κοινά ρεολογικά όργανα χωρισμένα σε δυο κατηγορίες τα περιστροφικά (Rotational) και τα τύπου σωλήνα (Tube) (Adebowale,2014)</i>	<i>32</i>
<i>Διάγραμμα 5.1 Περιεκτικότητα υγρασίας δειγμάτων. Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά (P<0.05).</i>	<i>45</i>
<i>Διάγραμμα 5.2 Ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC) των δειγμάτων. Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά (P<0.05).....</i>	<i>46</i>
<i>Διάγραμμα 5.3 Περιεκτικότητα των δειγμάτων σε πρωτεΐνες. Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά (P<0.05).....</i>	<i>47</i>
<i>Διάγραμμα 5.4 Περιεκτικότητα τέφρας των δειγμάτων. Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά (P<0.05).</i>	<i>47</i>
<i>Διάγραμμα 5.5 Απώλειες υγρασίας επί τοις εκατό κατά το ψήσιμο του άρτου. Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά (P<0.05).</i>	<i>48</i>
<i>Διάγραμμα 5.6 Απεικόνιση του ειδικού όγκου επί τοις εκατό. Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά (P<0.05).....</i>	<i>49</i>
<i>Διάγραμμα 5.7. L* παράμετρος του χρώματος Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά (P<0.05).</i>	<i>50</i>
<i>Διάγραμμα 5.8. a* παράμετρος του χρώματος Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά (P<0.05).</i>	<i>51</i>
<i>Διάγραμμα 5.9. b* παράμετρος του χρώματος Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά (P<0.05).</i>	<i>51</i>
<i>Διάγραμμα 5.10 . ΔΕ* διαφορά του χρώματος Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά (P<0.05).</i>	<i>52</i>
<i>Διάγραμμα 5.11 Περιεκτικότητα σε υγρασία Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά (P<0.05).</i>	<i>53</i>
<i>Διάγραμμα 5.12 Διάγραμμα σχετικής ελαστικότητας (REL) Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά (P<0.05).</i>	<i>54</i>
<i>Διάγραμμα 5.13 Διάγραμμα δύναμης παραμόρφωσης (Fmax) Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά (P<0.05).....</i>	<i>55</i>

Διάγραμμα 5.14 Μέση διάμετρος των πόρων της ψίχας Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά ($P<0.05$). 56

Διάγραμμα 5.15 Ποσοστό πόρων ανά εκατοστό (%) Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά ($P<0.05$). 56

1.Αλεύρι Σίτου

1.1 Γενικές πληροφορίες για τα σιτηρά

Τα σιτηρά ανήκουν στην οικογένεια Graminaeae. Διακρίνονται σε σιτηρά των ευκράτων κλιμάτων (φθινοπωρινά ή χειμωνιάτικα) που κατάγονται από ημίξηρες περιοχές της ΝΔ Ασίας και της Μέσης Ανατολής, και σε σιτηρά θερμών κλιμάτων (ανοιξιάτικα) που κατάγονται από θερμές περιοχές της ΝΑ Ασίας, της Κεντρικής Αμερικής, της Κεντρικής και Τροπικής Αφρικής. Τα φθινοπωρινά ή χειμωνιάτικα σιτηρά είναι το σιτάρι, το κριθάρι, η βρώμη και η σίκαλη ενώ τα ανοιξιάτικα σιτηρά είναι το ρύζι, ο αραβόσιτος, το σόργο και το κεχρί.

1.2 Σιτάρι

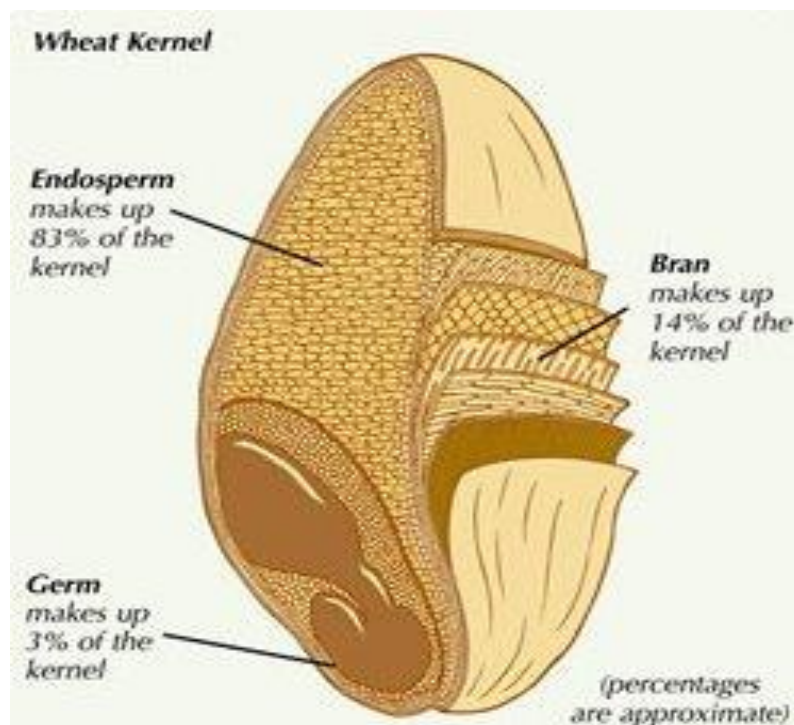
Το σιτάρι είναι ένα φυτό που καλλιεργείται παγκοσμίως και είναι δεύτερο σε συγκομιδή δημητριακό, μετά τον αραβόσιτο, και τρίτο ακολουθεί το ρύζι. Στην Ελλάδα καλλιεργούνται δύο είδη σιταριού το *Triticum durum* και το *Triticum aestivum* κατά κόσμο σκληρό και μαλακό σιτάρι αντίστοιχα που διαφοροποιείται κατά αυτόν τον τρόπο ανάλογα με την απαιτούμενη δύναμη για τη σύνθλιψη των πυρήνων του. Το φυτό είναι εκμεταλλεύσιμο καθώς ο καρπός του χρησιμοποιείται σε ποσοστό 75- 78% στην βιομηχανία τροφίμων για άμεση κατανάλωση, αλλά συγχρόνως χρησιμοποιείται και ως πρώτη ύλη για την παρασκευή αλκοολούχων ποτών, καυσίμων και ζωοτροφών (Edwards, 2007).



Εικόνα 1.1: Σιτάρι *Triticum spp* (<http://www.onlineexpo.gr/154.php>)

Ο καρπός του σίτου έχει μέσο μέγεθος 8 mm σε μήκος, βάρος 35 mg (Hoseney 1994) και αποτελείται από τρία διακριτά μέρη:

- το **περικάρπιο ή φλοιός** (εξωτερικό πίτυρο), το οποίο καλύπτει το 13- 15% του κόκκου, είναι το σκληρό εξωτερικό περίβλημα του καρπού με μεγάλη περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες (κυρίως αδιάλυτες) και ιχνοστοιχεία, καθώς και στις κυριότερες βιταμίνες του συμπλέγματος Β.
- το **ενδοσπέρμιο**, το οποίο καλύπτει το 82- 83% του κόκκου και χρησιμοποιείται για την παραγωγή του αλεύρου είναι το μεγαλύτερο, εσωτερικό τμήμα του καρπού το οποίο περιέχει τη μεγαλύτερη ποσότητα πρωτεϊνών, υδατανθράκων και σιδήρου, καθώς και τις κυριότερες βιταμίνες Β (ριβοφλαβίνη, νιασίνη, θειαμίνη). Είναι επίσης πλούσιο σε διαλυτές ίνες. Το άσπρο αλεύρι και το σιμιγδάλι παρασκευάζονται αποκλειστικά από το ενδόσπερμα.
- το **έμβρυο** ,το οποίο καλύπτει το 1- 3% του κόκκου, είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά και διαχωρίζεται συχνά από το αλεύρι κατά την άλεση, επειδή η περιεκτικότητά του σε λιπαρά (10%) περιορίζει τη ζωή του αλεύρου στο ράφι. Περιέχει το μεγαλύτερο ποσοστό βιταμινών Β και ιχνοστοιχείων και αποτελεί μέρος του αλεύρου ολικής άλεσης.



Εικόνα 1.2 Δομή του σπόρου του σιταριού (<http://thegearredlife.com/the-problem-with-grains/>)

1.2.1 Χημική σύσταση σιταριού

Όπως παρατηρείται στον πίνακα που ακολουθεί ο καρπός του σιταριού είναι κατά κύριο λόγο αμυλούχος, με όλο το άμυλο να βρίσκεται στο ενδοσπέρμιο. Διαλυτά σάκχαρα υπάρχουν κυρίως στο έμβρυο ενώ οι άλλοι πολυσακχαρίτες (κυτταρίνες – ημικυτταρίνες) βρίσκονται στα περιβλήματα. Πρωτεΐνες, τέφρα και λίπη βρίσκονται κυρίως στο έμβρυο και το ασπίδιο και σε μικρότερα ποσοστά στο ενδοσπέρμιο.

Πίνακας 1.1 Χημική σύσταση στα διάφορα μέρη του σπόρου. (Grundas, 2003).

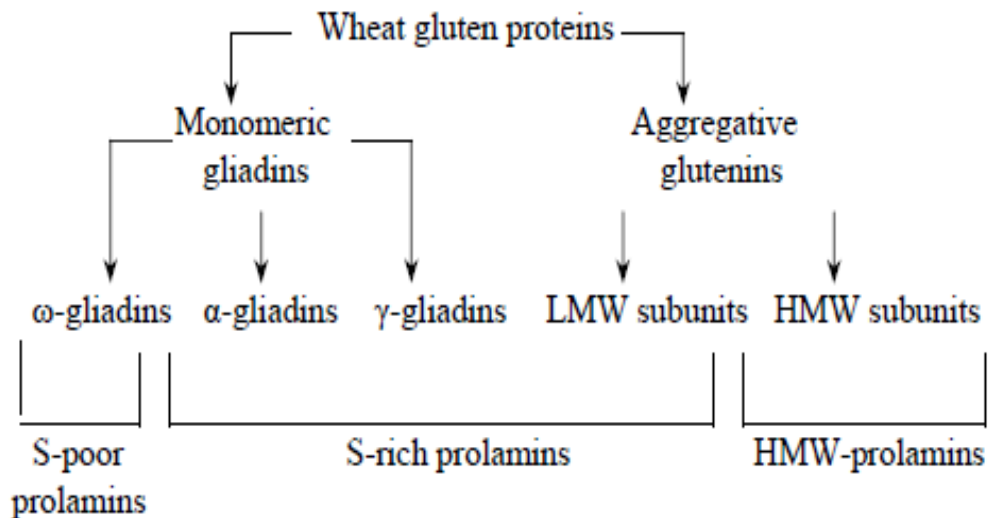
Χημικά συστατικά	Ολόκληρος καρπός (%)	Περίβλημα καρπού και στρώση αλευρόνης (%)	Έμβρυο (%)	Ενδοσπέρμιο (%)
<u>Πρωτεΐνες :</u>	10-17	23-33	36-42	9-14
<u>Υδατάνθρακες:</u>				
Άμυλο	60-70	0	0	78-84
Σάκχαρα	3.0-6.0	3.0-5.0	22-28	3.0-4.0
Πεντοζάνες	6.0-9.5	30-40	9-11	2.5-3.0
Κυτταρίνη	2.5-3.3	12-20	3-5	0.13-0.18
<u>Λίπη :</u>	2.0-2.5	7.0-8.5	12-16	0.5-0.7
<u>Ιχνοστοιχεία :</u>	1.4-2.3	9-11	5-6	0.3-0.5
<u>Τέφρα:</u>	1.5-2	6.3	4.5	0.7

1.2.1.1 Υδατάνθρακες

Το μεγαλύτερο ποσοστό ανάμεσα στους υδατάνθρακες, καταλαμβάνει το άμυλο σε ποσοστό 65- 75% του ξηρού βάρους του κόκκου, καθώς επίσης και διάφορα διαλυτά σάκχαρα, η κυτταρίνη και οι πεντοζάνες. (Πίνακας 1.1)

1.2.1.2 Πρωτεΐνες

Ο ώριμος καρπός σίτου περιέχει 8-20% πρωτεΐνες. Η γλουτένη, οι γλιαδίνες και οι γλουτενίνες, αποτελούν πάνω από το 80- 85% του συνόλου των πρωτεϊνών στο αλεύρι (Shewry et al., 1995). Οι γλιαδίνες και οι γλουτενίνες συνιστούν περίπου το 50% των πρωτεϊνών της γλουτένης. Σήμερα, χρησιμοποιείται το σύστημα ταξινόμησης πρωτεϊνών το οποίο βασίζεται στα βιολογικά χαρακτηριστικά των πρωτεϊνών και στην χημική και γενετική σχέση τους. Έτσι, οι γλιαδίνες είναι ένα μίγμα μονομερικών πολυπεπτιδίων και οι γλουτενίνες αποτελούνται από πολυπεπτίδια που συνδέονται με δισουλφιδικούς δεσμούς (Singh and MacRitchie, 2001).



Εικόνα 1.3 Ταξινόμηση των γλουτενικών πρωτεϊνών (Shewry et al., 1986 Shewry and Tatham, 1990)

Οι δύο τύποι αποθηκευτικών πρωτεϊνών σιταριού, οι γλιαδίνες και οι γλουτενίνες, είναι τα κύρια συστατικά, για να δημιουργηθεί το πολυμερές της γλουτένης και να καθορίσει τις ιδιότητες αρτοποιίας. (Branlard and Dardevet, 1985a, b).

Εκτός από τις πρωτεΐνες του σίτου που δε σχηματίζουν τη γλουτένη, υπάρχουν και οι υδατοδιαλυτές αλβουμίνες και οι αλατοδιαλυτές γλοβουλίνες που αποτελούν το 10-22% περίπου της συνολικής πρωτεΐνης του αλεύρου (Singh and MacRitchie, 2001). Δεν συμβάλλουν στη δημιουργία ζύμης και δεν είναι επακριβώς γνωστό αν και με ποιο τρόπο επηρεάζουν την αρτοποιητική ικανότητα του αλεύρου.

1.3 Άλεση σίτου

Πρωταρχικός σκοπός της άλεσης είναι η παραγωγή αλεύρου στο οποίο υπερέχουν κατά προτίμηση τα συστατικά των κυττάρων του ενδοσπερμίου και κατά συνέπεια ο διαχωρισμός των κύριων τμημάτων του καρπού του σίτου σε ενδοσπέρμιο, φύτρο και πίτουρο. Η διαδικασία αυτή δεν είναι εύκολα επιτεύξιμη, καθώς ο αύλακας του σπόρου και η ανισότητα μεγέθους των κυττάρων της αλευρώνης στα σιτηρά δε διευκολύνουν την απλή αποφλοίωση. Συνεπώς, η θραύση του σπόρου πρέπει να γίνει προσεκτικά, να διαχωριστούν τα επιμέρους τμήματα και στη συνέχεια να πραγματοποιηθεί περαιτέρω διάσπαση (Belitz et al., 2004).

Στο πρώτο στάδιο της άλεσης ο σπόρος καθαρίζεται από ακαθαρσίες (άχυρο, γαιώδεις προσμίξεις, χαλασμένους σπόρους, σκόνη κλπ), αυτό βασίζεται στο μέγεθος του κόκκου των σιτηρών και το ειδικό τους βάρος. Αποφεύγεται το πλύσιμο με νερό καθώς αυτό ευνοεί την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Το στάδιο που ακολουθεί είναι αυτό του εμποτισμού ή της διαβροχής των σπόρων με νερό για 3-24h αφού το αυξημένο ποσοστό υγρασίας 15-17% διευκολύνει το διαχωρισμό των κυττάρων του αμυλώδους ενδοσπερμίου από το φύτρο και το φλοιό. Εναλλακτικά γίνεται η ρύθμιση της φυσικής κατάστασης των κόκκων ή αλλιώς «κοντισιονάρισμα» σε υψηλές θερμοκρασίες έως 65 °C, σαν μέθοδος είναι πιο γρήγορη και επηρεάζει θετικά την ποιότητα αρτοποιήσης. Οι κόκκοι διασπώνται κλιμακωτά. Κάθε πέρασμα από τους κυλίνδρους προκαλεί ελάττωση του μεγέθους των σωματιδίων μέσω πίεσης και διατμητικών δυνάμεων και ακολουθείται από διαχωρισμό του αλεύρου ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων με τη χρήση κοσκίνων που έχουν τη μορφή επίπεδων διαχωριστών. Ανάλογα με το προϊόν που πρόκειται να παραχθεί ρυθμίζονται το μέγεθος των κυλίνδρων οι αύλακες, η ταχύτητα περιστροφής και το διάκενο μεταξύ του ζεύγους των κυλίνδρων.

Η άλεση του σιταριού προσαρμόζεται έτσι ώστε το πρώτο πέρασμα να δίνει χονδρόκοκκο άλεσμα και τα επόμενα να δίνουν το άλευρο. Το φύτρο του σιταριού απομακρύνεται μόνο στους διαχωριστές ενώ ο φλοιός και ένα σημαντικό τμήμα της αλευρώνης απομακρύνονται με τη μορφή πιτύρων. (Belitz et al., 2004).

Η χημική σύσταση του αλεύρου εξαρτάται από το βαθμό άλεσης, όπου με την αύξηση του μειώνεται το ποσοστό του αμύλου στο άλευρο και αυξάνονται τα άλλα συστατικά που υπάρχουν στον φλοιό (ανόργανα συστατικά, αδιάλυτες ίνες, βιταμίνες).

Ως βαθμός άλεσης ορίζεται το ποσό του αλεύρου σε χιλιόγραμμα, το οποίο παράγεται από την άλεση 100 χιλιόγραμμων καθαρισμένου και πλυμένου σίτου. Ο βαθμός αλέσης καθορίζει τον τύπο του αλεύρου που παράγεται καθώς, λόγω χάριν εάν ο βαθμός άλεσης είναι μικρός, το άλευρο το οποίο παράγεται είναι σκουρόχρωμο.

Συνολικά η διαδικασία της άλεσης (Milling) αφαιρεί τα ινώδη στρώματα από το σιτάρι, με αποτέλεσμα το τελικό προϊόν να μην έχει τις ίδιες θρεπτικές ιδιότητες και τα ίδια οφέλη για την υγεία. Χωρίς το πίτουρο και το φύτρο, περίπου το 45% των πρωτεϊνών του σίτου, μαζί με το 80% των ινών, το 50-85% των βιταμινών και το 20-80% των ιχνοστοιχείων χάνεται. Επιπλέον, σημαντική απώλεια αμινοξέων (35-55%) συμβαίνει κατά τη διάρκεια της διύλισης. Μερικές φυτικές ίνες, βιταμίνες και μέταλλα μπορούν να προστεθούν ξανά στα προϊόντα των επεξεργασμένων δημητριακών μέσω εμπλουτισμού (Cauvain and Young, 2006).

1.4 Αλεύρι

Το αλεύρι είναι μια λεπτή λευκή σκόνη, που δημιουργείται από την άλεση των δημητριακών όπως σιτάρι, κριθάρι, ρύζι, καλαμπόκι και σίκαλη ή και άλλων αμυλούχων φυτών και αποτελεί βασικό συστατικό των προϊόντων αρτοποιίας. Μερικές προδιαγραφές εξασφαλίζουν ότι το αλεύρι είναι κατάλληλο για την κατασκευή ενός συγκεκριμένου προϊόντος, π.χ. ψωμί. Εκτός από το ψωμί βέβαια χρησιμοποιείται και για την παρασκευή άλλων προϊόντων όπως μπισκότα, κέικ και κράκερς καθώς είναι υπεύθυνο για τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των προϊόντων όπως το άρωμα, τη δομή και την υφή. Ιδιαίτερης σημασίας είναι τα άλευρα της αρτοποιίας, δηλαδή τα άλευρα σιταριού και σίκαλης, καθώς προσδίδουν κυρίως στο ψωμί το ιδιαίτερο πορώδες αλλά και τη γεύση.

Ο διαχωρισμός των αλεύρων γίνεται με βάση τον τρόπο άλεσης, το βαθμό κοσκινίσματος και την ποιότητα του σιταριού ή των άλλων δημητριακών, από το οποίο παρασκευάζονται. Τα άλευρα του σίτου όσον αναφορά την ποιότητά τους, διακρίνονται σε άλευρα σκληρού σίτου, μαλακού σίτου και ημίσκληρου.

Οι αλευρόμυλοι επιτρέπεται να παράγουν και να διαθέτουν στην κατανάλωση

- 1) Άλευρα από σιτάρι μαλακό ή ανάμικτο με τις ονομασίες
 - Άλευρα κατηγορίας Π
 - Άλευρα T.70%
 - Άλευρα T.90% με πρόσθετη ξηρά γλουτένη σε αναλογία 3%
 - Άλευρα 100% ολικής αλέσεως
- 2) Άλευρα από σκληρό σιτάρι
 - Άλευρα κατηγορίας M
 - Άλευρα ολικής αλέσεως για μακαρονοποιία (Π.Ο.Ε.Σ.Ε, 2005).

1.4.1 Αλεύρι ολικής

Το αλεύρι ολικής είναι αυτό που λέει και το όνομα του (wholemeal flour) δηλαδή το σύνολο του καρπού του σιταριού. Περιέχει βιταμίνες, μέταλλα, πρωτεΐνες και διατροφικά είναι πιο θρεπτικό από το συμβατικό αλεύρι σίτου. Πέρα από τα πιο κοινά αντιοξειδωτικά, όπως η βιταμίνη C, η βιταμίνη E και τα καροτενοειδή, περιέχει επίσης ορισμένες φυτο-αντιοξειδωτικές ουσίες, συμπεριλαμβανομένων των φαινολικών οξέων και των φλαβονοειδών (συγκεντρωμένα στο φύτρο και το πίτουρο) (Yu et al, 2013).

Είναι ο μόνος τύπος αλεύρου που δεν χρειάζεται ενίσχυση καθώς όλες οι φυσικές ανόργανες ουσίες που προϋπήρχαν στο σιτάρι θα υπάρχουν και στο αλεύρι ολικής. Επίσης, στο αλεύρι ολικής υπάρχει και το έλαιο φύτρου του σιταριού.

Ενώ οποιοσδήποτε τύπος αλευριού μπορεί να μετατραπεί σε μια μορφή ολικής άλεσης με την προσθήκη πίτουρου σε μια συγκεκριμένη ποσότητα, ορισμένα προϊόντα κατά πάσα πιθανότητα δεν μπορούν να γίνουν από αλεύρι ολικής αλέσεως. Τα προβλήματα είναι ότι αν και όλες οι πρωτεΐνες σίτου είναι παρούσες η ποιότητα της πρωτεΐνης είναι χαμηλότερη προς το εξωτερικό περίβλημα του σπόρου του σιταριού.

Αυτό το αποτέλεσμα καθιστά πολύ δύσκολη την παρασκευή των προϊόντων που απαιτούν πολύ υψηλή εκτασιμότητα ,π.χ. φύλλο κρούστας. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι τα σωματίδια πίτουρου τείνουν να σπάζουν τις φυσαλίδες αερίου, μειώνοντας το ποσοστό της ανύψωσης του όγκου του ψωμιού. Παρά το γεγονός αυτό όμως η αύξηση του όγκου είναι εφικτή και η παραγωγή ψωμιού από αλεύρι ολικής αλέσεως είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη (Edwards, 2007).

Το αλεύρι ολικής άλεσης δεν είναι ιδιαίτερα δημοφιλές στους μωλανάδες καθώς απαιτεί ισχυρότερο άλεσμα. Επιπλέον, η διάρκεια ζωής του είναι μόνο τρεις μήνες σε σχέση με το συμβατικό αλεύρι που διατηρείται περίπου ένα χρόνο. Η πιο σημαντική παράμετρος για την παραγωγή του είναι η επιλογή της μεθόδου άλεσης που θα χρησιμοποιηθεί. Οι δύο κυρίαρχες τεχνικές για παραγωγή αλεύρων ολικής αλέσεως είναι μέσω κυλινδρόμυλων ή πετρόμυλων.

Οι σύγχρονοι πετρόμυλοι, αποτελούνται από μεταλλικές πλάκες με συνθετικές πέτρες και η μέθοδος αυτή έχει αρκετά μειονεκτήματα, όπως την αύξηση θερμοκρασίας λόγω τριβής η οποία με τη σειρά της προκαλεί καταστροφή στο άμυλο, τις πρωτεΐνες και τα ακόρεστα λιπαρά οξέα (Doblado-Maldonado et al., 2012).

Η μέθοδος των κυλινδρόμυλων περιλαμβάνει, διαχωρισμό του ενδοσπερμίου από το πίτουρο, με σταδιακή μείωση του μεγέθους του ενδοσπερμίου. Για την παραγωγή του αλεύρου ολικής αλέσεως, τα κλάσματα του

ενδοσπερμίου και πιτύρου-φύτρου αναμιγνύονται ξανά. Η κύρια διαφοροποίηση του αλεύρου ολικής αλέσεως σε σχέση με το κοινό αλεύρι, ως προς τη διαδικασία άλεσης, είναι ότι σε αυτή την περίπτωση το «κοντισιονάρισμα» ουσιαστικά δεν είναι απαραίτητο. Στον παρακάτω πίνακα 1.2 παρουσιάζεται η σύσταση των δύο αλεύρων λευκού και ολικής άλεσης.

Πίνακας 1.2 Γενική σύσταση αλεύρου σίτου και αλεύρου σίτου ολικής αλέσεως (Cauvain and Youg, 2006).

Συστατικό αλεύρου(%)	Αλεύρι ολικής άλεσης σίτου	Αλεύρι σίτου (g / 100g)
Υγρασία	13-14	13-14.5
Άμυλο και άλλοι υδατάνθρακες	67-73	71-78
Πρωτεΐνη	10-15	8-13
Λιπίδια	~2.0	1.0-1.5
Διαιτητικές ίνες	~2.0	~0.2

2.Ψωμιά

2.1 Γενικές πληροφορίες για το ψωμί

Ο στόχος της διαδικασίας παρασκευής του ψωμιού είναι αρκετά απλός: δηλαδή να μετατρέψει το αλεύρι σίτου και τα άλλα συστατικά του σε ένα ελαφρύ, αεριζόμενο και εύγευστο φαγητό. Το ψωμί είναι πιθανώς το παλαιότερο επεξεργασμένο τρόφιμο. Θα είναι απίθανο να προσδιορίσει ποτέ η στιγμή που «ανακαλύφθηκε» το ψωμί αν και είναι πιθανό να προέρχεται από τη Μέση Ανατολή, όπου βρίσκονται και οι ρίζες της καλλιέργειας δημητριακών (Zohary, 1969).

Το ψωμί είναι ένα τρόφιμο το οποίο φτιάχνεται και καταναλώνεται περισσότερο στον κόσμο. Τα προϊόντα άρτου έχουν εξελιχθεί σε πολλές μορφές που βασίζονται αρκετά στα διαφορετικά και διακριτικά χαρακτηριστικά τους. Κατά την διάρκεια των αιώνων οι βιοτεχνίες άρτου εξέλιξαν τις παραδοσιακές ποικιλίες ψωμιού χρησιμοποιώντας την συσσωρευμένη γνώση τους για το πώς θα χρησιμοποιήσουν καλύτερα τις πρώτες ύλες ώστε να επιτύχουν την επιθυμητή ποιότητα ψωμιού (Owens,2000).

Σε κάποιες χώρες η φύση της δημιουργίας ψωμιού έχει παραμείνει σε παραδοσιακό τρόπο ενώ σε άλλες έχει αλλάξει δραματικά. Η διάδοση της ποικιλίας ψωμιού προέρχεται από τις μοναδικές ιδιότητες της πρωτεΐνης σίτου να δημιουργούν την γλουτένη και από την εφευρετικότητα των αρτοποιών να χειρίζονται την δομή της γλουτένης που σχηματίζεται με την ζύμη. Η ελαστικότητα της μάζας της γλουτένης με την ιδιότητα να παραμορφώνεται ,να επιμηκύνεται, να σχηματίζεται και να εγκλωβίζει αέρια είναι σημαντική στην παραγωγή του ψωμιού και σε όλα τα προϊόντα που έχουν υποστεί ζύμωση. Από όλα τα δημητριακά το σιτάρι είναι το πλέον σημαντικότερο και αξιοσέβαστο.

Ο όρος «ψωμί» χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα μεγάλο εύρος προϊόντων με διαφορετικό σχήμα, μέγεθος, χρώμα, υφή, απαλότητα, κρούστα, ποιότητα τροφής και γεύσης.

Ο χαρακτήρας του ψωμιού και άλλων ζυμωμένων προϊόντων εξαρτάται κυρίως από τον σχηματισμό του δικτύου της γλουτένης το οποίο παγιδεύει αέρα από την ζύμη και συμβάλει άμεσα στον σχηματισμό της δομής της ψίχας η οποία μετά το ψήσιμο προσδίδει υφή και θρεπτική αξία αρκετά διαφορετική από τέτοιου είδους παρόμοια προϊόντα.(Cauvain, 2001)

2.2 Συστατικά του ψωμιού και ο ρόλος τους

Η ποιότητα του ψωμιού καθορίζεται από τις σύνθετες αλληλεπιδράσεις των πρώτων υλών, την ποιότητα και την ποσότητα τους που θα χρησιμοποιηθεί στην συνταγή καθώς και από τη μέθοδο επεξεργασίας της ζύμης.

2.2.1 Αλεύρι

Από τότε που ο σχηματισμός της γλουτένης είναι ένα βασικό συστατικό στην δημιουργία ψωμιού και το σιτάρι συμβάλει για τις πρωτεΐνες που χρειάζονται για τον σχηματισμό αυτό, συνεπάγεται ότι και ένας σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την ποιότητα του άρτου είναι το αλεύρι που προέρχεται από την άλεση του σίτου.

Γενικά όσο περισσότερη πρωτεΐνη περιέχει το σιτάρι τόσο περισσότερη πρωτεΐνη θα περιέχει και το αλεύρι που προέρχεται από αυτό. Όσο περισσότερη πρωτεΐνη λοιπόν περιέχει το αλεύρι τόση μεγαλύτερη θα είναι η ικανότητα του στο να παγιδευεί και να κρατά το διοξείδιο του άνθρακα και συνεπώς μεγαλύτερος ο όγκος του ψωμιού.

2.2.2 Μαγιά

Η μαγιά αρτοποιίας (*Saccharomyce scerevisiae*) συναντάται σε διαφορετικές μορφές. Η συμπιεσμένη μαγιά αποτελείται περίπου 28-30 % από ξηρά ουσία. Η μαγιά παράγει διοξείδιο του άνθρακα για να επεκτείνει την ζύμη στα πρώτα στάδια του ψησίματος.

Μαγιά είναι ένας ζωντανός οργανισμός που είναι ανενεργός κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Η αδράνεια αυτή προκαλείται με την βοήθεια της ξήρανσης, στην περίπτωση της ενεργούς ξηράς μαγιάς ή με χαμηλή θερμοκρασία, σε περίπτωση συμπιεσμένων ή θρυμματισμένων μαγιών.

Μαγιά είναι ένας ευέλικτος οργανισμός που μπορεί να ζυμωθεί κάτω υπό αερόβιες ή αναερόβιες συνθήκες. Όταν η μαγιά ενσωματώνεται σε μια ζύμη, οι συνθήκες είναι κατάλληλες για να γίνει ενεργή. Η παραγωγή της μαγιάς είναι αερόβια διεργασία, λαμβάνοντας υπόψη ότι η ζύμωση του ψωμιού είναι μια αναερόβια διαδικασία.

Έτσι, η μικρή αύξηση της μαγιάς εμφανίζεται κατά τη διάρκεια του στοφαρίσματος της ζύμης. Το οξυγόνο σε μία ζύμη καταναλώνεται ραγδαία από την μαγιά και τα βακτήρια που βρίσκονται εκεί ως εκκινητές της ζύμωσης. Στη συνέχεια, η ζύμωση είναι αναερόβια εκτός και αν προστεθεί οξυγόνο στο σύστημα (δηλαδή μίξάρισμα). Τα κύρια προϊόντα της ζύμωσης της μαγιάς είναι το διοξείδιο του

άνθρακα και η αιθανόλη. Το διοξείδιο του άνθρακα παράγεται, το pH μειώνεται και η υδατική φάση καθίσταται κεκορεσμένη με διοξείδιο του άνθρακα (Hoseney, 1994).

2.2.3. Αλάτι

Η βασική λειτουργία του αλατιού στη ζύμη του ψωμιού είναι να συμβάλει στη γεύση ωστόσο έχει ανασταλτική επίδραση στο σχηματισμό της γλουτένης κατά τη διάρκεια της ανάμιξης.

2.2. 4 Σάκχαρα

Στο Ηνωμένο Βασίλειο και σε άλλες χώρες λίγο ή καθόλου ζάχαρη χρησιμοποιείται στα βασικά ψωμιά, ενώ περιεκτικότητα γύρω στο 6 % κατά βάρος αλεύρου μπορεί να είναι παρούσα στη ζύμη ψωμιών στις ΗΠΑ. Ενώ σε άλλα προϊόντα ζύμωσης η περιεκτικότητα σακχάρων στη συνταγή μπορεί να υπερβαίνει το 15 %. Υψηλά ποσοστά ζάχαρης παρεμποδίζουν την δραστηριότητα της μαγιάς ακόμα και όταν είναι ζυμώσιμη. Στη σύγχρονη βιομηχανία παραγωγής ψωμιού

2.2.5 Λιπαρά

Οι ενώσεις λιπαρών ουσιών αρτοποιίας χρησιμοποιούνται για την βελτίωση της συγκράτησης αερίου στη ζύμη και ως εκ τούτου αυξάνεται ο όγκος και η απαλότητα. Το επίπεδο που θα χρησιμοποιηθεί ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του αλεύρου, στο αλεύρι ολικής απαιτούνται περισσότερα επίπεδα προσθήκης λιπαρών, συνήθως δύο με τρεις φορές περισσότερο απ' ότι στο λευκό. Ένα ποσοστό λίπους θα πρέπει να παραμείνει στερεό στη ζύμη του ψωμιού στο τέλος του τελικού στοφαρίσματος στους 45°C.

2.2.6 Νερό

Το νερό από πλευρά Χημείας είναι το απλούστερο συστατικό που χρησιμοποιείται στην αρτοποιία (H₂O), αλλά λόγω των ειδικών ιδιοτήτων του παίζει σημαντικό ρόλο στην αρτοποιία, στην τελική ποιότητα του προϊόντος και στη διάρκεια συντήρησης του (Cauvain and Young, 2000).

Το νερό περιέχεται σε πολλά συστατικά που χρησιμοποιούνται στην αρτοποιία, όπως στο υγρό αυγό, ή μπορεί να προστεθεί ως ένα ξεχωριστό συστατικό. Έχει βασικούς ρόλους που σχετίζονται με την διαλυτοποίηση και τη διασπορά των συστατικών κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αναμίξεως και στο σχηματισμό συμπλοκών όπως της γλουτένης στο ψωμί.

Οι ιδιότητες της ζύμης ποικίλλουν ανάλογα με την περιεκτικότητα νερού στη ζύμη. Χρησιμοποιώντας πολύ λίγη ποσότητα νερού η ζύμη θα είναι σταθερή και δύσκολη στο να σχηματιστεί (Cauvain and Young, 2006) παράγοντας ψωμιά τα

οποία θα έχουν μειωμένο όγκο και φτωχή εξωτερική εμφάνιση. Επίσης, πολύ μεγάλη ποσότητα νερού θα έχει σαν αποτέλεσμα η ζύμη να είναι μαλακή και επίσης δύσκολη να σχηματιστεί, θα ρέει στο στοφάρισμα και το ψωμί θα έχει φτωχή ποιότητα (Cauvain, 2001).

2.3 Βασικές λειτουργίες των συστατικών που χρησιμοποιούνται στα αρτοπαρασκευάσματα

Οι λειτουργικές ιδιότητες που προσδίδουν τα διάφορα συστατικά που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή ψημένων προϊόντων είναι πολλές και ποικίλες. Το κάθε συστατικό μπορεί να έχει παράλληλα περισσότερες από μία λειτουργίες σε ένα δεδομένο προϊόν. Μια ευρεία ταξινόμηση της λειτουργικότητας των συστατικών που χρησιμοποιούνται συνήθως στην παρασκευή αρτοπαρασκευασμάτων είναι η ακόλουθη (Cauvain and Young, 2006):

- **Διαμόρφωση Δομής (Structure forming)**

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα συστατικά που συνεισφέρουν στις δομικές ιδιότητες του ενδιάμεσου προϊόντος (κάθε είδους ζύμης) ή τελικού ψημένου προϊόντος (ψωμί, κέικ, μπισκότο κτλ.)

- **Αερισμός (Aeration)**

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τα συστατικά που συνεισφέρουν στην παγίδευση και σταθεροποίηση του αέρα στο ενδιάμεσο (π.χ. λιπαρά στα μπισκότα, λιπαρά και γαλακτωματοποιητές στο μίγμα κέικ).

- **Γεύση (Flavour)**

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα συστατικά που έχουν την μεγαλύτερη συνεισφορά στην τελική γεύση του προϊόντος (π.χ. κομμάτια σοκολάτας σε μπισκότα).

- **Χρώμα (Colour)**

Περιλαμβάνονται συστατικά τα οποία είτε εξαιτίας του χρώματός τους (π.χ. κακάο), είτε εξαιτίας της αντίδρασης τους με άλλα προϊόντα ως μέρος των μηχανισμών σχηματισμού χρώματος κατά το ψήσιμο (π.χ. αντιδράσεις Maillard) συμβάλλουν στο τελικό χρώμα του προϊόντος.

- **Διάρκεια ζωής (Shelf-life)**

Ο όρος διάρκεια ζωής αναφέρεται στην διατήρηση τόσο των οργανοληπτικών ιδιοτήτων των προϊόντων όσο και στην μικροβιακή σταθερότητα τους και περιλαμβάνει όλα τα συστατικά που συμβάλλουν στην διατήρηση των χαρακτηριστικών αυτών.

2.4 Ζύμη

Η ζύμη αναφέρεται σαν μια υγρή μάζα που αναπτύχθηκε μετά την ανάμιξη του αλεύρου σίτου με νερό και άλλα συστατικά. Οι φυσικο-χημικές ιδιότητες της ζύμης παίζουν σημαντικό ρόλο στην αρτοποιία, τα ζυμαρικά και τα έτοιμα προς κατανάλωση δημητριακά στην μεταποιητική βιομηχανία. Η ζύμη αναπτύσσεται λόγω των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συστατικών σιταριού κατά την διαδικασία ανάμιξης. Η διαδικασία της ανάπτυξης της ζύμης αρχίζει με την προσθήκη νερού στην αρχή της ανάμιξης. Αρχικά όλα τα συστατικά είναι ενυδατωμένα και μοιάζουν με μια κολλώδη πάστα. Στη συνέχεια καθώς αναμιγνύονται, αυξάνεται το ιξώδες και τα κολλώδη χαρακτηριστικά της ζύμης εξαφανίζονται, τότε μια μη κολλώδης μάζα αναπτύσσεται με μέγιστη συνοχή της ζύμης. Σε αυτό το στάδιο η ζύμη συμπεριφέρεται σαν μια ιξωδοελαστική μάζα που έχει τόσο ελαστικά όσο και εκτατά χαρακτηριστικά.

Ο ρόλος της ενέργειας κατά τη διάρκεια της ανάμιξης είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη της ζύμης. Η διαδικασία της ανάπτυξης της ζύμης ιδιαίτερα στο ψωμί, έχει ως στόχο να επιφέρει αλλαγές στις φυσικές ιδιότητες της ζύμης για να βελτιώσει την ικανότητά της να διατηρήσει το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Αυτή η βελτίωση στην ικανότητα συγκράτησης του αερίου είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν τα κομμάτια ζύμης φτάσουν στο φούρνο. Στα πρώτα στάδια του ψησίματος η δραστηριότητα της ζύμης είναι μέγιστη και παράγεται μεγάλος όγκος διοξειδίου του άνθρακα.

Η ανακάλυψη ότι όταν η ζύμη αφήνεται για μεγάλο χρονικό διάστημα αυξάνεται σε όγκο χωρίς να υποβάλλεται σε υψηλές θερμοκρασίες ψησίματος προσδιόρισε την βάση της ζύμωσης (παραγωγή αερίου). Το συνδυασμένο αποτέλεσμα των αλλαγών αυτών είναι ότι η επακόλουθη ψημένη μάζα εκτός από τον αυξημένο όγκο μπορεί να δώσει ένα προϊόν με ένα ακόμα μαλακότερο και περισσότερο εύπεπτο χαρακτήρα και διαφορετική γεύση (Owens,2000).

2.5 Παρασκευή ψωμιού

Η παρασκευή του ψωμιού μπορεί να χωριστεί σε τρεις βασικές λειτουργίες: την ανάμιξη των υλικών ή τον σχηματισμό της ζύμης, το στοφάρισμα και το ψήσιμο.

2.5.1 Ανάμιξη (mixing)

Στην αρτοποιία η διεργασία της ανάμιξης παίζει σημαντικό ρόλο για τον σχηματισμό και την ανάπτυξη της δομής της γλουτένης στη ζύμη και στην ενσωμάτωση των αναγκαίων φυσαλίδων αερίου για το σχηματισμό κυτταρικών

δομών στο προϊόν αρτοποιίας. Είναι αυτή που κάνει το ψωμί ένα ελαφρύ, αεριζόμενο και εύγευστο φαγητό.

Στην ουσία η ανάμιξη είναι η ομογενοποίηση των συστατικών, ενώ το ζύωμα είναι η ανάπτυξη της δομής της ζύμης αποτέλεσμα που προκύπτει μετά την αρχική ανάμιξη. Ωστόσο, με διάφορες μεθόδους αρτοποιίας οι δύο διαδικασίες λαμβάνουν χώρα μέσα στο ίδιο μηχάνημα ανάμιξης και έτσι μπορεί να θεωρηθεί ως μία διαδικασία αντί για δύο.

Οι επιμέρους διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της ανάμιξης είναι οι εξής:

- Η ομοιόμορφη διασπορά των συστατικών της συνταγής.
- Η διάλυση και η ενυδάτωση των συστατικών αυτών, ιδίως των πρωτεϊνών αλεύρου και του κατεστραμμένου αμύλου.
- Η ανάπτυξη μιας γλουτενικής δομής στη ζύμη που προκύπτει από την εισροή μηχανικής ενέργειας κατά τη δράση ανάμιξης.
- Η ενσωμάτωση φυσαλίδων αέρα εντός της ζύμης για την οξείδωση και τη δραστηριότητα της ζύμης.
- Ο σχηματισμός μιας ζύμης με κατάλληλες ρεολογικές ιδιότητες για την επακόλουθη επεξεργασία (Cauvain, 2001).

2.5.2 Διαχωρισμός (dividing)

Στη βιομηχανική κλίμακα ο μεγάλος όγκος του μίγματος θα πρέπει να διαιρεθεί σε μικρότερες μονάδες για περαιτέρω επεξεργασία. Ο κύριος στόχος όλων των διαδικασιών διαχωρισμού είναι να παραδώσουν το προϊόν σε μια τέτοια μονάδα μεγέθους για περαιτέρω επεξεργασία χωρίς σημαντικές αλλαγές στις εγγενείς ιδιότητες του σχετικού πλέγματος. Η διαδικασία διαχωρισμού συνήθως επιτυγχάνεται με την πλήρωση ενός θαλάμου γνωστών διαστάσεων με μία ζύμη, γνωστή και σταθερής πυκνότητας. Αυτή η σχέση μεταξύ του όγκου του θαλάμου και της πυκνότητας του πλέγματος είναι σημαντική ,επειδή τα περισσότερα προϊόντα αρτοποιίας πρέπει να κατασκευάζονται σε ένα δεδομένο βάρος.

Κατά την διάρκεια της διαδικασίας διαχωρισμού συμβαίνουν αλλαγές στη ζύμη από την διάτμηση και τις πιέσεις που υπόκεινται. Στα αφρώδη πλέγματα (π.χ. ζύμη ψωμιού) αποσταθεροποιείται η δομή των φυσαλίδων και υπάρχει διαφυγή του διοξειδίου του άνθρακα. Φυσικά, ο σχεδιασμός του εξοπλισμού διαχωρισμού πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να ελαχιστοποιεί την εν λόγω βλάβη.

2.5.3 Φορμάρισμα (formation)-Σχηματισμός (shaping)

Η διαμόρφωση ενός τεμαχίου ζύμης στην αρτοποιία είναι τυπικά μία διεργασία δύο σταδίων, που συχνά χωρίζονται από μία μικρή παύση (Marsh, 1998).

Δεν είναι ασυνήθιστο κομμάτι ζύμης να μορφοποιηθεί πρώτα σε ένα στρογγυλό σχήμα μπάλας και αργότερα σε κάποια κυλινδρική μορφή. Μπορεί να υπάρξει μια σύντομη ανάπαυση, γνωστή ως πρώτο ή ενδιάμεσο στοφάρισμα, μεταξύ των δύο σταδίων μορφοποίησης.

2.5.4 Ζύμωση (fermentation)- Στοφάρισμα (proofing)

Σε πολλές περιπτώσεις, συνήθως στη ζύμη ψωμιού, το μονοπάτι από τον αναμείκτη στον φούρνο διακόπτεται από ένα στάδιο με περιορισμένη δραστηριότητα. Η συνήθης αιτία αυτής της διακοπής είναι να τροποποιήσει τις ρεολογικές ιδιότητες των υλικών της ζύμης και να το προετοιμάσει για το ψήσιμο ώστε να ληφθεί βελτιωμένη ποιότητα προϊόντος.

Στην παρασκευή του ψωμιού, τα μορφοποιημένα κομμάτια ζύμης μεταφέρονται σε ένα θερμό και υγρό περιβάλλον στο οποίο η μαγιά συνεχίζει να παράγει διοξείδιο του άνθρακα και διογκώνει τους πυρήνες των φυσαλίδων αζώτου. Υπό την προϋπόθεση ότι το αέριο συγκρατείται στη ζύμη, θα επεκταθεί περισσότερο από το διπλάσιο του αρχικού μεγέθους σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο.

Η διαδικασία που χρησιμοποιείται συνήθως αναφέρεται ως στοφάρισμα. Εκτός από την διογκωση της ζύμης η δομή της γλουτένης χαλαρώνει - δηλαδή γίνεται λιγότερο ελαστική και περισσότερο εκτατική. Αυτή η αλλαγή σημαίνει ότι η μετάβαση στο φούρνο είναι λιγότερο επιβλαβής, ιδιαίτερα όσον αφορά το σχήμα του προϊόντος. Η ενζυμική δραστηριότητα από το αλεύρι και τη μαγιά στη ζύμη συμβάλλουν στην χαλάρωση της δομής της γλουτένης.

Κατά την κατασκευή οποιουδήποτε αρτοσκευάσματος στο οποίο σχηματίζονται δομές γλουτένη, η «ξεκούραση» είναι προς όφελος της ποιότητας του τελικού προϊόντος. Ο αντίκτυπος της «ξεκούρασης» της ζύμης συχνότερα παρατηρείται στην κατασκευή πολυστρωματικών προϊόντων, πχ. φύλλα για πίτες και σε τέτοιες περιπτώσεις είναι στενά συνδεδεμένη με τη δύναμη του αλεύρου. Υψηλής ποιότητας πρωτεΐνης, ισχυρά αλεύρια τείνουν να δώσουν ελαστική γλουτένη η οποία συμβάλλει στην συρρίκνωση της ζύμης μετά το «άνοιγμα» (sheeting). Ένας τρόπος για να μειωθεί αυτό το πρόβλημα είναι να αφήσουμε τη ζύμη να «ξεκουραστεί» για ένα χρονικό διάστημα μεταξύ των διαδικασιών μείωσης του πάχους Σε γενικές γραμμές, όσο ισχυρότερο είναι το άλευρο τόσο μεγαλύτερη είναι η ανάγκη για ξεκούραση Όπως και με το στοφάρισμα στις ζύμες ψωμιού, η περίοδος «ξεκούρασης» οδηγεί σε καλύτερο έλεγχο του τελικού σχήματος του προϊόντος.

2.5.5 Ψήσιμο (baking)

Οι θερμοκρασίες ψησίματος ποικίλουν ανάλογα το φούρνο και το προϊόν αλλά τυπικά βρίσκονται στην περιοχή της 220-250°C. Η βασική παράμετρος για την ποιότητα του ψωμιού είναι να επιτυγχάνεται σταθερή θερμοκρασία πυρήνα περίπου 92-96°C έως το τέλος του ψησίματος για να διασφαλιστεί ότι η δομή του προϊόντος θα έχει ρυθμιστεί πλήρως. Για το κέντρο του κομματιού της ζύμης, η μετάβαση από τη στόφα στο φούρνο έχει μικρή επίπτωση, επειδή είναι καλά μονωμένο από τις γύρω ζύμες. Αυτό σημαίνει ότι το κέντρο της ζύμης παίρνει επιπλέον χρόνο στοφαρίσματος. Η κινητήρια δύναμη για τη μεταφορά θερμότητας είναι η διαβάθμιση της θερμοκρασίας από τις περιοχές κοντά στην κρούστα προς το κέντρο, όπου η θερμοκρασία περιορίζεται στο σημείο βρασμού του νερού.

Ο μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας είναι η αγωγιμότητα κατά μήκος των κυτταρικών τοιχωμάτων και η θερμοκρασία στο κέντρο θα αυξηθεί ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία φούρνου και θα προσεγγίσει το σημείο βρασμού ασυμπτωτικά.

Δεν υπάρχει σημαντική μεταφορά της υγρασίας και η περιεκτικότητα σε υγρασία θα είναι η ίδια κατά το τέλος του ψησίματος, όπως στην αρχή. Καθώς η ζύμη ζεσταίνεται περνά μέσα από μια σειρά πολύπλοκων εξελίξεων τις φυσικές, τις χημικές και τις βιοχημικές μεταβολές. Η δραστηριότητα της μαγιάς μειώνεται από τους 43 °C και παύει στους 55 °C. Η δομική σταθερότητα διατηρείται από την διαστολή των παγιδευμένων αέριων. Η ζελατινοποίηση του αμύλου ξεκινά περίπου στους 60 °C και αρχικώς οι κόκκοι αμύλου απορροφούν οποιοδήποτε ελεύθερο νερό στη ζύμη, η α-αμυλάση μετατρέπει το άμυλο σε δεξτρίνες και στη συνέχεια σε σάκχαρα και φθάνει στη μέγιστη δραστηριότητα της μεταξύ 60 και 70 °C.

2.5.6 Ψύξη (cooling)

Μετά τον φούρνο, τα περισσότερα αρτοσκευάσματα απαιτούν μια περίοδο ψύξης πριν από την περαιτέρω επεξεργασία και συσκευασία. Όπως συμβαίνει με όλες τις διαδικασίες μεταφοράς θερμότητας, ο ρυθμός με τον οποίο τα προϊόντα ψύχονται εξαρτάται από τις διαστάσεις τους και τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της ατμόσφαιρας και του προϊόντος. Η μεταφορά θερμότητας στην ατμόσφαιρα στην οποία βρίσκεται περιλαμβάνει κυρίως συναγωγή και ακτινοβολία. Η θερμότητα χάνεται επίσης μέσω της εξάτμισης της υγρασίας, αλλά συνήθως ελαχιστοποιούνται οι απώλειες αυτές. Το μεγαλύτερο μέρος της διαδικασίας της ψύξης σε αρτοποιεία στηρίζεται σε μια ροή ψυχρού αέρα κατά μήκος του προϊόντος. Η κίνηση του αέρα θα αυξήσει απώλειες λόγω εξάτμισης, εάν η σχετική υγρασία του αέρα είναι μικρότερη από εκείνη του προϊόντος. Για μεγάλης κλίμακας εμπορική ψύξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ψυγείο καθώς ο υγρός αέρας θα επιταχύνει τη διαδικασία και θα ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες υγρασίας (Wiggins, 1998).

3.Υλικά και μέθοδοι

3.1 Υλικά

Για την παρασκευή των ψωμιών χρησιμοποιήθηκαν οι εξής πρώτες ύλες:

- Αλεύρι σίτου ολικής (Control/jet mill)
- Αλάτι
- Μαγιά
- Νερό (65% -75% -85%)

3.2 Συνταγή

Για κάθε συνταγή χρησιμοποιήθηκαν 300g αλεύρου. Για την παρασκευή ψωμιών η ποσότητα των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και το ποσοστό τους επί του αλεύρου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.1 Συνταγή παρασκευής των ψωμιών βασισμένη στο βάρος του αλεύρου

Υλικά	Ποσοστό επί τοις % του αλεύρου	Ποσότητες υλικών στα 300g αλεύρου
Αλεύρι σίτου ολικής	100	300
Αλάτι	1,5	4,5
Ξηρή μαγιά	0,7	2,1
Νερό:		
1 ^η περίπτωση	65	195
2 ^η περίπτωση	75	225
3 ^η περίπτωση	85	255

3.3 Άλεση αλεύρων

Το αλεύρι ολικής αλέσεως (Control) με αρχική κοκκομετρία $d_{50} = 84,15 \mu\text{m}$ κονιοροποιήθηκε με μύλο άλεσης (Model 0101S Jet-O-Mizer Milling, Fluid Energy Processing and Equipment Company, Telford, Pennsylvania, USA) χρησιμοποιώντας τέσσερις διαφορετικές συνθήκες. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι διαφορετικές συνθήκες άλεσης.

Πίνακας 3.2 Συνθήκες άλεσης αλεύρου-Κοκκομετρία

Συνθήκη	Πίεση αέρα (bar)	Ρυθμός Τροφοδότησης (%)	Ανατροφοδότηση	Συντόμ ευση	d ₅₀ (μm)		
1	4	100	ΟΧΙ	wf1	53,49	±	3,38
2	8	100	ΟΧΙ	wf2	29,10	±	3,09
3	8	100	ΝΑΙ	wf3	18,11	±	1,73
4	8	70	ΟΧΙ	wf4	17,02	±	1,38

3.4 Παρασκευή Ψωμιών

Για την παρασκευή των ψωμιών αρχικά ζυγίστηκαν και προστέθηκαν τα στερεά υλικά (αλεύρι, ξηρή μαγιά, αλάτι) στον κάδο του αναμίκτη (Hobart Mixer, Hobart N50, Hobart Co., Troy, OH, USA) στις ποσότητες που αναφέρονται στον Πίνακα 3.1 και αναδεύτηκαν για 30 δευτερόλεπτα σε μικρή ταχύτητα, (475 rpm).

Μετά το πέρας των 30 δευτερολέπτων προστέθηκε το νερό στην ποσότητα που αναγράφεται στον Πίνακα 3.1 ανάλογα την επιθυμητή περιεκτικότητα της εκάστοτε πειραματικής διαδικασίας και αναδεύτηκαν εκ νέου για 7 λεπτά σε μεσαία ταχύτητα (950 rpm), έως ότου δημιουργηθεί η ζύμη. Ακολούθησε τοποθέτηση της ζύμης σε φορμάκια των 50 γρ. περίπου.

Για το στοφάρισμα τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους 35°C για 70 λεπτά. Στη συνέχεια ακολούθησε το ψήσιμο όπου τα φορμάκια τοποθετήθηκαν σε φούρνο αερά στους 250° C για 15 λεπτά, καθ'ολη διαδικασία του στοφαρίσματος και του ψησίματος για την διατήρηση της υγρασίας στο φούρνο τοποθετήκαν ταψάκια με νερό.

Τέλος, τα ψωμάκια αφέθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 1 ώρα και έγινε μέτρηση του βάρους, του όγκου, της υγρασίας, του χρώματος, του πορώδους και της σκληρότητας τους.

3.4.1 Δείγματα ψωμιών

Για το σκοπό της συγκεκριμένης εργασίας παρασκευάστηκαν 15 διαφορετικές συνταγές ψωμιών με ίδιες αναλογίες στερεών και διαφορετική περιεκτικότητα νερού. Για καθένα από τα πέντε δείγματα αλεύρου παρασκευάστηκαν συνταγές για τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις νερού 65-75-85% όπως περιγράφονται και στον ακόλουθο πίνακα 3.3

Πίνακας 3.3 Περιγραφή δειγμάτων ψωμιών

Κωδικός δείγματος	Αλεύρι	Περιεκτικότητα νερού
wwf_65	Αλεύρι σίτου ολικής (Control)	65%
wf1_65	Αλεύρι σίτου ολικής (Jet mill-wf1)	65%
wf2_65	Αλεύρι σίτου ολικής (Jet mili-wf2)	65%
wf3_65	Αλεύρι σίτου ολικής (Jet mill-wf3)	65%
wf4_65	Αλεύρι σίτου ολικής (Jet mill-wf4)	65%
wwf_75	Αλεύρι σίτου ολικής (Control)	75%
wf1_75	Αλεύρι σίτου ολικής (Jet mill-wf1)	75%
wf2_75	Αλεύρι σίτου ολικής (Jet mili-wf2)	75%
wf3_75	Αλεύρι σίτου ολικής (Jet mill-wf3)	75%
wf4_75	Αλεύρι σίτου ολικής (Jet mill-wf4)	75%
wwf_85	Αλεύρι σίτου ολικής (Control)	85%

wf1_85	Αλεύρι σίτου ολικής (Jet mill-wf1)	85%
wf2_85	Αλεύρι σίτου ολικής (Jet mili-wf2)	85%
wf3_85	Αλεύρι σίτου ολικής (Jet mill-wf3)	85%
wf4_85	Αλεύρι σίτου ολικής (Jet mill-wf4)	85%

3.5 Συσκευές και όργανα

- Μύλος άλεσης με πεπιεσμένο αέρα (Jet mill)
- Ηλεκτρονικός ζυγός ακριβείας 4 δεκαδικών ψηφίων (KERN 770)
- Ηλεκτρονικός ζυγός (Percisa 6100 SuperBal-servis)
- Αναμίκτης (Hobart N50, Hobart Co., Troy, OH, USA)
- Φούρνος Αέρα
- Φούρνος (Memmert)
- Φουρνάκι Υγρασίας GIBERTINI Electronic Moisture Balance mod. Eurotherm (Gibertini Elettronica Milanese (MI) – Italia)
- Μηχάνημα μέτρησης αντοχής (Universal Testing Machine Instron 1011)
- Ρεόμετρο Starch Pasting Cell (TA, Instruments)
- Scanner (HP scanjet 4370, Hewlett-Packard)

3.5.1 Άλεση με πεπιεσμένο αέρα-Jet milling

Το Jet milling είναι μια νέα εναλλακτική τεχνική άλεσης μέσω της χρήσης υψηλής πίεσης αερίων. Χρησιμοποιείται συνήθως για να μειωθεί το μέγεθος των σωματιδίων σε επίπεδο μικρο-κλίμακας <40 μm (Chamayou και Dodds, 2007) και ταυτόχρονα έχει σημειωθεί μια σημαντική επίδραση επί των χαρακτηριστικών του αλεύρου σίτου. (Protonotariou et al., 2014).

Η μέθοδος αυτή, εφαρμόζεται σε θερμοευαίσθητα και εύθρυπτα υλικά με μέγεθος σωματιδίων 1-10 μm σε κρυσταλλική ή εύθρυπτη μορφή με σκοπό την παραγωγή υπέρλεπτων σωματιδίων αλλά και σε προ- αλεσμένα δείγματα για περαιτέρω άλεση. Τα βασικά πλεονεκτήματα αυτής της διεργασίας είναι ότι

επιτυγχάνει μικρά μεγέθη σωματιδίων με ταυτόχρονα μικρό εύρος μέσης κοκκομετρίας (Heng et al., 2000).

Οι λεπτόκοκκες σκόνες παράγονται από την επιτάχυνση των σωματιδίων σε ένα ρεύμα αέρα υψηλής ταχύτητας όπου η μείωση του μεγέθους τους είναι το αποτέλεσμα των διασωματιδιακών συγκρούσεων ή των κρούσεων στην επιφάνεια των τοιχωμάτων. (Létang et al., 2002).

3.5.2 Universal Testing Machine Instron

Για να προσδιορίσουμε τις ιξωδοελαστικές ιδιότητες του άρτου χρησιμοποιήθηκε το μηχάνημα Instron. Για το συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν τεστ συμπίεσης και τεστ κάμψης. Μέσω του Instron δόθηκε η απαραίτητη δύναμη συμπίεσης στο εκάστοτε δείγμα και καταγράφηκε η μεταβολή αντίστασης. Το δείγμα τοποθετήθηκε σε ειδικό χώρο στο οποίο πραγματοποιήθηκε η μέτρηση με έμβολο συμπίεσης.

3.5.3 Ρεόμετρο Starch Pasting Cell (TA, Instruments)

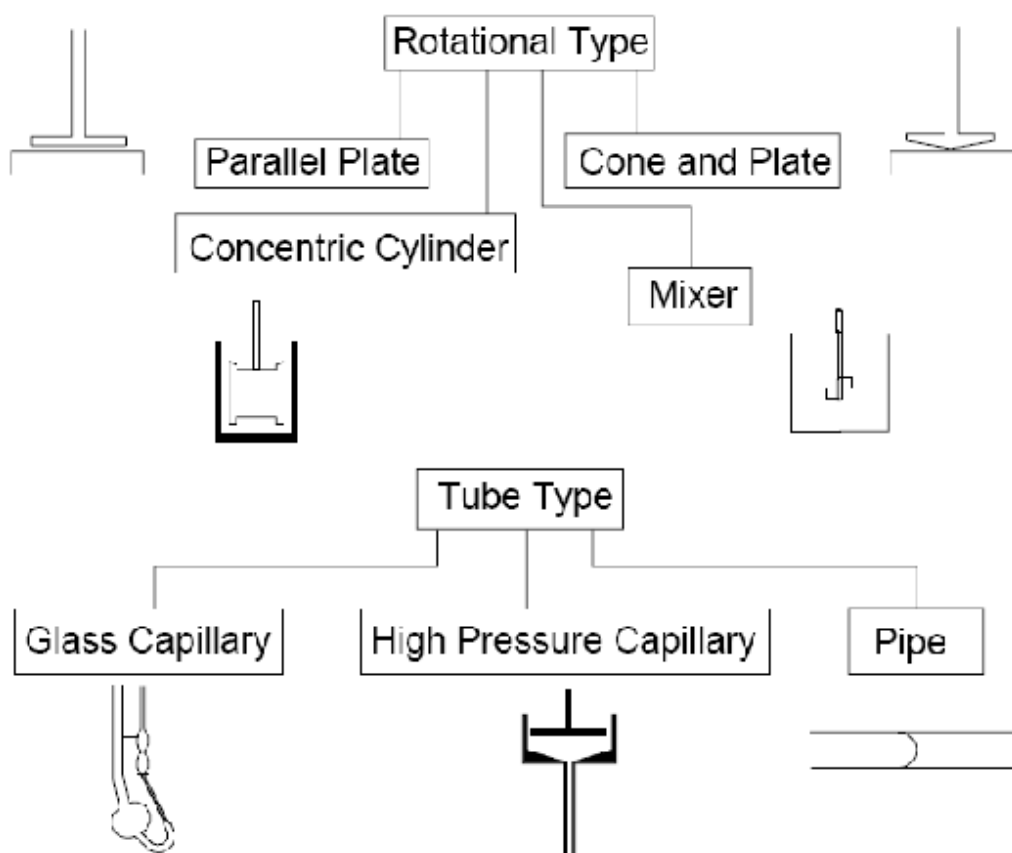
Το ρεόμετρο είναι μία συσκευή μέτρησης των θεμελιωδών ρεολογικών ιδιοτήτων των ρευστών και των ημι-στερεών τροφίμων. Η Ρεολογία έχει πλέον καθιερωθεί ως η επιστήμη της παραμόρφωσης και της ροής των υλικών. Είναι η μελέτη του τρόπου με τον οποίο τα υλικά ανταποκρίνονται στην εφαρμοσμένη τάση και παραμόρφωση. Όλα τα υλικά έχουν ρεολογικές ιδιότητες. Αυτές οι ιδιότητες περιγράφονται από τα ρεόμετρα. Τα ρεόμετρα μπορεί εντάσσονται σε δύο γενικές κατηγορίες (Εικόνα 3.5.3.1): τα περιστροφικού τύπου (Rotational type) και τα τύπου σωλήνα (Tube type). Τα περισσότερα είναι εμπορικά διαθέσιμα. Το κόστος κυμαίνεται παρά πολύ ανάλογα τον εξοπλισμό του καθενός.

Ο συντελεστής αποθήκευσης (G') και ο συντελεστής απώλειας (G'') μπορούν να περιγράψουν ρεολογικές ιδιότητες υλικών. Οι τύποι δίδονται παρακάτω:

$$G' = \frac{\tau_0 \cos \theta}{\gamma_0} \quad G'' = \frac{\tau_0 \sin \theta}{\gamma_0}$$
$$\operatorname{tg} \delta = \frac{G''}{G'}$$

Ο συντελεστής αποθήκευσης (G') μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο της ελαστικής συνιστώσας του δείγματος και αντίστοιχα ο συντελεστής απώλειας (G'') της ιξώδους συνιστώσας του δείγματος. Όταν η παραμόρφωση είναι μικρότερη του 0,1%, το G' είναι μεγαλύτερο του G'' , αλλά όταν χρησιμοποιείται μεγαλύτερο

ποσοστό παραμόρφωσης αυτή η αναλογία αντιστρέφεται εξαιτίας της μετατροπής του ιζοδοελαστικού στερεού σε ιζωδοελαστικό υγρό (Rasper,1993).



Εικόνα 3.1 Τα πιο κοινά ρεολογικά όργανα χωρισμένα σε δυο κατηγορίες τα περιστροφικά (Rotational) και τα τύπου σωλήνα (Tube) (Adebowale,2014)

Περιστροφικά συστήματα (rotational systems) χρησιμοποιούνται γενικά για τη διερεύνηση χρονικά εξαρτώμενης συμπεριφοράς διότι τα συστήματα σωλήνων (tube systems) επιτρέπουν μόνο ένα πέρασμα του υλικού μέσω της συσκευής. Τα συστήματα κώνου και πλάκας περιορίζονται σε μέτρια ποσοστά διάτμησης, αλλά οι υπολογισμοί (για μικρές γωνίες κώνου) είναι απλοί. Τα ιζωδόμετρα σωλήνων και ανάμιξης (pipe and mixer viscometer) μπορούν να χειριστούν πολύ μεγαλύτερα σωματίδια από αυτά των συσκευών κώνου-πλάκας, ή με παράλληλες πλάκες. Τα προβλήματα που σχετίζονται με την ολίσθηση και την υποβάθμιση σε δομικά υλικά που είναι ευαίσθητα ελαχιστοποιούνται με ιζωδόμετρα ανάμιξης (mixer viscometer). Τριχοειδή αγγεία υψηλής πίεσης λειτουργούν σε υψηλούς ρυθμούς διάτμησης, αλλά γενικά συνεπάγονται σημαντική διόρθωση στην τελική πίεση. (Adebowale,2014)

Για το συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκε ρεόμετρο περιστροφικού τύπου με κεφαλή Concentric Cylinder- Starch Pasting Cell. Το DHR Starch Pasting Cell (SPC) είναι ένα ισχυρό και ακριβές εργαλείο για ρεολογικούς χαρακτηρισμούς της

διαδικασίας ζελατινοποίησης και των τελικών ιδιοτήτων των προϊόντων αμύλου. Χρησιμοποιεί πρωτοποριακή νέα σχεδίαση της πτερωτής της TA για καλύτερη ανάμιξη και τον έλεγχο της καθίζησης κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Έχει ρυθμούς θέρμανσης / ψύξης στους 30 °C ανά λεπτό ώστε να ελέγχει και να μετρά την πραγματική θερμοκρασία του δείγματος και έχει σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιηθεί η απώλεια νερού κατά τη διάρκεια του κύκλου θέρμανσης.

Δεδομένου ότι οι ιδιότητες του αμύλου επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμική ιστορία (δηλαδή τις συνθήκες θερμοκρασίας και διάτμησης που χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί η ζελατινοποίηση), δεν είναι γνωστό σε ποιο βαθμό τα ρεολογικά πειράματα χρησιμοποιώντας αυτές τις γεωμετρίες έχουν σχέση με τις πραγματικές εφαρμογές σε βιομηχανικό άμυλο και σε τρόφιμα. Οι προαναφερθέντες περιορισμοί που σχετίζονται τόσο με RVA όσο και με παραδοσιακές περιστροφικές γεωμετρίες ρεομέτρου έχουν ελαχιστοποιηθεί πρόσφατα μέσω της ανάπτυξης των Starch Pasting Cell, μια νέα γεωμετρία για τον περιστροφικό ρεόμετρο. Η νέα γεωμετρία ενσωματώνει στοιχεία σχεδιασμού του RVA (μανδύα κύπελλο και πτερωτή) για να παρέχει επαρκή ικανότητα ανάμιξης για την καλύτερη ρύθμιση της ζελατινοποίησης και των συνθηκών της πάστας.

3.5.4. Ξηραντήρας Memmert

Για τον προσδιορισμό της υγρασίας στα διάφορα δείγματα αλεύρου χρησιμοποιήθηκε ο ξηραντήρας με ρεύμα αέρα Memmert. Πιο ειδικά, πρόκειται για έναν απλού τύπου ξηραντήρα που λειτουργεί με ρεύμα αέρα και χρησιμοποιείται κυρίως σε εργαστήρια και σε βιομηχανίες μικρής κλίμακας

3.5.5 Φουρνάκι Υγρασίας GIBERTINI Electronic Moisture Balance mod. Eurotherm

Είναι μια συσκευή που μετρά την περιεκτικότητα της υγρασίας από μια ποικιλία δειγμάτων χρησιμοποιώντας μια σειρά από λειτουργίες ξήρανσης. Την κατάσταση της ξήρανσης μπορεί να την δει κανείς από το εύρος διακύμανσης με μια ματιά απευθείας στην οθόνη της συσκευής. Χρησιμοποιείται για διάφορα προϊόντα (σιτηρά, άμυλο, αλεύρι, ζυμαρικά, παρασκευασμένα προϊόντα, θαλάσσια προϊόντα, προϊόντα με βάση το κρέας, μπαχαρικά, γλυκά, γαλακτοκομικά προϊόντα προϊόντα, αποξηραμένα τρόφιμα, φυτικά έλαια και άλλα είδη τροφίμων) που μπορεί να βρίσκονται σε διάφορες μορφές. (σκόνη, σωματίδια, πάστα, και υγρά).

3.6. Μέθοδοι – Μετρήσεις – Αναλύσεις

Οι -μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν καθώς και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν αναλύονται λεπτομερέστερα παρακάτω.

3.6.1. Χημική ανάλυση αλεύρου

3.6.1.1. Προσδιορισμός Ικανότητας Συγκράτησης Ύδατος αλεύρου (Water Holding Capacity)

Η μέθοδος 925.310, AOAC ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό της ικανότητας συγκράτησης ύδατος των διαφόρων δειγμάτων αλεύρου και περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- Ζύγιση 0,5 g αλεύρου (όλων των δειγμάτων) με ακρίβεια τριών δεκαδικών ψηφίων μέσα σε δοκιμαστικό σωλήνα και καταγραφή του βάρους του δείγματος (W_0) αλλά και του βάρους του δοκιμαστικού σωλήνα με το δείγμα (W_1).
- Προσθήκη 5 ml απιονισμένου νερού με σιφώνιο σε κάθε δοκιμαστικό σωλήνα.
- Ανάδευση των σωλήνων με Vortex στα 40 Hz για 2 min και αναμονή για 30 min.
- Φυγοκέντρηση στις 3500 rpm (90%) για 30 min.
- Απόχυση του υπερκείμενου υγρού και ζύγιση των σωλήνων (W_2).

Για κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν τρεις επαναλήψεις. Ο προσδιορισμός έγινε με βάση τον παρακάτω τύπο και τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως g νερού/g στερεού.

$$WHC(\%) = \frac{W_2 - W_1}{W_0} * 100 \quad (3.1)$$

3.6.1.2. Προσδιορισμός Υγρασίας αλεύρου

Η υγρασία των διαφόρων δειγμάτων αλεύρου προσδιορίστηκε από τη μέθοδο AACC44-15 A, 1999, η οποία περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- Τοποθέτηση γυάλινων φιαλιδίων ξήρανσης σε κλίβανο στους 100°C για 3 ώρες ώστε να απομακρυνθεί η υπάρχουσα υγρασία.
- Τοποθέτηση των φιαλιδίων σε ξηραντήριο με αφυγραντικό μέσο (P_2O_5) για να κρυσώσουν.
- Ζύγιση των φιαλιδίων σε ζυγό ακριβείας τριών δεκαδικών ψηφίων ώστε να προσδιοριστεί το απόβάρό τους.
- Ζύγιση περίπου 2g δείγματος εντός των φιαλιδίων.

- Τοποθέτηση των γυάλινων φιαλιδίων στον ξηραντήρα Memmert για 3 ώρες.
- Τοποθέτηση των φιαλιδίων σε ξηραντήριο με αφυγραντικό μέσο (P₂O₅) για να κρυσώσουν και ζύγιση τους.

Για κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις. Από την απώλεια βάρους υπολογίστηκε η περιεχόμενη υγρασία χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο και εκφράστηκε ως % σε ξηρή βάση:

$$\text{Υγρασία\%} = 100 * (W_1 - W) / (W_1 - W_0)$$

W₁ = Βάρος γυάλινων φιαλιδίων και δείγματος πριν τον κλίβανο (g)

W = Βάρος γυάλινων φιαλιδίων και δείγματος μετά τον κλίβανο (g)

W₀ = Βάρος του γυάλινου φιαλιδίου χωρίς δείγμα (g)

3.6.1.3. Προσδιορισμός Τέφρας αλεύρου

Για τον προσδιορισμό της τέφρας των διαφόρων δειγμάτων αλεύρου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος AOAC, 923.03(2006) η οποία περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- Τοποθέτηση των καψών πορσελάνης χωρίς δείγμα σε πυριαντήριο στους 500°C για 5 ώρες ώστε να απομακρυνθεί η υπάρχουσα υγρασία.
- Τοποθέτηση των καψών πορσελάνης σε ξηραντήριο με αφυγραντικό μέσο (P₂O₅) για να κρυσώσουν
- Ζύγιση των καψών πορσελάνης σε ζυγό ακριβείας τριών δεκαδικών ψηφίων ώστε να προσδιοριστεί το απόβαρό τους
- Ζύγιση περίπου 3g δείγματος αλεύρου εντός των καψών με ακρίβεια 0,0001g
- Τοποθέτηση των καψών στον κλίβανο στους 500°C για 5 ώρες
- Τοποθέτηση των καψών πορσελάνης σε ξηραντήριο με αφυγραντικό μέσο (P₂O₅) για να κρυσώσουν και ακολουθεί η ζύγιση τους με ακρίβεια 0,0001g.

Για κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν 2 επαναλήψεις. Ο υπολογισμός της τέφρας υπολογίστηκε από την απώλεια βάρους με τη βοήθεια του παρακάτω τύπου και εκφράστηκε ως % σε ξηρή βάση:

$$\text{Τέφρα \%} = [100 * (W_1 - W_0) / W] * [100 / (100 - M)]$$

W_1 =Βάρος κάψας πορσελάνης και δείγματος μετά το πυριαντήριο (g)

W_0 = Βάρος κάψας πορσελάνης(g)

W = Βάρος του δείγματος αλεύρου (g)

M = Υγρασία του δείγματος αλεύρου

3.6.1.4. Προσδιορισμός Πρωτεΐνης αλεύρου με την συσκευή Kjeldahl

Οι πρωτεΐνες του αλεύρου προσδιορίστηκαν με την συσκευή Kjeldahl και χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος 46-10 (AACC, 2000) που περιγράφεται αναλυτικότερα παρακάτω:

Προετοιμασία:

0,500gr δείγματος αλεύρου ζυγίστηκαν σε αναλυτικό ζυγό μέσα σε ειδικό χάρτινο υποδοχέα, ο οποίος είναι ελεύθερος αζώτου. Ο υποδοχέας με το δείγμα τοποθετείται με προσοχή στον πάτο της ειδικής γυάλινης φιάλης, συνολικά δέκα φιάλες δύο για κάθε δείγμα, όπου στην συνέχεια προστίθενται (1gr $K_2SO_4/CuSO_4$) μία ταμπλέτα καταλύτη, 0,020 SeO_2 και 25ml H_2SO_4 , το οποίο προστίθεται τελευταίο προκειμένου να συμπαρασύρει από τα τοιχώματα της φιάλης μικροποσότητες του K_2SO_4 , του $CuSO_4$ και του δείγματος. Χρησιμοποιούμε επιπλέον και δύο φιάλες για τον λευκό προσδιορισμό (Blank) χρησιμοποιώντας την παραπάνω διαδικασία χωρίς δείγμα. Οι φιάλες ανακινούνται προσεκτικά προκειμένου να αναμιχθούν τα αντιδραστήρια με το δείγμα και τοποθετούνται στη συνέχεια στη συσκευή καύσης Kjeldahl.

Υγρή καύση:

Η θέρμανση πρέπει αρχικά να είναι ήπια ώστε να αποφευχθεί ο έντονος αφρισμός. Όταν το περιεχόμενο της φιάλης πάψει να αφρίζει και στο εσωτερικό της παρατηρηθούν πυκνοί λευκοί ατμοί, η θέρμανση πρέπει να γίνει εντονότερη σε βαθμό που οι ατμοί του H_2SO_4 να συμπυκνώνονται στα $\frac{3}{4}$ του ύψους της. Η θέρμανση στις συνθήκες αυτές πρέπει να συνεχισθεί μέχρις ότου στα τοιχώματα της φιάλης δε θα παρατηρούνται πλέον απανθρακωμένα σωματίδια και το μίγμα καύσης θα διαυγάσει και θα αποκτήσει ένα ασθενώς κίτρινο έως κυανοπράσινο χρώμα. Η θέρμανση συνεχίζεται προσεκτικά για $1\frac{1}{2}$ ώρα ακόμη και ακολούθως η φιάλη με το περιεχόμενό της αφήνεται να ψυχθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Προετοιμασία για την απόσταξη:

Προετοιμάζουμε τα κατάλληλα αντιδραστήρια που θα χρησιμοποιήσουμε στη συσκευή απόσταξης Kjeldahl. Στη φιάλη Kjeldahl προστίθενται αρχικώς 285 ml

αποσταγμένου νερού, με τρόπο που να καταστήσει δυνατή την έκπλυση των εσωτερικών τοιχωμάτων της, και στη συνέχεια 50 mL διαλύματος καυστικού νατρίου, 40% w/w. Η φιάλη Kjeldahl προσαρμόζεται αμέσως μετά την προσθήκη του αλκάλειου στη συσκευή απόσταξης Kjeldahl ώστε να αποφευχθούν απώλειες σε αμμωνία. Το κάτω άκρο του ψυκτήρα της συσκευής αυτής είναι βυθισμένο εντός μίγματος που αποτελείται από 25 mL διαλύματος θειικού οξέος, 0,25 mol/L, και 0,2 mL αιθανολικού διαλύματος ερυθρού του μεθυλίου, 0,3% w/v, το οποίο είναι τοποθετημένο σε κωνική φιάλη.

Απόσταξη αμμωνίας:

Το περιεχόμενο της φιάλης, μετά από μια καλή ανάμιξη που επιτυγχάνεται με διαδοχικές περιστροφές της, θερμαίνεται προκειμένου να αποστάξει πλήρως η αμμωνία. Η θέρμανση πρέπει να είναι αρχικώς ήπια ώστε να αποφευχθεί ένας έντονος αφρισμός. Συνήθως μετά από τη συλλογή 150 mL αποστάγματος (ο συνολικός όγκος του υγρού στην κωνική φιάλη πρέπει να γίνει 175 mL) διακόπτεται η θέρμανση και απομακρύνεται η φιάλη Kjeldahl από τη συσκευή. Στη συνέχεια εκπλένεται το άκρο του ψυκτήρα με αποσταγμένο νερό εντός της κωνικής φιάλης με το απόσταγμα.

Προσδιορισμός της αμμωνίας:

Η περίσσεια του θειικού οξέος ογκομετρείται με διάλυμα αλκάλειου, 0,5 mol/L, και από την κατανάλωση υπολογίζεται εμμέσως η αμμωνία που έχει δεσμευθεί από το διάλυμα θειικού οξέος, 0,25 mol/L.

Υπολογισμός της περιεκτικότητας σε οργανικώς δεσμευμένο άζωτο και πρωτεΐνες:

Η περιεκτικότητα του δείγματος σε οργανικώς δεσμευμένο άζωτο υπολογίζεται, με ακρίβεια τριών δεκαδικών ψηφίων, από την παρακάτω σχέση (όπου $N=0,1$):

$$\text{Άζωτο \%} = [(\text{όγκος δείγματος} - \text{όγκος blank}) * N * 14,007 * 100] / \text{βάρος δείγματος}$$

Για να υπολογισθεί η περιεκτικότητα του δείγματος σε πρωτεΐνες, που δίνεται με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων, πολλαπλασιάζεται η εκατοστιαία περιεκτικότητα σε οργανικό άζωτο με το συντελεστή 6,25

$$\text{Πρωτεΐνες \%} = \frac{[(\text{όγκος δείγματος} - \text{όγκος blank}) * N * 14,007 * 100]}{\text{βάρος δείγματος}} * 6,25$$

Το 6,25 είναι ο εμπορικός συντελεστής που προκύπτει από το γεγονός ότι οι πρωτεΐνες περιέχουν 16% άζωτο ($100/16=6,25$) και δεν είναι σταθερός για όλα τα τρόφιμα.

3.6.2. Ανάλυση ψωμιού

3.6.2.1 Προσδιορισμός της απώλειας υγρασίας

Η απώλεια υγρασίας κατά το ψήσιμο(%) προσδιορίστηκε βάσει της εξίσωσης:

$$\text{Απώλεια υγρασίας \%} = \frac{(\text{βάρος ψημένου ψωμιού [g]} / \text{βάρος ζυμαριού [g]}) * 100}{100}$$

3.6.2.2. Προσδιορισμός του ειδικού όγκου

Ο προσδιορισμός του ειδικού όγκου έγινε με εκτόπιση σφαιριδίων συγκεκριμένων διαστάσεων και υπολογίστηκε από την εξίσωση:

$$\text{Ειδικός όγκος} = V \text{ σφαιριδίων εκτόπισης} / B \text{ ψωμιού}$$

V σφαιριδίων: Όγκος των σφαιριδίων που εκτοπίστηκαν (cm³)

B ψωμιού: Βάρος του ψωμιού μετά το ψήσιμο (g)

Ο ειδικός όγκος μετρήθηκε 3 φορές σε κάθε δείγμα και στη συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος όρος των τιμών αυτών.

3.6.2.3. Προσδιορισμός του χρώματος

Ο προσδιορισμός του χρώματος των δειγμάτων δίνεται από τις παραμέτρους L^* , a^* , b^* (Hunter), όπου το κόκκινο χρώμα αντιστοιχεί στο (+a), το πράσινο χρώμα στο (-a), το κίτρινο χρώμα στο (+b), το μπλε χρώμα στο (-b) και το L^* σχετίζεται με την φωτεινότητα του χρώματος. Για τον προσδιορισμό του χρώματος λοιπόν χρησιμοποιήθηκε η σκαναρισμένη φωτογραφία της φέτας του ψωμιού όπου με τη βοήθεια του προγράμματος Image Pro Plus 1.3. πήραμε τις παραμέτρους χρώματος R, G, B και τις μετατρέψαμε στις παραμέτρους L^* , a^* , b^* για περαιτέρω ανάλυση και σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Η διαφορά χρώματος, ΔE^* , μεταξύ του wwf ψωμιού κάθε περιεκτικότητας νερού και των δειγμάτων ψωμιού που προήλθαν από τα αλεσμένα αλεύρα, υπολογίστηκε ως εξής:

$$\Delta E^{*2} = \Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}$$

Όπου ΔL^* , Δa^* , Δb^* είναι η διαφορά της τιμής L^* , a^* , b^* του δείγματος control με το εκάστοτε δείγμα. της αντίστοιχης περιεκτικότητας νερού. Σκανάρισμα έγινε σε τρεις διαφορετικές φέτες ψωμιού για κάθε δείγμα κομμένες από το κέντρο της φραντζόλας πάχους 1cm.

3.6.2.4. Προσδιορισμός της υφής της ψίχας / Πείραμα συμπίεσης-Πείραμα κάμψης

Για τον προσδιορισμό των ιξωδοελαστικών ιδιοτήτων καθώς και των ιδιοτήτων υφής της ψίχας χρησιμοποιήθηκε το Instron 1011 (Universal Testing Machine).

Για τα συγκεκριμένα πειράματα χρησιμοποιήθηκε έμβολο πάχους 40 mm, το οποίο κατερχόταν με ταχύτητα 50 mm / min και συμπίεσε το δείγμα μέχρι το 50% του αρχικού του ύψους. Μια μονοαξονική δοκιμή συμπίεσης με επακόλουθη φάση χαλάρωσης που διήρκεσε 4 λεπτά εφαρμόστηκε προκειμένου να προσδιοριστούν οι ιξωδοελαστικές ιδιότητες καθώς και οι ιδιότητες υφής της ψίχας

Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν κύβοι κομμένοι πάντα από το ίδιο σχεδόν μεσαίο τμήμα της φραντζόλας διαστάσεων 2 x 2 x 2cm (μήκος x πλάτος x ύψος). Με την βοήθεια καθορισμένων διαγραμμάτων δύναμης-χρόνου βρέθηκαν οι παράμετροι της υφής, η αξιοπιστία των παραμέτρων -50% συμπίεση, η αξιοπιστία της ψίχας REL. Ο υπολογισμός των παραμέτρων αυτών έγινε σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις:

$$F_{\max} = F_0$$

$$REL = F_{\text{res}} / F_{\max} = F_{240} / F_0$$

F_{\max} = Μέγιστη δύναμη (= συνεκτικότητα της ψίχας) (N)

F_0 = Δύναμη στο χρόνο $t = 0s$ (αρχή της φάσης ανάπαυσης) (N)

F_{240} = Δύναμη στο χρόνο $t = 240s$ (τέλος της φάσης ανάπαυσης) (N)

REL = σχετική ελαστικότητα (%)

F_{res} = παραμένουσα δύναμη (N)

(Schoenlechner et al., 2009)

3.6.2.5. Προσδιορισμός υγρασίας

Για τον προσδιορισμό της υγρασίας του ψωμιού χρησιμοποιήθηκαν δείγματα ψίχας και κόρας ψωμιού και έγινε σε δύο στάδια ,σύμφωνα με την μέθοδο ΑΟΑC(935.36) που περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

1^ο στάδιο:

Προετοιμασία: Δείγμα ψωμιού τοποθετείται σε αλουμίνια ταψάκια και τεμαχίζεται Ζυγίζεται με ακρίβεια το βάρος του δείγματος και του περιέκτη..

Προξήρανση: Τα δείγματα αφήνονται στο περιβάλλον για 24 ώρες..

2^ο στάδιο:

Ξήρανση : Τα δείγματα ξαναζυγίζονται μετά την αφυδάτωση και κονιορτοποιούνται σε μύλο και αποθηκεύονται αεροστεγώς σε ειδικές σακούλες. Εν συνεχεία ζυγίζεται και τοποθετείται στα ειδικά ταψάκια της συσκευής υγρασίας GIBERTINI Electronic Moisture Balance mod. Eurotherm, 1gr περίπου δείγματος, απ' όπου παίρνουμε και την ένδειξη της υγρασίας του ψωμιού.

Υπολογισμός: Με την βοήθεια του παρακάτω τύπου βρίσκουμε την υγρασία του ψωμιού:

$$\text{Υγρασία ψωμιού \%} = [(W_1/W_2) * 100] + [M * 100 - (W_1/W_2) * 100]$$

W_1 =Τελικό βάρος δείγματος μετά την προξήρανση

W_2 =Αρχικό βάρος δείγματος πριν την προξήρανση

M= Ένδειξη υγρασίας συσκευής GIBERTINI

3.6.2.6. Μέτρηση του επιφανειακού πορώδους

Η κυτταρική δομή της ψίχας, συνήθως περιγράφεται από τη μέση κυτταρική επιφάνεια και την πυκνότητα των κυττάρων (αριθμός κελιών/cm²) και προσδιορίζεται ποσοτικά με συστήματα ανάλυσης εικόνας, που είναι γνωστά ως κελιά ψίχας ή ως οπτική υφή (Scanlon και Zghal, 2001). Τα κελιά της ψίχας είναι η εσωτερική δομή, η οποία εμφανίζεται όταν είναι κομμένο το ψωμί σε φέτες. Με τον τρόπο αυτό, η δομή της επιφάνειας είναι ορατή, η οποία αποτελείται από πολλά διασυνδεδεμένα κελιά και σε διάφορα μεγέθη. (Hayman et al., 1998; Kamman, 1970) Δεν είναι γνωστό ακόμη τι επηρεάζει περισσότερο την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Είναι το μέγεθος των κελιών ή το σχήμα ή ακόμα και το μέγεθος της διανομής τους. Τα τελευταία χρόνια, το μέγεθος των κελιών και το σχήμα φαίνεται να θεωρούνται χαρακτηριστικά αξιολόγησης της ποιότητας (Polaki A., 2010).

Μετρήσεις έγιναν σε τρεις διαφορετικές φέτες ψωμιού για κάθε δείγμα κομμένες από το κέντρο της φραντζόλας πάχους 1cm. Οι παράμετροι που λήφθηκαν από την ανάλυση του Image Pro είναι η μέση διάμετρος (diameter average) και το ποσοστό το πόρων ανά εκατοστό (Obj1cm) .

3.6.3. Ρεολογία Ζύμης

Το ψωμί είναι ένα από τα πιο σημαντικά τρόφιμα που καταναλώνονται σε όλο τον κόσμο. Οι ρεολογικές ιδιότητες της ζύμης είναι πολύ σημαντικές στην ποιότητα ψησίματος του ψωμιού. Η γνώση της ρεολογικής συμπεριφοράς της ζύμης του ψωμιού είναι πολύ σημαντική για να κατανοήσουμε τις μηχανικές ιδιότητες της ζύμης και τον έλεγχο των τελικών προϊόντων. Οι μετρήσεις διάτμησης με μικρό πλάτος ταλάντωση, που έχουν δοκιμαστεί και είναι πολύ πιο αξιόπιστες από τις μετρήσεις σταθερής διάτμησης, παρέχουν την μέτρηση της δυναμικής ρεολογικής λειτουργίας, χωρίς να μεταβάλλουν την εσωτερική δομή του δικτύου των υλικών (Mirsaeedghazi et al., 2008).

Η ιξωδοελαστικότητα της ζύμης σχετίζεται με πολλούς παράγοντες, όπως την φύση του αλευριού, τα συστατικά της ζύμης, τη θερμοκρασία, την πρόσληψη νερού, την ενσωμάτωση αέρα και το είδος της ανάμιξης. Υπάρχουν πολλά κύρια μοντέλα στην ρεολογία της ζύμης. Με το **ιξώδες** συνήθως εννοούμε την αντίσταση στη ροή ή το πάχος ενώ με την **ελαστικότητα** συνήθως εννοούμε το κολλώδες ή την δομή.

Για το συγκεκριμένο πείραμα λοιπόν χρησιμοποιήθηκε το Ρεομετρο DHR3, TA Instruments, Η.Π.Α και έγινε χρήση της γεωμετρίας Starch Pasting Cell για την μέτρηση των θερμορεολογικών ιδιοτήτων

Πειραματική διαδικασία:

Έγινε διασπορά των αλεύρων σε νερό συγκέντρωσης 5%. Ελαιώρημα αλεύρου(1gr) και νερού(19gr) τοποθετήθηκε στην συσκευή του ρεομέτρου μέσα στην ειδική υποδοχή του εξαρτήματος ακολούθησε ανάδευση του δείγματος (100 s-1) για 10 s σε αρχική θερμοκρασία 30 °C στη συνέχεια εφαρμόστηκε ρυθμός διάτμησης 10 s-1 μέχρι το τέλος του πειράματος. Το δείγμα θερμάνθηκε από τους 30 °C έως τους 95° C με ρυθμό 10 °C/min και παρέμεινε στους 95° C για 5 min. Ακολούθησε ψύξη του δείγματος μέχρι τους 30 °C (10 °C/min) όπου παρέμεινε για 5 min.

Από τα δεδομένα ιξώδους ως προς το χρόνο υπολογίστηκαν οι παράμετροι:

- GT (Gelatinization Temperature): Η θερμοκρασία στην οποία το ιξώδες αρχίζει να αυξάνεται μεταξύ 65-75°C

- PV (Peak Viscosity): Η μεγαλύτερη τιμή του ιξώδους κατά τη διάρκεια της θέρμανσης
- HPV (Hot Paste Viscosity): Η τιμή του ιξώδους στο τέλος της ισοθερμικής περιόδου στους 90° C.
- CPV (Cold Paste Viscosity) : Η τιμή του ιξώδους στο τέλος της ισοθερμικής περιόδου στους 30° C .
- PV-HPV (Breakdown)
- (PV-HPV)/PV (Relative Breakdown)
- CPV-HPV (Total setback)
- (CPV-HPV)/CPV (Relative total setback)

3.6.4. Στατιστική ανάλυση

Τα αποτελέσματα επεξεργάστηκαν με την βοήθεια του προγράμματος Statgraphics Statical Graphics System Version 2.1 (Statgraphics, Rockville, Md, USA). Η μέθοδος Fisher LSD χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των σημαντικών διαφορών μεταξύ των δειγμάτων. Σημαντική θεωρήθηκε μια τιμή- p Μικρότερη του 0,05.

4.Σκοπός της μελέτης

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής ήταν να παρασκευαστούν ψωμιά με τρεις διαφορετικές περιεκτικότητες νερού στη συνταγή χρησιμοποιώντας αλεύρι ολικής άλεσης (control) και τέσσερα διαφορετικά άλευρα τα οποία προέκυψαν από την χρήση μύλου jet mill εφαρμόζοντας διαφορετικές συνθήκες άλεσης. Πιο συγκεκριμένα, έγιναν μετρήσεις στα άλευρα για τον προσδιορισμό της υγρασίας, της ικανότητας συγκράτησης νερού, των πρωτεϊνών και της τέφρας. Στα ψωμιά έγινε ποιοτική αξιολόγηση και μετρήθηκαν ο ειδικός όγκος, η υγρασία, το επιφανειακό πορώδες, το χρώμα, η σκληρότητα, η ελαστικότητα και η απώλεια υγρασίας. Μετρήσεις έγιναν επίσης και στη ζύμη όπου καταγράφηκε το θερμορολογικό προφίλ της. Τέλος, με τη βοήθεια στατιστικής επεξεργασίας προσδιορίστηκε η σημαντικότητα των επιδράσεων των σχεδιαστικών παραμέτρων στις επιμέρους ιδιότητες των αλεύρων και των δειγμάτων ψωμιού.

5.Αποτελέσματα-Συζήτηση

5.1. Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών του αλεύρου (Υγρασία, WHC, Πρωτεΐνη, Τέφρα)

Η άλεση των αλεύρων με τη χρήση του Jet mill οδήγησε στην παραγωγή δειγμάτων μικρότερου μεγέθους σωματιδίων και κοκκομετρίας. Το αλεύρι είναι εκείνο που επιδρά περισσότερο στην ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων αρτοποιίας και κυρίως του ψωμιού. Τα δείγματα μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα τις συνθήκες άλεσης και την κοκκομετρία τους από τη μεγαλύτερη στην μικρότερη ως : wwf> wf1> wf2> wf3>wf4 (Πίνακας .3.2)

Τα αποτελέσματα έδειξαν πως όσο περισσότερο παραμένουν τα δείγματα εντός του μύλου άλεσης και εκτεθούν περισσότερο στη ροή ξηρού αέρα είτε με μείωση του ρυθμού τροφοδοσίας (wf4) είτε με χρήση ανατροφοδότησης (wf3) τόσο μειώνεται η περιεκτικότητα τους σε **υγρασία** (Πίνακας 5.1)

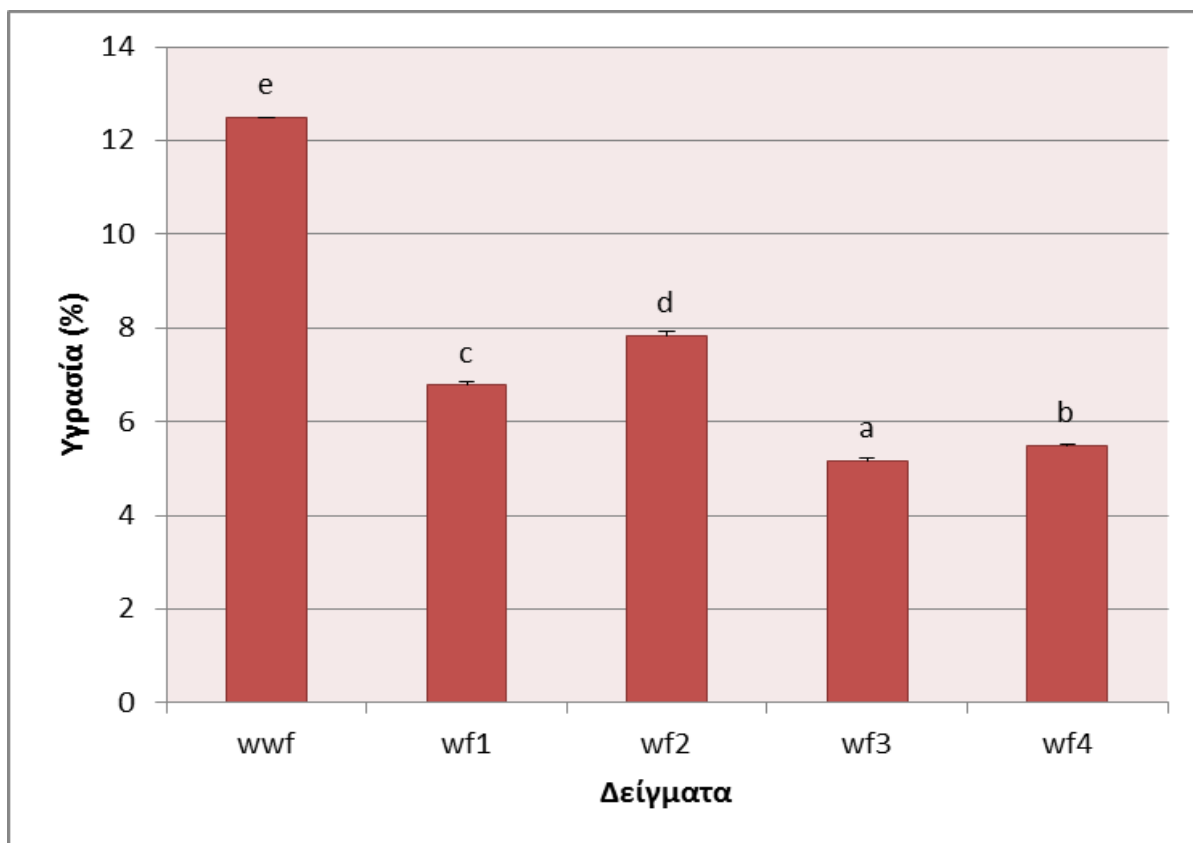
Αντίθετα αποτελέσματα παρατήρησαν οι Feifei et al. (2012), Manley et al. (2011) και Pauly et al. (2013) σχετικά με την **ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC)** καθώς η μείωση του μεγέθους των σωματιδίων αλεύρου εξαιτίας της υψηλής ειδικής επιφάνειας τους ανά μονάδα βάρους αύξησε την WHC πράγμα που επιβεβαιώνεται και στην δική μας περίπτωση έχοντας μία διαβαθμισμένη αύξηση από το wwf στο wf4.

Σε ότι αφορά την περιεκτικότητα σε **πρωτεΐνη** δεν παρατηρήθηκαν διαφορές ανάμεσα στα δείγματα, το wwf δείγμα παρέμεινε σε υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με τα δείγματα που είχαν υποστεί άλεση μέσω του jet mill και οι τιμές κυμάνθηκαν από 7,01 έως 6,25%. Παρόμοια αποτελέσματα εμφανίζονται και στην περιεκτικότητα σε **τέφρα** των δειγμάτων χωρίς ιδιαίτερες διαφορές μεταξύ τους με διακύμανση από 1,54 έως 1,36%.

Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων αλεύρου.

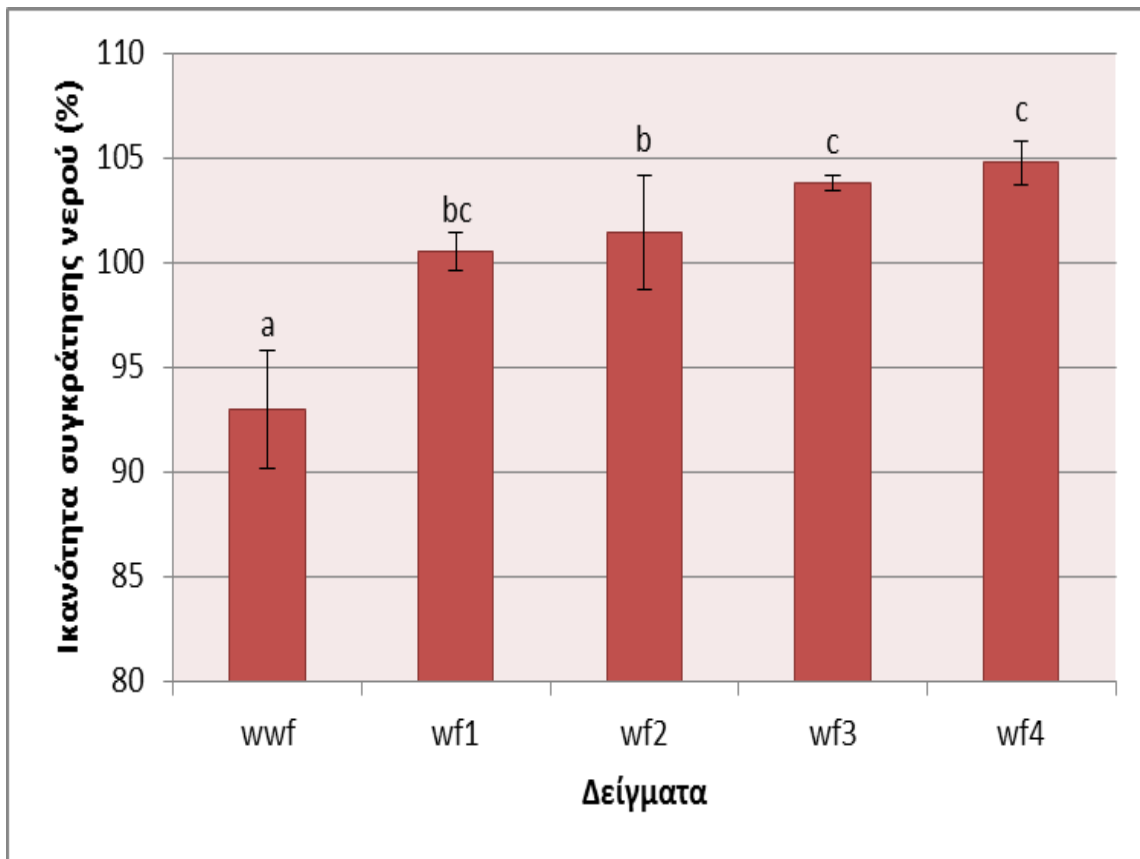
Δείγμα	Moisture (%)	WHC(% d.b.)	ash(% d.b.)	protein(% d.b.)
wwf	12,50±0,00	91,93±2,78	1,54±0,07	7,01±0,00
wf1	6,77±0,08	100,51±0,76	1,51±0,08	6,33±0,11
wf2	7,84±0,08	100,09±2,67	1,49±0,09	6,74±0,00
wf3	5,17±0,06	103,78±0,36	1,72±0,08	6,81±0,11
wf4	5,49±0,03	104,76±1,02	1,36±0,03	6,25±0,01

Πιο αναλυτικά, στο διάγραμμα 5.1 παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας έχει το wwf (12,50 %) με αρκετή διαφορά από τα υπόλοιπα ενώ οι μικρότερες τιμές υγρασίας βρίσκονται στα δείγματα wf3 και wf4 με ποσοστό 5,17 και 5,49% αντίστοιχα.



Διάγραμμα 5.1 Περιεκτικότητα υγρασίας δειγμάτων. Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά ($P < 0.05$).

Σχετικά με την ικανότητα συγκράτησης νερού τα αποτελέσματα είναι αυξανόμενα σχεδόν αναλογικά όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα κατέχοντας το υψηλότερο ποσοστό το wf4 (104,76%) και το μικρότερο το wwf (92,99%) .

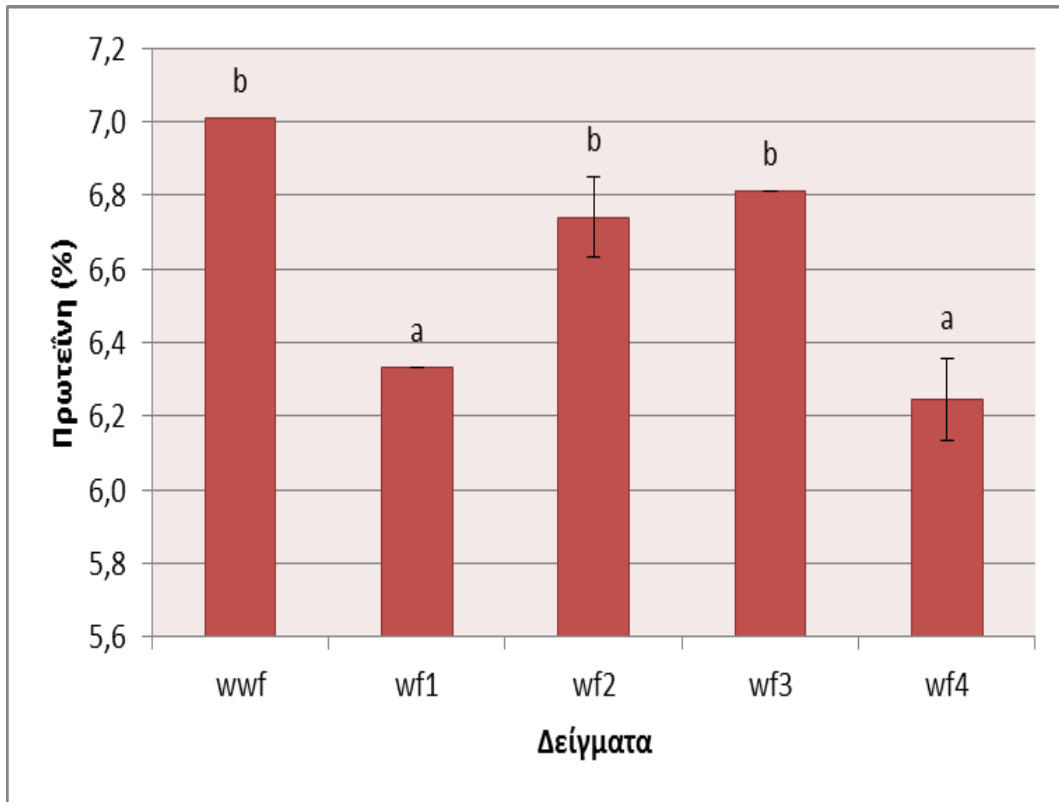


Διάγραμμα 5.2 Ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC) των δειγμάτων. Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά ($P < 0.05$).

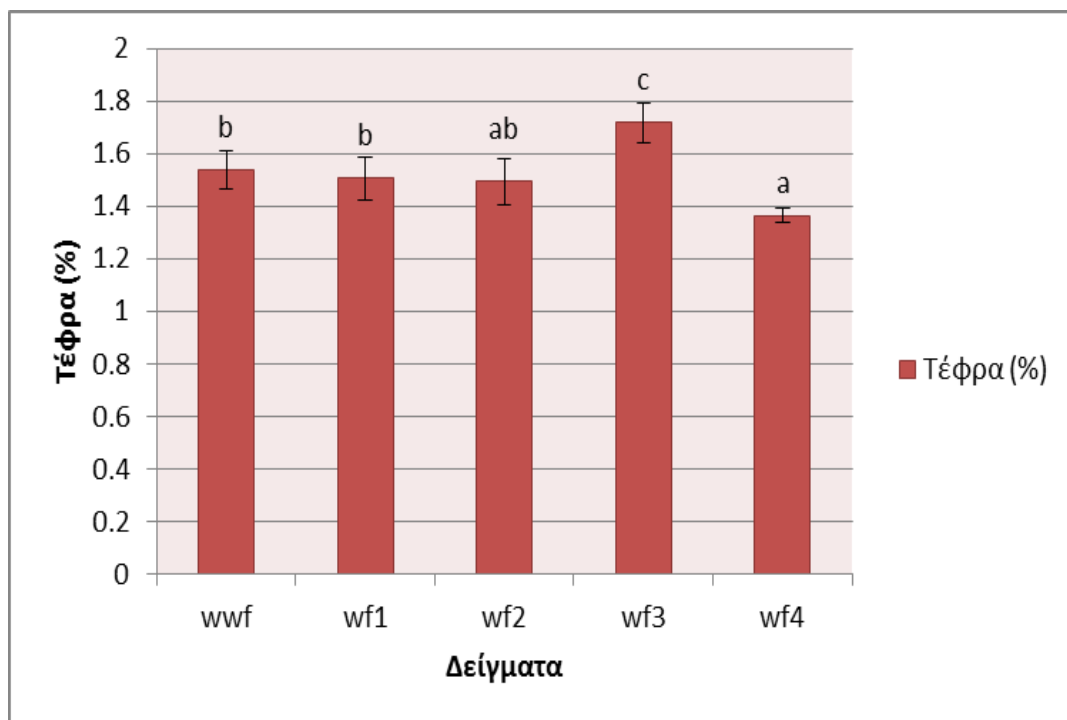
Η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε πρωτεΐνη δεν παρουσίασε ιδιαίτερη διακύμανση έχοντας την πρώτη θέση το wwf με ποσοστό 7,01 % και την τελευταία το wf4 με ποσοστό 6,25 % όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα 5.3 χωρίς να υπάρχει κάποια τάση μεταξύ της κοκκομετρίας

Τα ποσοστά σε περιεκτικότητα τέφρας των δειγμάτων δεν είχαν ιδιαίτερη διαφοροποίηση μεταξύ τους το μεγαλύτερο ποσοστό είχε το wf3 με 1,71 % και μικρότερο το wf4 με 1,36 % (Διάγραμμα 5.4)

Και για τα δύο αυτά στοιχεία το αποτέλεσμα ήταν λογικό εφόσον δεν υπήρχε καμία προσθαφαίρεση στα συστατικά του αλεύρου σε ότι αφορά την χημική του σύσταση.



Διάγραμμα 5.3 Περιεκτικότητα των δειγμάτων σε πρωτεΐνες. Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά ($P < 0.05$).

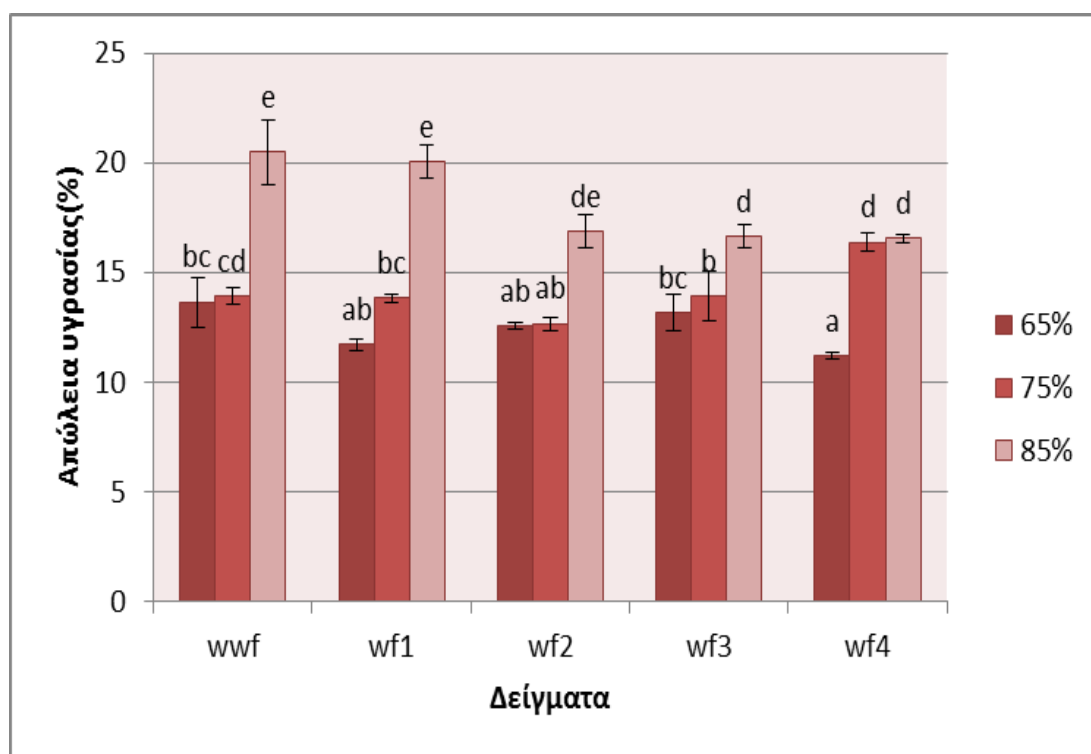


Διάγραμμα 5.4 Περιεκτικότητα τέφρας των δειγμάτων. Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά ($P < 0.05$).

5.2 Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών του άρτου

5.2.1 Προσδιορισμός της απώλειας υγρασίας

Η απώλεια υγρασίας κατά το ψήσιμο παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα 5.5 από το οποίο παρατηρούμε ότι υψηλότερες τιμές έχουν τα ψωμιά περιεκτικότητας 85% νερό και συγκεκριμένα το wwf_85 με ποσοστό 20.47% και αντίστοιχα οι χαμηλότερες τιμές βρίσκονται στα ψωμιά με 65% περιεκτικότητα νερού με χαμηλότερο ποσοστό αυτό του wf4_65% , 11,21%. Σύμφωνα με Puhf and D'Arrolonia (1992), μια αύξηση στην περιεκτικότητα νερού της ζύμης μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του βάρους του ψημένου προϊόντος δηλαδή σε μεγαλύτερη απώλεια υγρασίας γεγονός που επιβεβαιώνεται και στο συγκεκριμένο πείραμα.

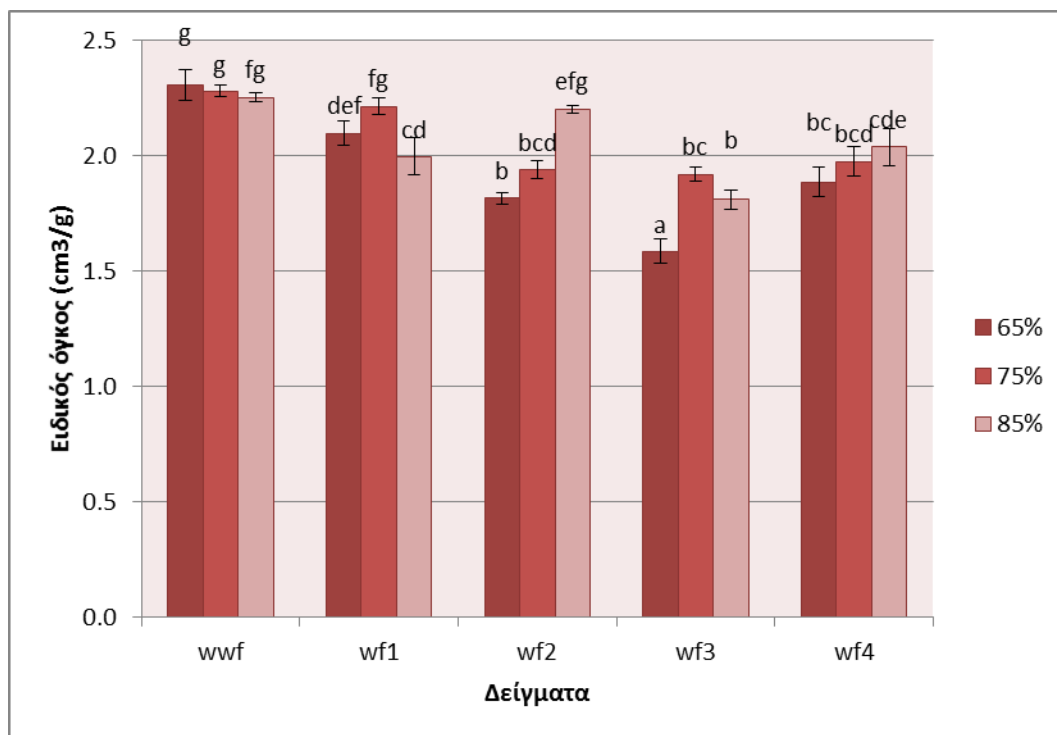


Διάγραμμα 5.5 Απώλειας υγρασίας επί τοις εκατό κατά το ψήσιμο του άρτου. Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά ($P < 0.05$).

5.2.2 Προσδιορισμός του ειδικού όγκου

Ο ειδικός όγκος κάθε δείγματος φαίνεται λεπτομερέστατα στο διάγραμμα που ακολουθεί. Τις μεγαλύτερες τιμές έχει το wwf_65% (2,31%) και το wwf_75% (2,28%) ενώ την χαμηλότερη έχει το wwf3_65% (1,59 %). Παρατηρούμε ότι η κοκκομετρία του αλεύρου επηρεάζει τον ειδικό όγκο των ψωμιών καθώς τα ψωμιά που προέρχονται από αλεύρι μικρής κοκκομετρία έχουν μικρότερη τιμή ειδικού όγκου όπως προέκυψε και σε προηγούμενες έρευνες. (Protonotariou, 2015). Στο wwf δείγμα (control) δεν υπάρχουν διαφοροποιήσεις μεταξύ της περιεκτικότητας

νερού ενώ στο wf2 βλέπουμε ότι επιδρά διαφορετικά αυξάνοντας τον ειδικό όγκο με την αύξηση της περιεκτικότητας. Παρ όλα αυτά δεν υπάρχει τάση στην περιεκτικότητα νερού αυτό ίσως οφείλεται στο ότι υπάρχουν διαφορετικά βέλτιστα νερά στα άλευρα από τις συγκεκριμένες περιεκτικότητες που μελετάμε.



Διάγραμμα 5.6 Απεικόνιση του ειδικού όγκου επί τοις εκατό. Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά ($P < 0.05$).

5.2.3 Προσδιορισμός του χρώματος

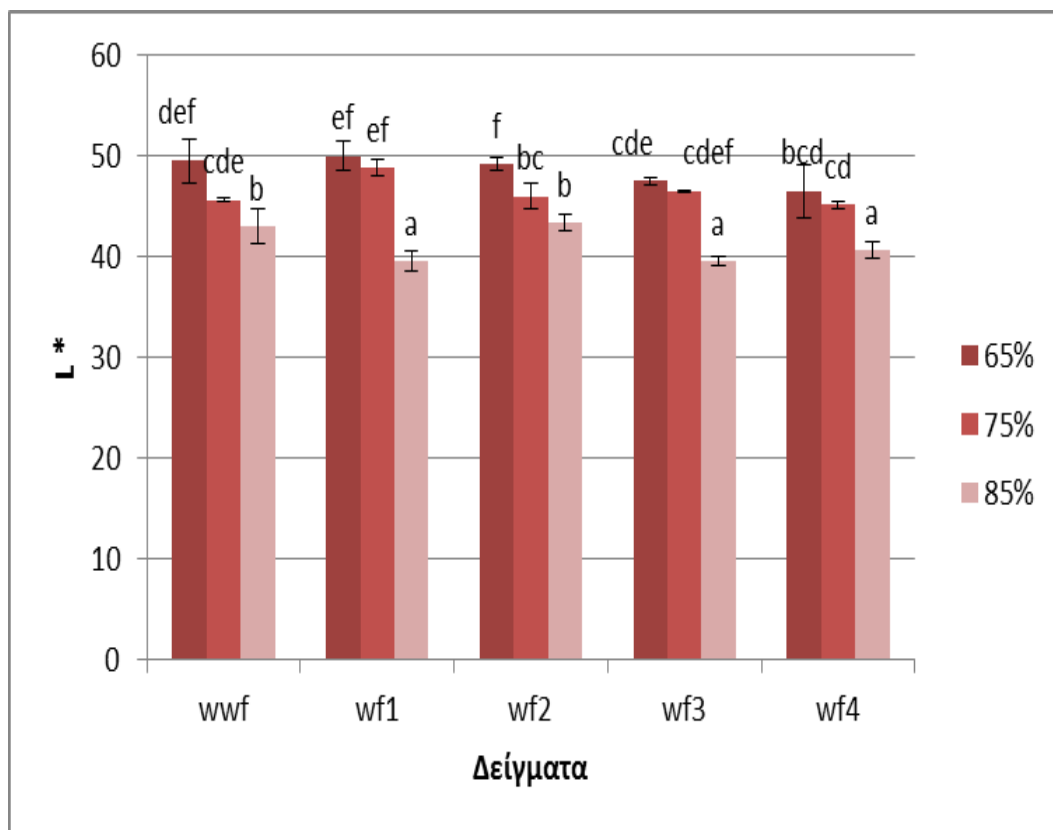
Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 5.7 η L^* παράμετρος έχει υψηλότερες τιμές στα ψωμιά με περιεκτικότητα νερού 65% και συγκεκριμένα στο wwf_65% , (49,43) , δεύτερα σε υψηλότερες τιμές είναι τα ψωμιά περιεκτικότητας 75% και τις χαμηλότερες τιμές έχουν τα ψωμιά με 85% περιεκτικότητα νερού και συγκεκριμένα το wf3_85% με τιμή 39,45. Πιο φωτεινά λοιπόν είναι τα δείγματα με περιεκτικότητα νερού 65 % αυτό ίσως να οφείλεται στο ότι η περιεκτικότητα νερού στα δείγματα δεν είναι η βέλτιστη.

Οι παράμετροι a^* και b^* έχουν παρόμοια τάση με την L^* έχοντας μεγαλύτερο ποσοστό ανά δείγμα στα ψωμιά που περιέχουν 65% νερό κατέχοντας την πρώτη θέση το wf4_65% για την a παράμετρο με τιμή 13,9 και αντίστοιχα για την b^* παράμετρο το wf3_65% με 24,5. Αντίθετα μικρότερες τιμές παρουσιάζονται στα ψωμιά με 85% περιεκτικότητα νερού με μικρότερη τιμή για την a^* παράμετρο να έχει το wwf_65% με 10,9 και για την b^* το wwf_85% με 20,3%. (Διάγραμμα 5.8

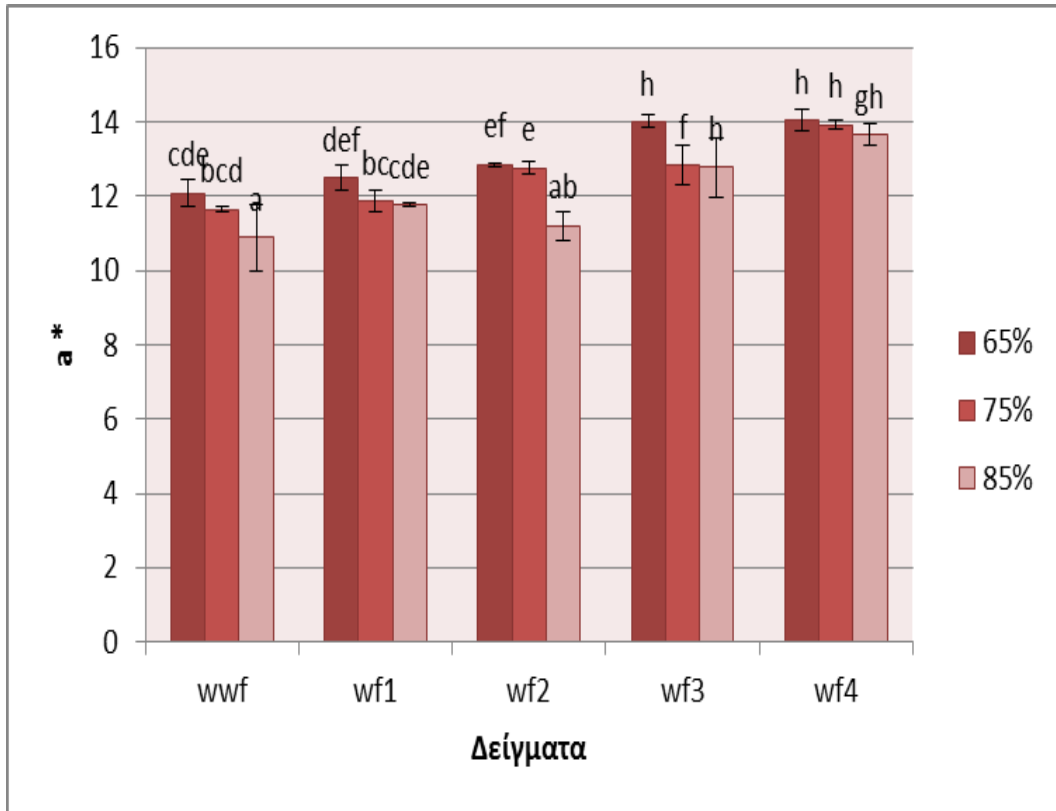
και 5.9). Άρα τα ψωμιά περιεκτικότητας 65% νερό ανά δείγμα είναι πιο κόκκινα (+a) από τα 75% και 85 % και αντίστοιχα πιο κίτρινα(+b).

Η **διαφορά χρώματος, ΔE ***, μεταξύ του wwf ψωμιού κάθε περιεκτικότητας νερού και των δειγμάτων ψωμιού που προήλθαν από τα αλεσμένα άλευρα, παρουσιάζεται στο διάγραμμα 5.10 βλέπουμε λοιπόν ότι περισσότερο διαφέρει το wf3_85% με ΔE* 4,74 ενώ μικρότερη διαφορά παρατηρείται στο δείγμα wf2_85% με ΔE* 0,55. Δεν υπάρχει λοιπόν κάποια συγκεκριμένη τάση σε ότι αφορά την διαφορετική περιεκτικότητα νερού και την κοκκομετρία.

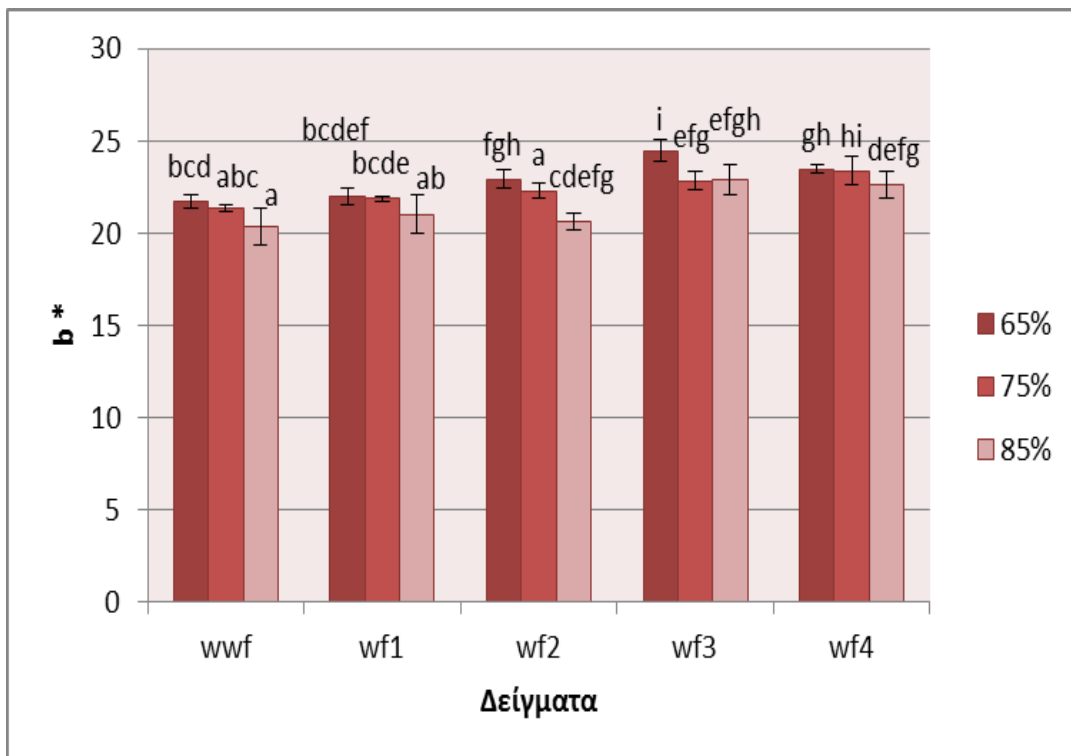
Παρατηρούμε ωστόσο ότι τα 65% ψωμιά παρουσιάζουν μεγαλύτερη διαφορά ΔE* από ότι τα 75% και 85% στα μέτρια κοκκομετρίας άλευρα(wf1,wf2); ενώ στα λεπτόκοκκα άλευρα wf3 και wf4 τα ψωμιά 85% νερού διαφέρουν περισσότερο έχοντας αρκετά υψηλές τιμές ΔE*.



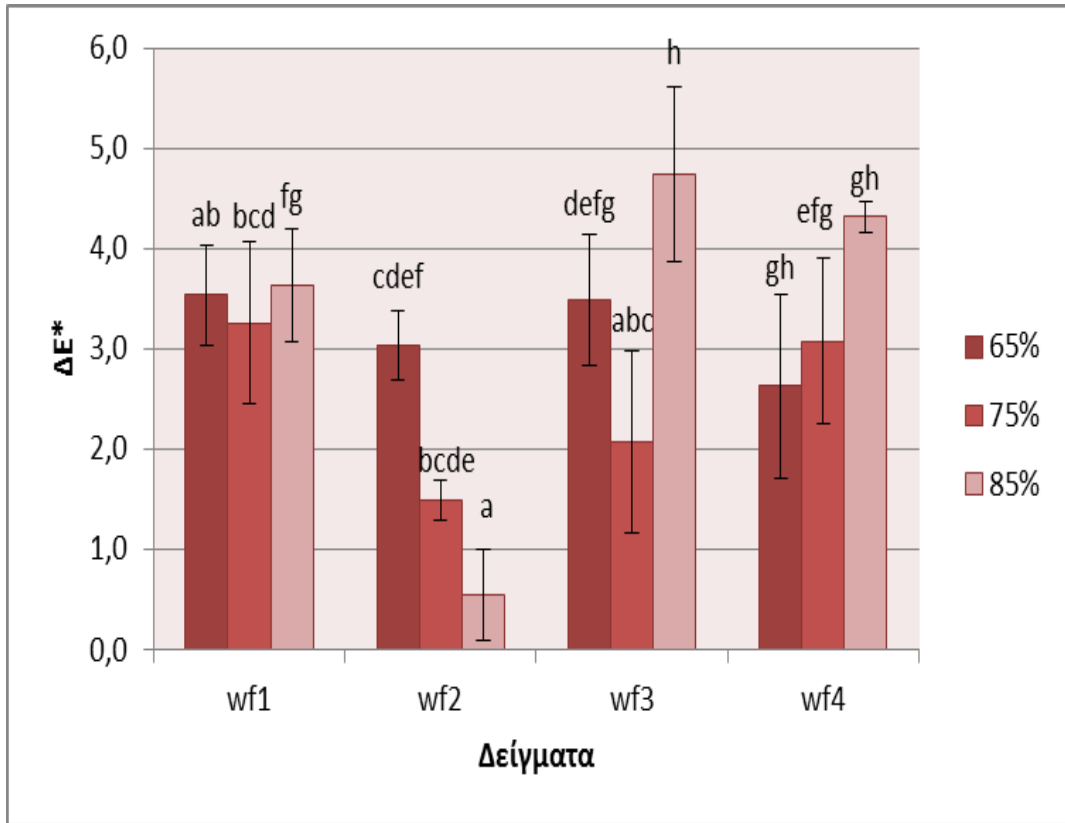
Διάγραμμα 5.7. L* παράμετρος του χρώματος Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά (P<0.05).



Διάγραμμα 5.8. a^* παράμετρος του χρώματος Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά ($P < 0.05$).



Διάγραμμα 5.9. b^* παράμετρος του χρώματος Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά ($P < 0.05$).

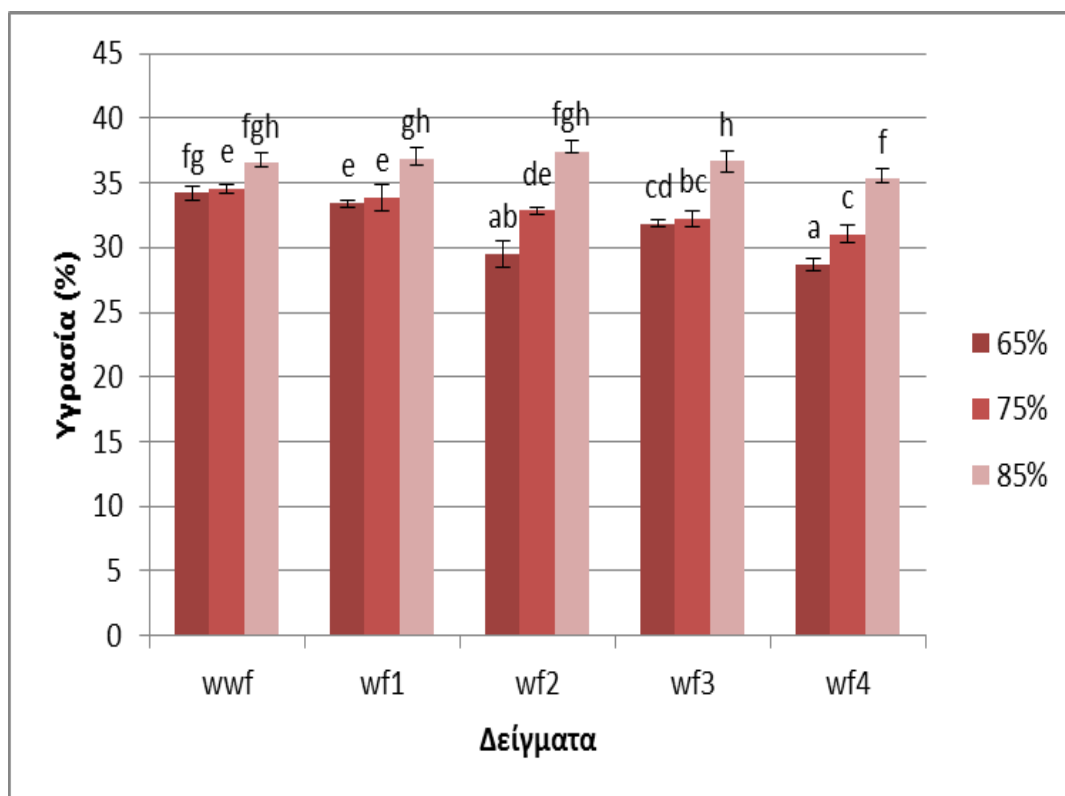


Διάγραμμα 5.10 . ΔΕ* διαφορά του χρώματος Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά (P<0.05).

5.2.4 Προσδιορισμός της υγρασίας

Η περιεκτικότητα σε υγρασία των ψωμιών παρουσιάζεται στο διάγραμμα 5.11 για όλες τις συνταγές που εφαρμόστηκαν στο συγκεκριμένο πείραμα. Όπως παρατηρούμε την υψηλότερη υγρασία παρουσίασαν τα δείγματα με περιεκτικότητα νερού 85% ,αν και στην απώλεια υγρασίας φαίνεται να έχουν χάσει αρκετό νερό τα συγκεκριμένα δείγματα ενώ χαμηλότερες τιμές είχαν τα δείγματα των 65% και 75% . Βλέπουμε λοιπόν πως η υγρασία του ψωμιού εξαρτάται από την περιεχόμενη ποσότητα νερού στη συνταγή αλλά και από την κοκκομετρία του αλεύρου αφού η υγρασία μειώνεται σε σχέση με το control στα δείγματα με τα πιο λεπτόκοκα άλευρα.

Αναλυτικότερα, παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό κατέχει το wf2_85% με 37,40% χωρίς να έχει μεγάλη διαφορά από τα υπόλοιπα ψωμιά της ίδιας περιεκτικότητας και το μικρότερο το δείγμα wf4_65% με 28,67 % .



Διάγραμμα 5.11 Περιεκτικότητα σε υγρασία Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά ($P < 0.05$).

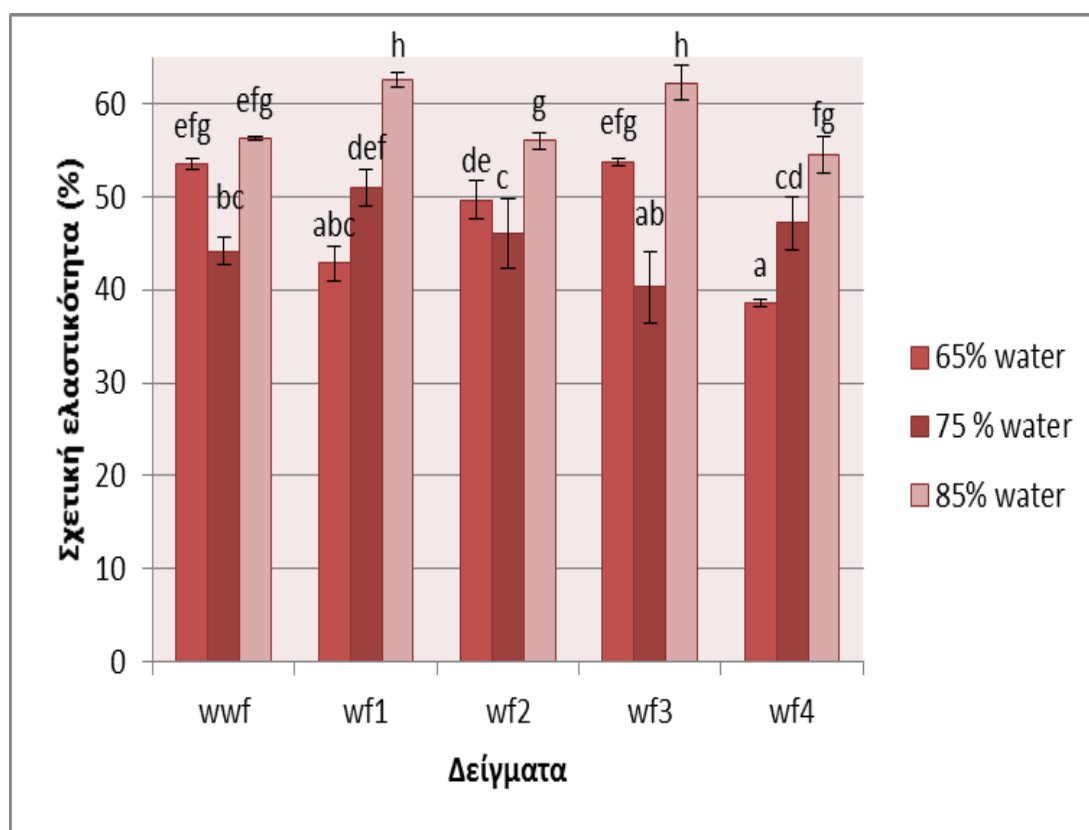
5.2.5 Προσδιορισμός της υψής της ψίχας

Η **σχετική ελαστικότητα** της ψίχας προήλθε από το καταγεγραμμένο διάγραμμα δύναμης-χρόνου και παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα 5.12 για

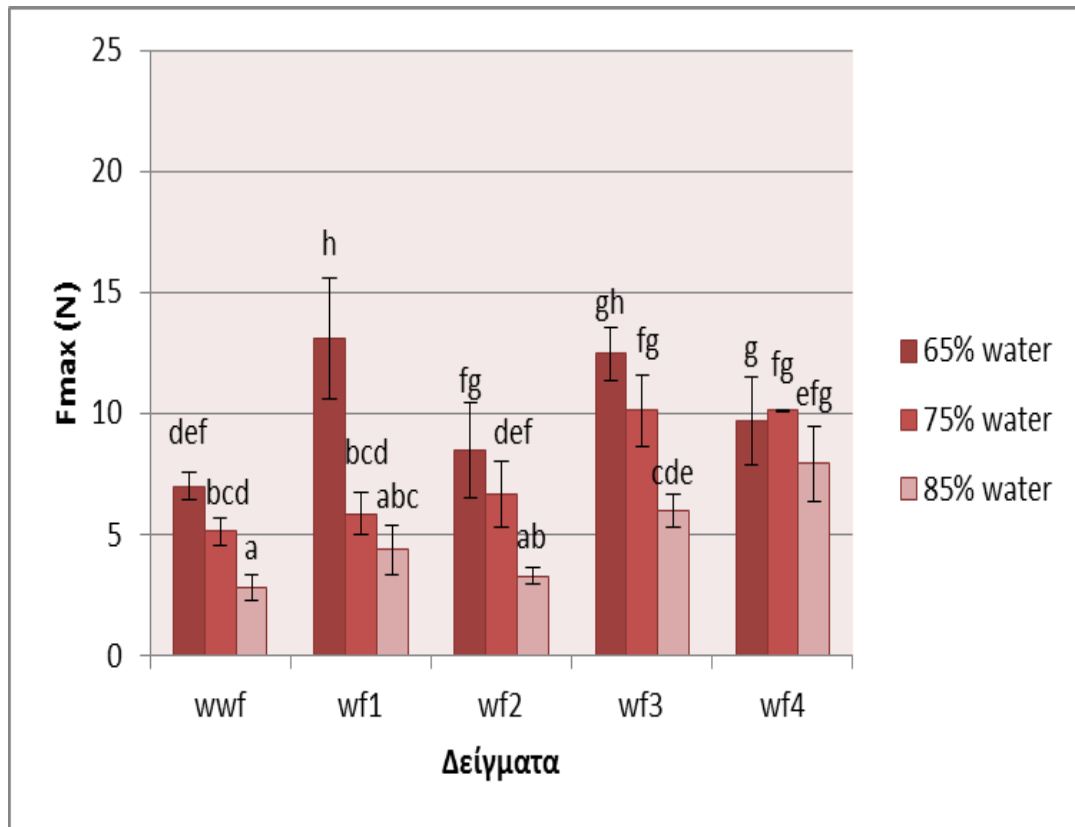
την προκειμένη περίπτωση. Φαίνεται λοιπόν ότι μεγαλύτερο ποσοστό έχουν τα ψωμιά περιεκτικότητας νερού 85% και μικρότερα ποσοστά καταγράφηκαν στα ψωμιά 75-65% .Μεγαλύτερο ποσοστό έχει το δείγμα wf1_85% με 62,58% ενώ μικρότερο ποσοστό έχει το wf4_65% με 38,51 %.

Εν συνεχεία, για την **Fmax** παρατηρούμε ότι μεγαλύτερη δύναμη χρειάστηκαν τα ψωμιά των 65% νερού με υψηλότερη αυτή του wf1_65% με 13,09 N ενώ μικρότερη δύναμη χρειάστηκε το wwf_85% με 2,82 N. (Διάγραμμα 5.13) Η Fmax αποτελεί τον δείκτη σκληρότητας αυτόματα λοιπόν αυτό τα χαρακτηρίζει σαν το σκληρότερο(wf1_65%) και το μαλακότερο ψωμί (wwf_85%).

Φαίνεται λοιπόν ότι η Fmax και η Σχετική ελαστικότητα συνδέονται σχεδόν αντιστρόφως ανάλογα. Επομένως, στα δείγματα που η Fmax έχει χαμηλές τιμές η σχετική ελαστικότητα είναι υψηλή δηλαδή στα πιο μαλακά ψωμιά υπάρχει μεγαλύτερη ελαστικότητα.



Διάγραμμα 5.12 Διάγραμμα σχετικής ελαστικότητας (REL) Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά ($P < 0.05$).

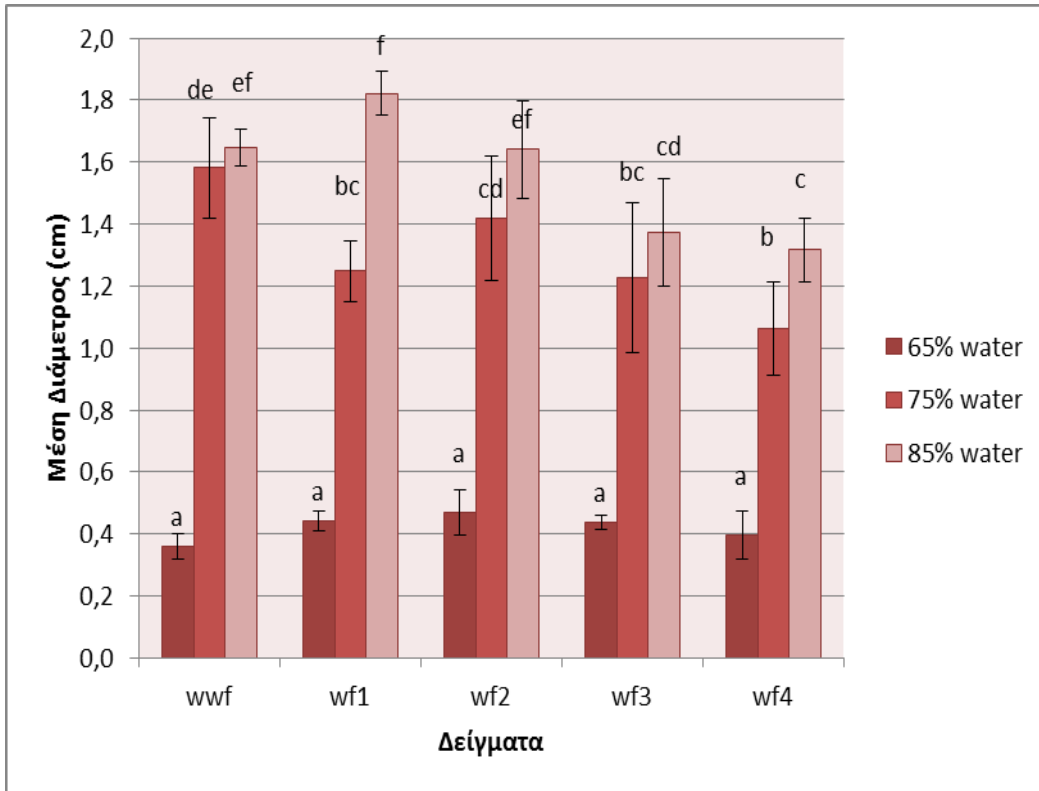


Διάγραμμα 5.13 Διάγραμμα δύναμης παραμόρφωσης (F_{max}) Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά ($P < 0.05$).

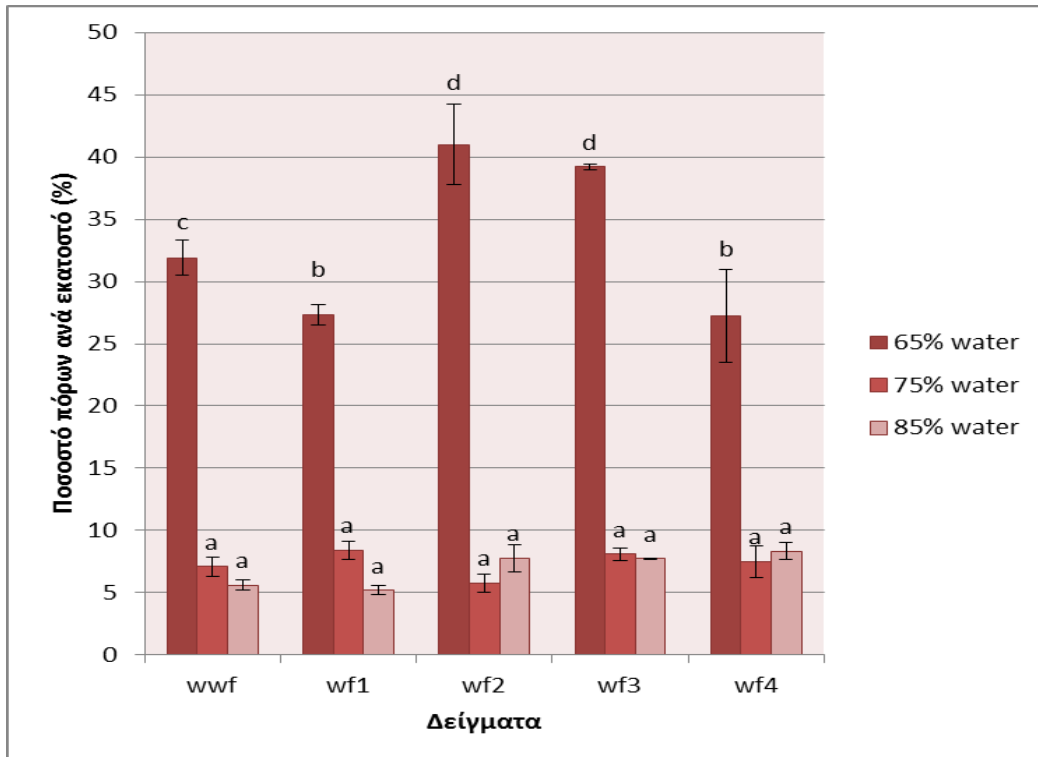
5.2.6 Μέτρηση του επιφανειακού πορώδους

Η μέση διάμετρος των πόρων παρουσιάζεται στο διάγραμμα 5.14, από αυτό προκύπτει πως η περιεκτικότητα νερού στα ψωμιά επηρεάζει την μέση διάμετρο καθώς τα δείγματα των 85% έχουν σαφώς μεγαλύτερη μέση διάμετρο από αυτά των 75 και 65% αντίστοιχα. Το wf1_85% έχει 1,82cm με την μεγαλύτερη τιμή και το wwf_65% έχει τη μικρότερη με 0,36cm μέση διάμετρο. Μικρές διαφοροποιήσεις παρατηρούνται στα ψωμιά περιεκτικότητας 65% νερού ενώ αρκετές διακυμάνσεις υπάρχουν στα δείγματα 75 και 85%.

Στο διάγραμμα 5.15 παρουσιάζεται το ποσοστό των πόρων ανά εκατοστό, μεγαλύτερα ποσοστά έχουν τα ψωμιά των 65% νερού και ακολουθούν τα 75% και 85% με μικρές διαφορές. Τα ψωμιά με περιεκτικότητα 65% είχαν πολύ μικρότερο ειδικό όγκο από αυτά των 75% και 85% οπότε είναι λογικό να έχουν και μικρότερους αλλά και περισσότερους πόρους ανά εκατοστό. Τα σωματίδια πιτύρου που υπάρχουν στο ψωμί ολικής άλεσης τείνουν να διασπών τις φυσαλίδες αερίου με αποτέλεσμα να έχουν μικρότερους πόρους (Edwards, 2007). Όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα 5.14 όμως δεν βλέπουμε να υπάρχει κάποια αύξηση του μεγέθους των πόρων στα μικροαλεσμένα άλευρα.



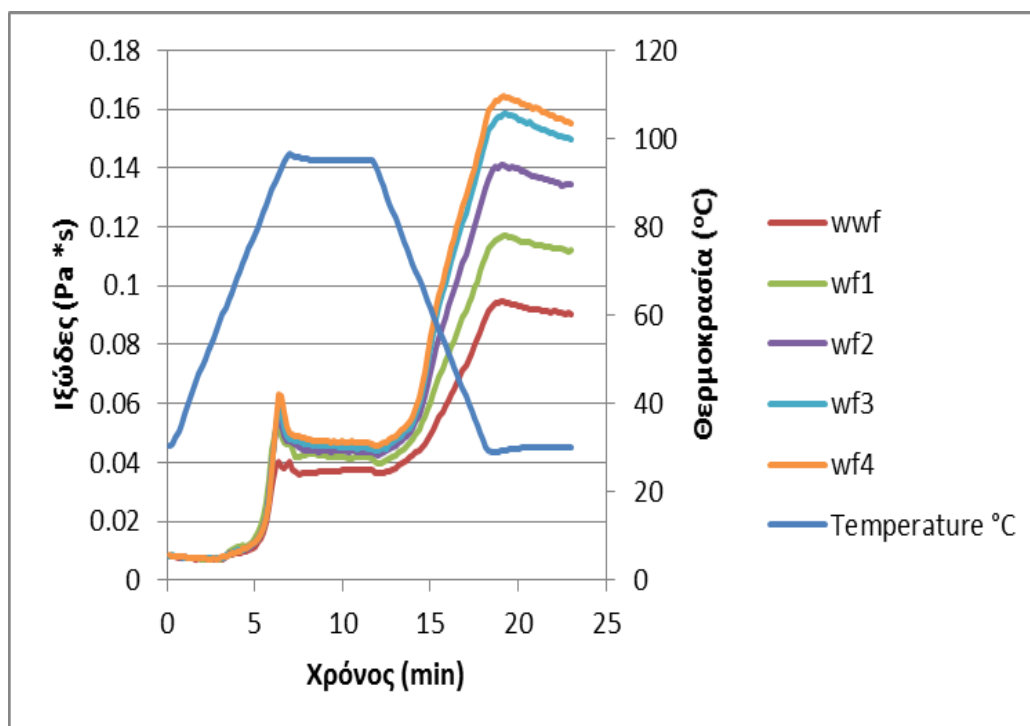
Διάγραμμα 5.14 Μέση διάμετρος των πόρων της ψίχας Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά ($P < 0.05$).



Διάγραμμα 5.15 Ποσοστό πόρων ανά εκατοστό (%) Διαφορετικά γράμματα ανά στήλη υποδηλώνουν σημαντική διαφορά ($P < 0.05$).

5.2.7 Ρεολογία ζύμης

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το ρεολογικό προφίλ της ζύμης και πως αντιδρά στις διάφορες θερμορρολογικές συνθήκες. Παρατηρούμε λοιπόν πως το ιξώδες αυξάνεται με την μείωση της κοκκομετρίας.



Διάγραμμα 5.16 Ρεολογικό προφίλ της ζύμης

Πίνακας 5.2 Ποιοτικοί παράμετροι ρεολογικών χαρακτηριστικών

Παράμετροι	wwf	wf1	wf2	wf3	wf4
GT	63,32 ±0,01 ^a	63,31±0,06 ^a	63,39±0,03 ^b	66,65±0,00 ^d	65,04±0,01 ^c
PV	0,04±0,00 ^a	0,05±0,00 ^b	0,06±0,00 ^c	0,06±0,00 ^c	0,06±0,00 ^c
HPV	0,04±0,00 ^a	0,04±0,00 ^a	0,04±0,00 ^a	0,04±0,00 ^a	0,04±0,01 ^a
CPV	0,09±0,01 ^a	0,11±0,00 ^b	0,13±0,01 ^c	0,15±0,00 ^d	0,15±0,00 ^d
PV-HPV	0	0,01	0,01	0,01	0,01

(PV-HPV)/PV	0,1	0,24	0,24	0,25	0,24
CPV-HPV	0,05	0,07	0,09	0,11	0,1
(CPV-HPV)/CPV	0,6	0,64	0,68	0,7	0,7

Οι τιμές GT, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, αναμένεται να κυμαίνονται μεταξύ 63-75°C (Arogas,2009). Παρατηρούμε ότι σ' όλα τα δείγματα η θερμοκρασία κατά την οποία αυξάνεται το ιξώδες κυμαίνεται από 63,32 έως 65,04°C. Επομένως παρατηρούμε ότι όσο μειώνεται η κοκκομετρία του αλεύρου αυξάνεται η θερμοκρασία κατά την οποία ξεκινά η αύξηση του ιξώδους αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι το άμυλο διαχωρίζεται από την πρωτεΐνη καλύτερα με την διαδικασία της άλεσης και απορροφά περισσότερο νερό οπότε αυξάνεται η θερμοκρασία ζελατινοποίησης στα μικροαλεσμένα άλευρα.

Όσον αφορά τη μεγαλύτερη τιμή του ιξώδους κατά τη διάρκεια της θέρμανσης, παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις έχοντας μία μικρή αύξηση όσο μικραίνει η κοκκομετρία από 0,4 στο 0,6.

Το PV είναι μεγαλύτερο από το HPV άρα υπάρχει κατάρρευση στη δομή. Ο δείκτης PV δείχνει πόση αμυλόζη εκλύεται οπότε όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του ιξώδους τόσο μεγαλύτερο θα είναι και το breakdown (PV-HPV). Αυτό συνδέεται και με τη μειωμένη διόγκωση των άρτων.

6. Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να διερευνηθεί η επίδραση της μικροάλεσης του αλεύρου σίτου ολικής προερχόμενο από μύλο άλεσης με πεπιεσμένο αέρα (jet mill) στα χαρακτηριστικά του αλεύρου, στην ρεολογική συμπεριφορά της ζύμης και στην ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Επιπλέον μελετήθηκε και η επίδραση της διαφορετικής περιεκτικότητας νερού στη συνταγή των ψωμιών (65-75-85%) στην ποιοτική αξιολόγηση του άρτου.

Συνοψίζοντας τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την μελέτη αυτή είναι τα ακόλουθα:

Σχετικά με τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του αλεύρου η κοκκομετρία επηρέασε την υγρασία και την ικανότητα συγκράτησης νερού ενώ δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στην περιεκτικότητα πρωτεΐνης και τέφρας. Πιο συγκεκριμένα :

- Η άλεση των αλεύρων και η μείωση της κοκκομετρίας μείωσε το ποσοστό υγρασίας των δειγμάτων σε σχέση με το control.
- Η ικανότητα συγκράτησης νερού αντίθετα αυξήθηκε στα δείγματα που είχαν υποστεί άλεση.
- Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και τέφρα δεν επηρεάστηκε από την κοκκομετρία των δειγμάτων.

Στον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του άρτου είδαμε ότι επιδρά τόσο η κοκκομετρία του αλεύρου όσο και η περιεκτικότητα νερού της εκάστοτε συνταγής. Αναλυτικότερα:

- Μεγαλύτερη απώλεια υγρασίας έχουν τα ψωμιά περιεκτικότητας 85% νερό χωρίς να παρατηρείται κάποια τάση στην κοκκομετρία μεταξύ των δειγμάτων.
- Ο ειδικός όγκος των ψωμιών μένει ανεπηρέαστος από την περιεκτικότητα νερού χωρίς να έχει κάποια τάση ενώ η κοκκομετρία του αλεύρου επηρεάζει τον ειδικό όγκο των ψωμιών καθώς τα ψωμιά που προέρχονται από αλεύρι μικρής κοκκομετρίας έχουν μικρότερη τιμή ειδικού όγκου.
- Οι παράμετροι του χρώματος L^* , a^* , b^* επηρεάστηκαν από την περιεκτικότητα νερού βγάζοντας συμπερασματικά ότι πιο φωτεινά πιο κόκκινα και πιο κίτρινα είναι τα δείγματα με περιεκτικότητα νερού 65 %.

- Η υγρασία του ψωμιού εξαρτάται από την περιεχόμενη ποσότητα νερού στη συνταγή αλλά και από την κοκκομετρία του αλεύρου αφού η υγρασία μειώνεται σε σχέση με το control στα δείγματα με τα πιο λεπτόκοκα άλευρα και είναι μεγαλύτερη σε αυτά που έχουν 85% νερό.
- Λιγότερη Fmax απαιτούν τα δείγματα 85% νερού και περισσότερη τα 65% δηλαδή η περιεκτικότητα σε νερό επηρεάζει την σκληρότητα καθώς τα ψωμιά που έχουν περισσότερο νερό είναι πιο μαλακά. Επίσης στα πιο μαλακά ψωμιά υπάρχει μεγαλύτερη ελαστικότητα.(REL%)
- Το επιφανειακό πορώδες επηρεάζεται από την περιεκτικότητα του νερού στην συνταγή, η μέση διάμετρος των πόρων ήταν μεγαλύτερη στα δείγματα με 85% νερό όπως και το ποσοστό των πόρων ανά εκατοστό ήταν μικρότερο στα δείγματα με 65% νερό.

Στην ρεολογία της ζύμης σημαντικό ρόλο έπαιξε η κοκκομετρία του αλεύρου:

- Το ιξώδες αυξήθηκε με την μείωση της κοκκομετρίας
- Αύξηση της θερμοκρασίας ζελατινοποίησης με μείωση της κοκκομετρίας
- Αύξηση του CPV στα μικροαλεσμένα άλευρα
- Αύξηση του breakdown

Η άλεση των αλεύρων δεν επίδρασε θετικά στην ποιότητα του άρτου. Ενδεχομένως η μικροάλεση στη γλουτένη να σπάει τα μακρομόρια και να μειώνει την αρτοποιητική ικανότητα

Μελέτες που θα μπορούσαν να γίνουν μελλοντικά αφορούν:

- Την επίδραση της ανάμιξης και των συνθηκών επώασης στην ποιότητα του άρτου
- Την επίδραση της μικροάλεσης μόνο στα πύτυρα ,να γίνει διαχωρισμός δηλαδή του αμύλου από τα υπόλοιπα συστατικά ώστε να μην επηρεάζεται η συνένωση αμύλου/πρωτεΐνης

7.Βιβλιογραφία

1. .Adebowale Dr.A.A., (2014). Food science and technology-lecture notes. Federal university of agriculture, Abeokuta.
2. American Association of Cereal Chemists (AACC) International Approved Methods -AACC Method 74-09.01, Measurement of Bread Firmness by Universal Testing Machine(2000)
3. American Association of Cereal Chemists. (2000). Approved Methods of the AACC, 10th ed. The Association, St. Paul, MN.
4. AOAC International. (2000). Official Methods of ANALYSIS of AOAC International, 17th ed. The Association, Gaithersburg, MD.
5. AOAC Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists Method 935.36 moisture content determination(1990)
6. Arocas A,. Sanz T *, Fiszman S.M. (2009) Clean label starches as thickeners in white sauces. Shearing, heating and freeze/thaw stability Food Hydrocolloids 23 2031–2037
7. Belitz, H.D., Grosch, W., Schieberle, P., (2004). Food Chemistry, 3rd Revised Edition. Springer – Verlag Berlin Heidelberg New York. Posner, 2003
8. Cauvain, S.P. (2001a) Breadmaking. In: *Cereal Processing Technology*
9. Cauvain, S.P. and Young, L.S. (2000). Bakery Food Manufacture and Quality: Water Control and Effects. Blackwell Science, Oxford.
10. Cauvain, S.P. and Young, L.S. (2000).Technology of Breadmaking
11. Chamayou, A., & Dodds, A.J., (2007). Air jet milling. In Salman D.S., Ghadiri M., & Hounslow J.M. (Ed.) Handbook of Powder Technology, Particle Breakage Vol 12 (pp 421-435).
12. D.P. Pühr, B.L. D’Appolonia (1992), Effect of baking absorption on bread yield, crumb moisture and crumb water activity Cereal Chemistry, 69 (5) pp. 582–586
13. Doblado- Maldonado, A.F., Pike, O.A., Sweley, J.C., Rose, D.J. (2012). Key issues and challenges in whole wheat flour milling and storage. Journal of Cereal Science, 56, 119-126.
14. Edwards W. P., (2007). Bardfield Consultants, Braintree, Essex, UK, The Science of Bakery Products, Published by The Royal Society of Chemistry, ISBN: 978-0-85404-486-3.

15. Feifei L., Xiansheng Z., Hanxue H., Haizhou D., Jinli Z. and Chenqi L., (2012). Effects of debranning and ultra-fine grinding on the quality of flour and cookies from blue wheat. *African Journal of Biotchnology*. Vol. 11(44), 10232-10241
16. Grundas, S.T. (2003). Wheat: The crop. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)*, Editor-in-Chief: B. Caballero, Eds: L. Trugo and P.M. Finglas, pp. 6130–6137.
17. Hayman, D.A., Hosenev, R.C., Faubion, J.M., (1998). Effect of pressure (crust formation) on bread crumb grain development. *Cereal Chemistry* 75 (5), 577–580.
18. Heng P:W:S;, Chern L:W:;, Lee C:C, (2000). Ultrafine grinding using a fluidized bed opposed jet mill: effect of process parameters on the size distribution of milled particles. *S.T.P. Pharma Sciences* 10, 445- 451.
19. Hosenev, R.C. (1994). *Principles of Cereal Science and Technology*. 2nd Ed. American Association of Cereal Chemists: St. Paul, MN. Pp 1- 30
20. Létang, C., Samson, M.F., Lasserre, T.M., Chaurand, M., Abecassis, J., (2002). Production of starch with very low protein content from soft and hard wheat flours by jet milling and air classification. *Cereal Chem.* 79 (4), 535–543.
21. Lilei Yu, Anne-Laure Nanguet and Trust Beta, (2013). Comparison of Antioxidant Properties of Refined and Whole Wheat Flour and Bread, ISSN 2076-3921
22. Manley D, Pareyt B., & Delcour J.A., (2011). Wheat flour and vital wheat gluten as biscuit ingredient. In Manley D. (Ed.). *Manley's technology of biscuits, crackers and cookies* (pp 109–33). UK: Woodhead Publishing. Cambridge
23. Marsh, D. (1998) Mixing and dough processing. In: *Technology of Breadmaking* (eds S.P. Cauvain and L.S. Young), pp. 81–119. Blackie Academic & Professional, London.
24. Mirsaeedghazi, H., Z. Emam-Djomeh and S.M.A. Mousavi, (2008). Rheometric measurement of dough rheological characteristics and factors affecting it. *Int. J. Agri. Biol.*, 10: 112–119
25. Owens G, .(2000) In: *Technology of Breadmaking* (eds S.P. Cauvain and L.S. Young) Blackie Academic & Professional, London
26. Pauly A., Pareyt B, Fierens E., & Delcour J.A., (2013). Wheat (*Triticum aestivum* L. and *T. turgidum* L. ssp. *durum*) Kernel Hardness: II. Implications for End-Product Quality and Role of Puroindolines There. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(4), 427–438

27. Polaki A., Xasapis P., Fasseas C., Yanniotis S., Mandala I. (2010). "Fiber and hydrocolloid content affect the microstructural and sensory". *Journal of Food Engineering*. 97: 1-7.
28. Protonotariou S. , Mandala I., Rosell M. C. (2015). Jet Milling Effect on Functionality, Quality and In Vitro Digestibility of Whole Wheat Flour and Bread Food Bioprocess Technol 1319–1329
29. Protonotariou S., Drakos A., Evageliou V., Ritzoulis C., Mandala I., (2014). Sieving fractionation and jet mill micronization affect the functional properties of wheat flour. *Journal of Food Engineering*, 134, 24–29.
30. Pühr D. P. & D'apponia B. L, (1992) Effect of Baking Absorption on Bread Yield, Crumb Moisture, and Crumb Water Activity. *Cereal chemistry* 69(5):582-586
31. Rasper, V.F., (1993). Dough rheology and physical testing of dough. In: Kamel, B.S. and C.E. Stauffer (eds) *Advances in Baking Technology*, pp: 107–29. VCH Publishers, New York
32. Scanlon, M.G., Zghal, M.C., (2001). Bread properties and crumb structure. *Food Research International* 34, 841–864.
33. Schoenlechner R., Mandala I., Kiskini A., Kostaropoulos A., Berghofer E. (2010). "Effect of water, albumen and fat on the quality of gluten free bread containing amaranth". *International Journal of Food Science and Technology*. 45: 661–669.
34. Shewry, P. R., Napier, J.A., Tatham, A. S. (1995). Seed storage proteins: structures and biosynthesis. *The Plant Cell* 7, 945-956
35. Singh, H., and MacRitchie, F. (2001). Application of polymer science to properties of gluten. *Journal of Cereal Science* 33, 231-243
36. Stanley P. Cauvain and Linda S. Young -(2006) *BakeTran, High- Baked Products: Science, Technology and Practice*
37. Wiggins, C. (1998) Proving, baking and cooling. In: *Technology of Breadmaking* (eds S.P. Cauvain and L.S. Young), pp. 120–48. Blackie Academic & Professional, London.
38. Zohary , . In: *Technology of Breadmaking* (eds S.P. Cauvain and L.S. Young) Blackie Academic & Professional, London.
39. Π.Ο.Ε.Σ.Ε. (Πανελλήνια Ομοσπονδία Εστιατορικών & συναφών Επαγγελματιών), (2005.) Κεφάλαιο 5, «Άλευρα - Αλευρόμυλοι – Ζυμαρικά», Άρθρο 100, "Τύποι και κατηγορίες αλεύρων", σελ. 1.4