



**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΑΡΤΩΝ ΧΩΡΙΣ ΓΛΟΥΤΕΝΗ: ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΤΗΣ ΠΙΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΑΓΗΣ

**ΘΕΟΔΩΡΑΚΗ ΜΑΡΙΑΝΘΗ Α.Μ. 3952
ΜΠΟΥΜΠΑ ΑΠΟΣΤΟΛΙΑ Α.Μ. 3898**

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΚΑΡΑΣΤΟΓΙΑΝΝΙΔΟΥ ΚΑΛΛΙΟΠΗ, ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2017

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την καθηγήτριά μας, κυρία Καλλιόπη Καραστογιαννίδου για τη διαθεσιμότητά της, την αφιέρωση πολύτιμου χρόνου, την καλή της διάθεση και την υπομονή της κατά τη διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής εργασίας μας, όπως επίσης και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή της για την καλύτερη έκβαση της προσπάθειάς μας.

Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε τον κύριο Αθανάσιο Κόκκαλη, ο οποίος μας έδωσε τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε για τις παρασκευές μας το Εργαστήριο Σιτηρών του τμήματός του και μας προσέφερε τις πολύτιμες γνώσεις του.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζουμε στους γονείς μας, οι οποίοι μας στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας με ποικίλους τρόπους, φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωσή μας.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε για την παραχώρηση του Εργαστηρίου Παρασκευής Τροφίμων και του Εργαστηρίου Οργανικής Χημείας Τροφίμων του Τμήματος Διατροφής και Διαιτολογίας για τις ανάγκες της εργασίας μας, καθώς και όλους τους ανώνυμους συμμετέχοντες των ερωτηματολογίων που συνέβαλλαν στην εργασία αυτή.

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ-ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

1. Πηγές αλεύρων χωρίς γλουτένη	5
2. Διαγραμματική απεικόνιση της πειραματικής διαδικασίας	18
3. Διάγραμμα ροής της αρτοποιήσης	27
4. Εξίσωση προσδιορισμού της εκατοστιαίας υγρασίας	34
5. Ωρίμανση δειγμάτων αρτοποιήσης στο φούρνο	37
6. Σύγκριση ύψους των ψωμιών των 6 διαφορετικών συνταγών	38
7. Εκατοστιαία απώλεια υγρασίας κατά το ψήσιμο	39
8. Ειδικός όγκος ψωμιού για κάθε δείγμα	41
9. Εκατοστιαία απόδοση ζύμης σε ψωμί για κάθε δείγμα	42
10. Περιεκτικότητα υγρασίας (%) στα 6 δείγματα κατά τη διάρκεια των τριών μερών αποθήκευσης (D+1 – D+3)	52
11. Περιεκτικότητα υγρασίας (%) των δειγμάτων την D+1	54
12. Περιεκτικότητα υγρασίας (%) των δειγμάτων την D+2	55
13. Περιεκτικότητα υγρασίας (%) των δειγμάτων την D+3	55
14. Διάγραμμα της συνολικής αρέσκειας των αρτοσκευασμάτων	61

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

1. Ενδεικτικά τρόφιμα με και χωρίς γλουτένη	6
2. Βασική συνταγή για τα ψωμιά χωρίς γλουτένη	24
3. Σήμανση δειγμάτων με το αρχικό του πλεονάζοντος αλεύρου	25
4. Ωρίμανση στο φούρνο σε cm των 6 ειδών ψωμιού	36
5. Ύψος της φέτας του ψωμιού από κάθε δείγμα	37
6. Υγρασία (g) και υγρασία (%) που χάθηκε κατά το ψήσιμο	38
7. Ειδικός όγκος ψωμιού για κάθε δείγμα	40
8. Απόδοση της ζύμης (%) κάθε δείγματος	41
9. Μετρήσεις βάρους και υπολογισμός υγρασίας (g και %) του δείγματος 1 μετά από διαδοχικές ξηράνσεις στο διάστημα D+1 – D+3	49
10. Μετρήσεις βάρους και υπολογισμός υγρασίας (g και %) του δείγματος 2 μετά από διαδοχικές ξηράνσεις στο διάστημα D+1 – D+3	49
11. Μετρήσεις βάρους και υπολογισμός υγρασίας (g και %) του δείγματος 3 μετά από διαδοχικές ξηράνσεις στο διάστημα D+1 – D+3	50
12. Μετρήσεις βάρους και υπολογισμός υγρασίας (g και %) του δείγματος 4 μετά από διαδοχικές ξηράνσεις στο διάστημα D+1 – D+3	50
13. Μετρήσεις βάρους και υπολογισμός υγρασίας (g και %) του δείγματος 5 μετά από διαδοχικές ξηράνσεις στο διάστημα D+1 – D+3	51
14. Μετρήσεις βάρους και υπολογισμός υγρασίας (g και %) του δείγματος 6 μετά από διαδοχικές ξηράνσεις στο διάστημα D+1 – D+3	51
15. Περιεκτικότητα υγρασίας (%) της ψίχας κατά τη διάρκεια τριών ημερών αποθήκευσης (D+1 - D+3) για κάθε δείγμα	52
16. Μέση βαθμολογία των 29 δοκιμαστών στα διάφορα χαρακτηριστικά του ψωμιού για κάθε δείγμα	56

17. Μέση βαθμολογία των 29 δοκιμαστών για κάθε δείγμα ψωμιού όσο αφορά την προσωπική τους αρέσκεια	60
--	----

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

1. Μορφή των λαχνών του εντερικού βλεννογόνου με και χωρίς κοιλιοκάκη	3
2. Εισαγωγή των δειγμάτων στο φούρνο για ψήσιμο	26
3. Δείγματα 1g ψίχας από κάθε συνταγή έτοιμα προς ξήρανση	35
4. Φέτες από κάθε δείγμα	45
5. Απεικόνιση των καρβελιών από κάθε συνταγή	47

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	ii
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ-ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	iii
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	iii
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	iv
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ABSTRACT	2
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΟΙΛΙΟΚΑΚΗΣ	3
1.2. Η ΓΛΟΥΤΕΝΗ ΣΤΗΝ ΑΡΤΟΠΟΙΗΣΗ	4
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	7
2.1. ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ ΑΛΕΥΡΩΝ ΓΙΑ ΨΩΜΙ ΧΩΡΙΣ ΓΛΟΥΤΕΝΗ	7
2.2. ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΠΟΥ ΒΟΗΘΟΥΝ ΤΗΝ ΑΡΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΥΣΙΑ ΓΛΟΥΤΕΝΗΣ	7
2.2.1. Αυγά	8
2.2.2. Μαγιά	8
2.2.3. Κόμμα ξανθάνης	9
2.2.4. Μπέικιν πάουντερ	10
2.2.5. Λιπαρά	11
2.2.6. Ξύδι	12
2.2.7. Σάκχαρα	12
2.2.8. Αλάτι	13
2.2.9. Νερό	13
2.2.10. Άλευρο ρυζιού	14
2.2.11. Άλευρο και άμυλο αραβοσίτου	14
2.2.12. Άλευρο σόγιας	15
2.3. ΣΤΑΔΙΑ ΑΡΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	15
3. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	16
3.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	16
3.2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	17
3.2.1. ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	17

3.2.2. ΑΡΤΟΠΟΙΗΣΗ	19
3.2.2.1. Συνταγές	19
3.2.2.2. Διαμόρφωση συνταγής – χρησιμότητα υλικών	22
3.2.2.3. Διαμόρφωση των ποσοστών προσθήκης στις συνταγές	23
3.2.2.4. Σήμανση δειγμάτων	24
3.2.2.5. Περιγραφή διαδικασίας αρτοποιήσης (D+0)	25
3.2.2.6. Περιορισμοί κατά την αρτοποιήση (D+0)	28
3.2.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΖΥΜΗΣ ΚΑΙ ΨΩΜΙΟΥ	29
3.2.3.1. Ωρίμανση στο φούρνο	29
3.2.3.2. Αύξηση της ζύμης προς ψωμί (ύψος ψωμιού)	30
3.2.3.3 Απώλεια υγρασίας κατά το ψήσιμο	30
3.2.3.4. Όγκος και ειδικός όγκος ψωμιού	30
3.2.3.5. Απόδοση ζύμης	31
3.2.4. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.....	31
3.2.5. ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ (D+1)	31
3.2.5.1. Περιγραφή των ερωτηματολογίων	32
3.2.6. ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ	33
3.2.7. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ (D+1 – D+3)	33
3.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	36
3.3.1. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΖΥΜΗΣ ΚΑΙ ΨΩΜΙΟΥ (D+0)	36
3.3.1.1. Ωρίμανση στο φούρνο	36
3.3.1.2. Αύξηση της ζύμης προς ψωμί (ύψος ψωμιού)	37
3.3.1.3. Απώλεια υγρασίας κατά το ψήσιμο	38
3.3.1.4. Ειδικός όγκος ψωμιού	40
3.3.1.5. Εκατοστιαία Απόδοση ζύμης σε ψωμί	41
3.3.2. ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΟΡΑΣ ΚΑΙ ΨΙΧΑΣ	42
3.3.2.1. Δυσκολίες κατά την κοπή των καρβελιών (D+1)	42
3.3.2.2. Δομή και υφή κόρας και ψίχας (D+1)	43
3.3.2.3. Μακροσκοπικός Έλεγχος την D+3	48
3.3.3. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ (D+1 – D+3)	48
3.3.4. ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ – ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	56

3.3.4.1. Αποτελέσματα από την αξιολόγηση τεχνολογικών χαρακτηριστικών.....	56
3.3.4.2. Αποτελέσματα από τη Δοκιμή Αρέσκειας	60
3.4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	62
3.5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	70
3.5.1. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΙΔΑΝΙΚΟΤΕΡΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΑΛΕΥΡΩΝ	71
3.6. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	73
4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	75
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	82
A.1. ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ	83
A.2. ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΑΡΕΣΚΕΙΑΣ	86
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	87
B.1. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ	88
B.2. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΤΩΝ ΚΑΡΒΕΛΙΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΑΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΤΟΠΟΙΗΣΗ	90
B.3. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΤΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ	91

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε με σκοπό την παρασκευή και αξιολόγηση άρτων που περιέχουν διάφορες αναλογίες αλεύρων χωρίς γλουτένη. Για την παρασκευή χρησιμοποιήθηκαν άλευρο και άμυλο αραβοσίτου, άλευρο ρυζιού και άλευρο σόγιας, καθώς και έτοιμο μίγμα αλεύρων χωρίς γλουτένη του εμπορίου. Επίσης, παρασκευάστηκε ψωμί με γλουτένη ως μάρτυρας, με αλεύρι γενικής χρήσης. Για τον εντοπισμό διαφορών στα χαρακτηριστικά των ψωμιών έγινε ποιοτική αξιολόγηση και μετρήθηκαν η ωρίμανση στο ψούρνο, το ύψος του ψωμιού, η απώλεια υγρασίας, ο ειδικός όγκος και η απόδοση ζύμης. Για τις επόμενες τρεις ημέρες τα ψωμιά αποθηκεύτηκαν και παρακολούθηθηκε η πορεία της υγρασίας τους. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε οργανοληπτική αξιολόγηση των ψωμιών από 29 μη εκπαιδευμένους δοκιμαστές, οι οποίοι κλήθηκαν να αξιολογήσουν τα χαρακτηριστικά εμφάνιση, χρώμα κόρας, χρώμα ψίχας, ομοιομορφία χρωματισμού κόρας, ομοιομορφία πορώδους ψίχας, ελαστικότητα ψίχας, ευθρυπτότητα, άρωμα, γεύση, συνεκτικότητα ψίχας, τραγανότητα ψίχας, σκληρότητα, δυσκολία μάσησης και συνολική αποδεκτότητα. Η διαδικασία ολοκληρώθηκε με ένα ερωτηματολόγιο αρέσκειας. Τέλος, με τη βοήθεια στατιστικής επεξεργασίας προσδιορίστηκε η σημαντικότητα των επιδράσεων των σχεδιαστικών παραμέτρων στις επιμέρους ιδιότητες των δειγμάτων ψωμιού. Τα ευρήματα έδειξαν υπεροχή του μάρτυρα στον ειδικό όγκο του ψωμιού, μεγαλύτερη διατηρησιμότητα της υγρασίας της ψίχας με τη χρήση μεγαλύτερης αναλογίας αλεύρου σόγιας και εξωτερική εικόνα όμοια με του μάρτυρα με την προσθήκη ίσων αναλογιών αλεύρων. Στατιστική διαφορά του μάρτυρα από τα δείγματα χωρίς γλουτένη παρατηρήθηκε μόνο στη γεύση και την ελαστικότητα ψίχας. Η μεγαλύτερη ποσότητα αλεύρου σόγιας συνετέλεσε στην πιο επιθυμητή ευθρυπτότητα και συνεκτικότητα ψίχας και η μεγαλύτερη αναλογία αλεύρου καλαμποκιού στην πιο επιθυμητή σκληρότητα, άρωμα, συνολική αποδεκτότητα και αρέσκεια.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: ψωμί χωρίς γλουτένη, αρτοποιήση, κοιλιοκάκη, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, αρέσκεια, αποδεκτότητα, τεχνολογικά χαρακτηριστικά άρτου.

ABSTRACT

The aim of the present study was to prepare and evaluate breads containing various ratios of gluten-free flours. Corn flour and starch, rice flour and soy meal, as well as a ready mix of commercial gluten-free meal, were used for the preparation. Also, bread with gluten as control sample, was prepared using flour for general use. In order to identify differences in the characteristics of the breads, a qualitative assessment was conducted and maturation in the oven, bread height, moisture loss, specific volume and yield of the dough were measured. For the next three days the breads were stored and the course of their moisture was monitored. In addition, organoleptic evaluation of the breads was performed by 29 unqualified testers, who were asked to evaluate the following characteristics: appearance, crust color, crumb color, uniformity of crust coloring, uniformity of the crumb porosity, crumb elasticity, friability, flavor, crumb consistency, crumb crispiness, hardness, chewing difficulty and overall acceptability. The process was completed with a likeness questionnaire. Finally, by means of statistical processing, the significance of the effects of the design parameters on the individual properties of the bread samples was determined. The findings showed control superiority in the specific volume of the bread, higher crumb moisture maintenance using a higher soybean meal ratio and an external image similar to that of the control with the addition of equal proportions of flours. Statistical difference between the control and the gluten-free samples was observed only in flavor and crumb elasticity. The largest amount of soy flour showed the most desirable friability and cohesiveness of crumb and the highest proportion of corn flour, the most desirable hardness, aroma, overall acceptability and liking.

KEY WORDS: gluten free bread, bread making, celiac disease, organoleptic characteristics, liking, acceptability, bread technological characteristics.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΟΙΛΙΟΚΑΚΗΣ

Η γλουτένη αποτελεί δομικό στοιχείο και πρωτεϊνικό κλάσμα στο σιτάρι, τη σίκαλη, το κριθάρι, και τη βρώμη. Ωστόσο, μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα υγείας σε ανθρώπους με προδιάθεση, που δεν έχουν τη δυνατότητα να τη μεταβολίσουν στην γαστρεντερική τους οδό. Η κοιλιοκάκη, μία αυτοάνοση εντεροπάθεια, που προκαλείται από την κατανάλωση γλουτένης σε γενετικά ευαίσθητα άτομα, είναι μια χρόνια φλεγμονή του εντέρου που προκαλείται από την κατανάλωση γλουταμίνης και της πρωτεΐνης προλίνης, η οποία οδηγεί σε πεπλατυσμένο βλεννογόνο των λαχνών και προκαλεί βλάβη στο λεπτό έντερο. Τα άτομα με κοιλιοκάκη δεν μπορούν να καταναλώσουν γλουτένη. Η νόσος μπορεί να προκαλέσει μακροχρόνια πεπτικά προβλήματα και να παρεμποδίσει την πρόσληψη των απαραίτητων θρεπτικών συστατικών. Η μόνη θεραπεία για την ασθένεια αυτή είναι να ακολουθήσει το άτομο μια δια βίου δίαιτα χωρίς γλουτένη, διευκολύνοντας την ανάκαμψη του βλεννογόνου (Catassi & Fasano, 2008). Τα συμπτώματα της κοιλιοκάκης περιλαμβάνουν πεπτικές διαταραχές ή άλλα συμπτώματα. Οι πεπτικές διαταραχές είναι πιο συχνές στα παιδιά από τους ενήλικες. Μερικά άτομα με κοιλιοκάκη όμως δεν έχουν συμπτώματα. Στα κλασικά συμπτώματα περιλαμβάνονται διάρροια, απώλεια βάρους, φούσκωμα, αέρια, αναιμία. Οι ενήλικες, σε αντίθεση με τα παιδιά, είναι λιγότερο πιθανό να έχουν πεπτικά συμπτώματα και αντ' αυτού μπορεί να έχουν ένα ή περισσότερα από τα παρακάτω:

- Ανεξήγητη σιδηροπενική αναιμία
- Κόπωση
- Πόνο στα κόκαλα ή στις αρθρώσεις
- Αρθρίτιδα
- Οστική απώλεια ή οστεοπόρωση
- Κατάθλιψη ή άγχος
- Μούδιασμα και μυρμήγκιασμα στα χέρια και τα πόδια
- Κρίσεις
- Απώλεια εμμήνου ρύσεως
- Υπογονιμότητα ή διαλείπουσες αποβολές
- Πληγές από έλκη στο εσωτερικό του στόματος
- Κνησμώνδες, δερματικό εξάνθημα που ονομάζεται ερπητοειδής δερματίτιδα.



Εικόνα 1. Μορφή των λαχνών του εντερικού βλεννογόνου σε υγιές άτομο (αριστερά) και σε άτομο με χρόνια κοιλιοκάκη σε έξαρση (δεξιά) (ADA, 2009)

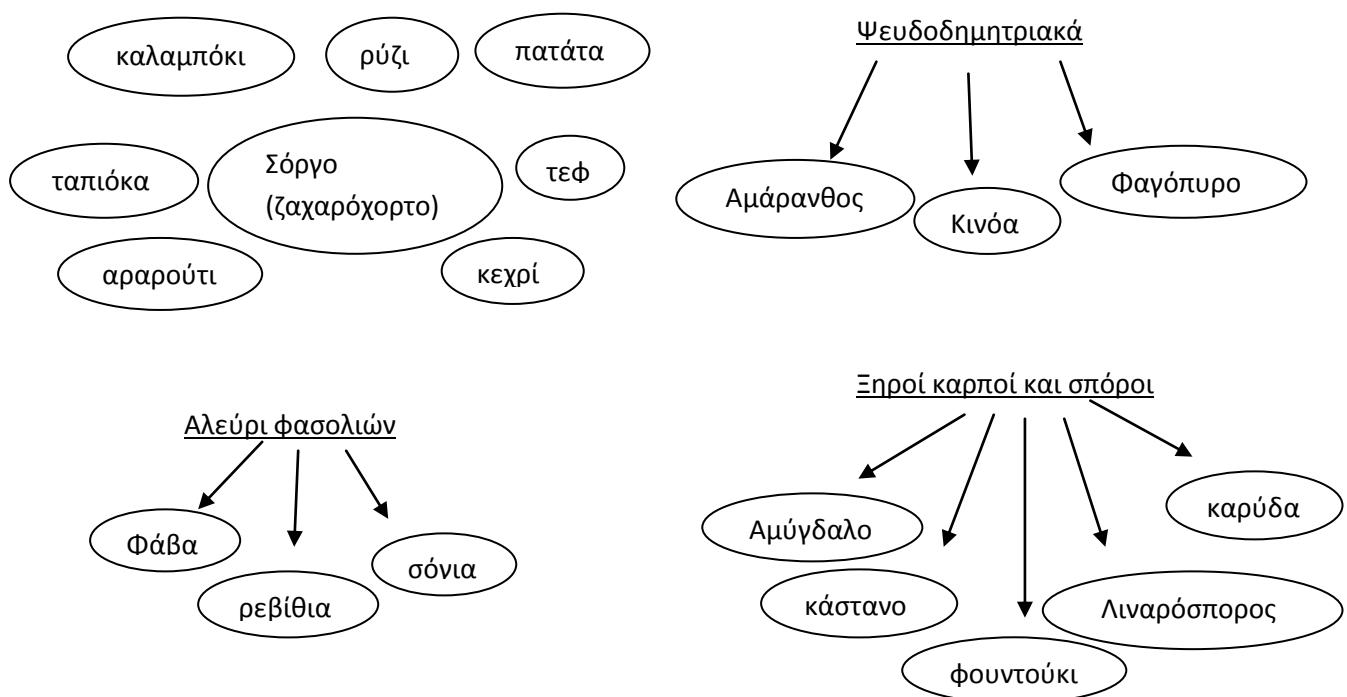
Η κοιλιοκάκη μπορεί να διαγνωσθεί με μελέτη του ιατρικού και οικογενειακού ιστορικού, κλινική εξέταση, εξετάσεις αίματος, βιοψία εντέρου, βιοψία δέρματος και γενετικές εξετάσεις. Η θεραπεία της κοιλιοκάκης ξεκινά με τη συνταγογράφηση από τον ειδικό μιας δίαιτας χωρίς γλουτένη και συνήθως τα συμπτώματα βελτιώνονται σημαντικά όταν ακολουθείται μια δίαιτα χωρίς γλουτένη. Ένας διαιτολόγος μπορεί να διδάξει στους πάσχοντες πώς να αποφεύγουν τη γλουτένη, ακολουθώντας παράλληλα μια υγιεινή και θρεπτική διατροφή (NIDDK (NIH), 2016).

1.2. Η ΓΛΟΥΤΕΝΗ ΣΤΗΝ ΑΡΤΟΠΟΙΗΣΗ

Από την άλλη πλευρά, πέρα από την επίδραση στους ευπαθείς πληθυσμούς, η γλουτένη έχει τεχνολογικό ενδιαφέρον καθώς αποτελεί μία απαραίτητη δομική πρωτεΐνη, που συμβάλλει στην εμφάνιση, τη δομή ψίχας και στην αποδεκτότητα από τον καταναλωτή πολλών αρτοποιημάτων (Arendt *et al.*, 2008). Η λειτουργικότητα της πρωτεΐνης της γλουτένης είναι σημαντική για την ποιότητα του ψωμιού και οι διαφορές στα χαρακτηριστικά των πολλών ποικιλιών άρτων εξαρτώνται από την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη γλουτένης. Η παρασκευή ψωμιού χωρίς γλουτένη είναι ένας σχετικά νέος, αναδυόμενος ερευνητικός τομέας που προσελκύει παγκόσμια προσοχή προκειμένου να αναπτυχθούν διάφορα είδη ψωμιού χωρίς γλουτένη, συμπεριλαμβανομένων των τοπικών ποικιλιών άρτων. Η ανάπτυξη ψωμιού χωρίς γλουτένη θεωρείται ότι έγκειται τεχνολογικές δυσκολίες και αποτελεί τεχνολογική πρόκληση λόγω του βασικού ρόλου της γλουτένης στη διαδικασία παρασκευής ψωμιού και στη δομή, την εμφάνιση, την υφή, και τη διάρκεια ζωής του. Η απουσία γλουτένης έχει αντίκτυπο στο σχηματισμό των κυττάρων, στα χαρακτηριστικά ψίχας και κρούσας, στον όγκο, στο πορώδες, στις παραμέτρους ποιότητας, την αίσθηση στο στόμα και τη γεύση. Τα ψωμιά χωρίς γλουτένη είναι κυρίως γνωστά για την χαμηλότερη ποιότητά τους σε σύγκριση με τα ψωμιά σιταριού. Η ζύμη τους έχει μια μορφή σαν κουρκούτι και το ιξώδες είναι παρόμοιο με εκείνο του μίγματος κέικ. Αυτά τα ψωμιά χρειάζονται την προσθήκη σταθεροποιητών, κόμμεων και αμύλων προ-ζελατινοποίησης για να παγιδεύουν και να διατηρούν αέριο στη δομή τους. Ψωμί χωρίς γλουτένη με βελτιωμένες οργανοληπτικές ιδιότητες μπορεί να γίνει με την ενσωμάτωση συνδεδειγμένων υλικών που μιμούνται τις επιδράσεις της λειτουργίας της γλουτένης σίτου στη ζύμη. Αυτά τα συνδεδειγμένα υλικά δημιουργούν ένα δίκτυο κυττάρων, η σταθερότητα του

οποίου διευκολύνει τη συγκράτηση του αερίου που παράγεται στο ψήσιμο, διεγείρει την προσέλκυση κόκκων αμύλου και, κατά συνέπεια, βελτιώνει τη συνεκτικότητα της ζύμης. Δεν υπάρχει πρώτη ύλη, συστατικό ή πρόσθετο που μπορεί να αντικαταστήσει πλήρως τη γλουτένη, αλλά ο συνδυασμός πρώτων υλών, συστατικών και ορισμένων τεχνολογιών, θα μπορούσε να οδηγήσει σε ένα ψωμί χωρίς γλουτένη ικανοποιητικής ποιότητας (Carpiles & Areas, 2014). Ορισμένα είδη αλεύρων και αμύλου (ρύζι, καλαμπόκι, κασάβα, σόγια, κεχρί, πατάτα, φαγόπυρο και φυστίκι) και μερικά υλικά όπως υδροκολλοειδή, ένζυμα (τρανσγλουταμινάση και λιποξυγενάση), μαγιά, αυγά και γαλακτοκομικές πρωτεΐνες έχουν χρησιμοποιηθεί για να μιμηθούν τις ιξωδοελαστικές ιδιότητες της γλουτένης. Οι ζύμες ψωμιού χωρίς γλουτένη μπορούν να έχουν κάποια διόγκωση μόνο αν η γλουτένη αντικατασταθεί από άλλη γέλη με ανάλογες ιδιότητες. Τα κόμμεα ενισχύουν την συνοχή των κόκκων αμύλου και παράγουν ψωμί που μπορεί να ανταγωνιστεί με το ψωμί σίτου, αλλά χωρίς τις επιβλαβείς επιδράσεις της γλουτένης (Duodu και Taylor 2012, Mohammadi *et al.*, 2014).

ΠΗΓΕΣ ΑΛΕΥΡΩΝ ΧΩΡΙΣ ΓΛΟΥΤΕΝΗ



Σχήμα 1. Πηγές αλεύρων χωρίς γλουτένη

Προϊόντα χωρίς γλουτένη	Προϊόντα που μπορεί να περιέχουν γλουτένη
Αυγά	Αλλαντικά
Γαλακτοκομικά προϊόντα (γάλα, γιαούρτι, τυριά, κρέμα γάλακτος)	Απομμήσεις κρέατος ή θαλασσινών
Ζάχαρη	Έτοιμα πακέτα με τριμμένο τυρί
Καλαμπόκι	Έτοιμες σάλτσες και dressings
Ρύζι (λευκό, καστανό και άγριο)	Έτοιμες σούπες
Πίτουρο ρυζιού	Κρέμες τυριού
Κρέατα	Μαγειρικά μείγματα
Ψάρια	Μαγειρικοί κύβοι
Λαχανικά	Μείγματα καρυκευμάτων
Φρούτα	Μείγματα ρυζιού/ έτοιμα ριζότα
Μέλι	Προϊόντα μουστάρδας
Μαρμελάδα	Ροφήματα γάλακτος
Μελάσα	Σκόνη μουστάρδας
Λάδια	Σοκολάτες
Εκχύλισμα βανίλιας και εσάνς βανίλιας	Σος σόγιας
Μπαχαρικά (στη φυσική τους, μη επεξεργασμένη μορφή)	Τορτίγιες καλαμποκιού
Ζυμαρικά χωρίς γλουτένη	Τσιπς, γαριδάκια κλπ.
Νωπή και ξηρή μαγιά	Ψημένοι ξηροί καρποί
Ξηροί καρποί (στη φυσική τους, μη επεξεργασμένη μορφή)	Φαγητό που έχει μαγειρευτεί μαζί με φαγητά που περιέχουν γλουτένη
Ξίδι	
Όσπρια	
Πελτές ντομάτας	
Σιρόπι γλυκόζης	
Σιρόπι σφενδάμου	
Σόγια	
Σπόροι (στη φυσική τους, μη επεξεργασμένη μορφή)	
Τόφου	
Φρέσκα βότανα	

Πίνακας 1. Ενδεικτικά τρόφιμα που δεν περιέχουν ή που μπορεί να περιέχουν γλουτένη.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1. ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ ΑΛΕΥΡΩΝ ΓΙΑ ΨΩΜΙ ΧΩΡΙΣ ΓΛΟΥΤΕΝΗ

Στο ψωμί σιταριού, η γλουτένη έχει ένα τόσο ευρύ φάσμα λειτουργιών που δεν είναι δυνατόν το αλεύρι σίτου να αντικατασταθεί με ένα μόνο συστατικό. Η καλή ποιότητα ψωμιού χωρίς γλουτένη μπορεί να επιτευχθεί μόνο αν μια σειρά από άλευρα και πολυμερείς ουσίες, οι οποίες μιμούνται τις ιξωδοελαστικές ιδιότητες της γλουτένης, περιληφθούν στο σκεύασμα χωρίς γλουτένη. Συνιστάται η χρήση μιας ποικιλίας από άλευρα χωρίς γλουτένη, και όχι μόνο ενός αλεύρου, για να επιτευχθούν προϊόντα με καλές αισθητηριακές ιδιότητες και καλές ιδιότητες υφής. Οι Sciarini *et al.* (2010) διαπίστωσαν ότι ψωμιά που παρασκευάζονται με άλευρα ρυζιού, καλαμποκιού και σόγιας αποδίδουν τα καλύτερα χαρακτηριστικά ποιότητας: υψηλό όγκο, καλή εμφάνιση ψίχας, απαλή υφή και χαμηλό ρυθμό μπαγιατέματος. Παράλληλα, το άμυλο καλαμποκιού μπορεί να βελτιώσει τη συνολική ποιότητα του ψωμιού χωρίς γλουτένη, καθώς η προσθήκη ενός ορισμένου ποσοστού αμύλου σε ένα ελεύθερο γλουτένης σκεύασμα σίγουρα βελτιώνει το αποτέλεσμα (Arendt, *et al.*, 2008).

2.2. ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΠΟΥ ΒΟΗΘΟΥΝ ΤΗΝ ΑΡΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΥΣΙΑ ΓΛΟΥΤΕΝΗΣ

Η ζύμη ελεύθερη γλουτένης προκύπτει ως ένα μίγμα νερού, μαγιάς και αλεύρων ελεύθερων γλουτένης, το οποίο δεν έχει τη δυνατότητα να διατηρήσει το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται κατά τη ζύμωση της μαγιάς σε μια συνεκτική δομή που στη συνέχεια θα διογκωθεί. Έτσι, το αέριο που παράγεται είτε διαφεύγει, είτε όσο συγκρατείται δημιουργεί ασταθείς και ανομοιόμορφες κυψελίδες αέρα. Αποτέλεσμα των ανωτέρω είναι ο τελικός άρτος να εμφανίζει ποιοτικά ελαττώματα, όπως μειωμένο όγκο, απουσία αφρώδους δομής, εύθρυπτη, ξηρή και κοκκώδη υφή ψίχας, κακή αίσθηση και γεύση στο στόμα, αλλά και γρήγορο μπαγιατέμα (Onyang *et al.*, 2009b).

Αυτό το πρόβλημα της ποιοτικής υποβάθμισης των αρτοσκευασμάτων ελεύθερων γλουτένης, μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη χρήση υλικών, που αναφέρονται παρακάτω, τα οποία δρουν ως μιμητές της γλουτένης, προσδίδοντας μερικώς στη ζύμη ιξωδοελαστικές ιδιότητες.

2.2.1. ΑΥΓΑ

Ως υποκατάστατο της γλουτένης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι πρωτεΐνες του αυγού. Ειδικότερα οι πρωτεΐνες του λευκώματος, οι οποίες είναι η αλβουμίνη, η γλοβουλίνη και η λυσοζύμη είναι ικανές όταν αναδευτούν με έντονο ρυθμό, να δημιουργήσουν ένα σύστημα αφρού (μαρέγκα), το οποίο συμβάλλει στη σταθεροποίηση των κυψελίδων του αερίου (CO₂) και έτσι ευνοεί την παραγωγή αρτοσκευάσματος με μεγαλύτερο ειδικό όγκο. Τα φωσφολιπίδια και η λεκιθίνη που υπάρχουν στον κρόκο του αυγού, μπορούν επιπρόσθετα να συμβάλλουν έχοντας γαλακτωματοποιητική δράση (Houben *et al.*, 2012, Crockett *et al.*, 2011). Σε κάποιο σημείο κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ψησίματος, η υγρή μορφή του αυξανόμενου κτυπήματος γίνεται ένας στερεός σχηματισμός, γιατί το κτύπημα "δένει". Αυτός είναι ένας λόγος που τα αυγά είναι τόσο κοινά στις συνταγές ψησίματος. Οι πρωτεΐνες στα αυγά μετουσιώνονται ανεπανόρθωτα όταν εκτίθενται σε θερμότητα (δηλαδή, οι πρωτεΐνες ξεδιπλώνονται και δεν μπορούν να αναδιπλωθούν στο αρχικό τους σχήμα). Αυτές οι αλλαγμένες πρωτεΐνες αυγού ουσιαστικά δίνουν στο υγρό κτύπημα μια σταθερή δομή, επιτρέποντάς του να διατηρεί το σχήμα του. Οι πρωτεΐνες αυγού εξυπηρετούν ένα ρόλο παρόμοιο με εκείνο των πρωτεϊνών γλουτένης στο αλεύρι, υπό την έννοια ότι βοηθούν να παγιδεύσουν φυσαλίδες αέρα μέχρι να πήξει η ζύμη (Shipman, 2014). Σύμφωνα με μελέτη των Bize *et al* (2017), η ένταξη των αυγών στη φόρμουλα του ψωμιού χωρίς γλουτένη βελτιώνει τη δομή των κυττάρων και παράγει πιο σκούρα κρούστα, μειώνει τη σκληρότητα του ψωμιού και επιβραδύνει το ρυθμό εξασθένισης της ποιότητας σε μια περίοδο αποθήκευσης πάνω από 12 ημέρες. Τα ψωμιά που δεν περιέχουν αυγά προκύπτουν αισθητά πιο σκληρά από το ψωμί που περιέχει αυγά μετά από 0 και 4 ημέρες αποθήκευσης, αποδεικνύοντας ότι η προσθήκη αυγών στο σχηματισμό ψωμιού χωρίς γλουτένη, έχει ως αποτέλεσμα βελτιωμένη αποθηκευτική σταθερότητα και καλύτερη συνολική ποιότητα και αποδοχή του προϊόντος.

2.2.2. ΜΑΓΙΑ

Η μαγιά χρησιμοποιείται ως διογκωτικό μέσο και ο κύριος ρόλος της είναι η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα για την διόγκωση των αρτοσκευασμάτων. Η μαγιά μετατρέπει τα ζυμούμενα ζάχαρα (γλυκόζη και άλλα σάκχαρα) σε αιθανόλη, που εξατμίζεται, και διοξείδιο του άνθρακα. Όσο υψηλότερο το ποσοστό μαγιάς στο ζυμάρι, τόσο γρηγορότερος ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα. Ωστόσο, ο ρυθμός ανάπτυξης της μαγιάς εξαρτάται

από τη θερμοκρασία επώασης της ζύμης και είναι αυξανόμενος μέχρι τους 40-43 °C, μετά τη θερμοκρασία αυτή επέρχεται μείωση του ρυθμού και αδρανοποίηση της μαγιάς στην θερμοκρασία των 55 °C. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό της καλής μαγιάς αρτοποιίας για την παρασκευή άρτου είναι η υψηλή ικανότητα διόγκωσης, ενώ και άλλα χαρακτηριστικά της είναι η υψηλή ωσμωτική αντοχή παρουσία σακχάρων και αλάτων, αντοχή στην κατάψυξη, στην παρουσία λιπών και συντηρητικών, μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος διόγκωσης, αντοχή σε μεταβαλλόμενο pH, και ικανότητα μη συσσωμάτωσης (Linko *et al.*, 1997).

Η προετοιμασία της ζύμης με μαγιά βελτιώνει τις δομικές ιδιότητες, τη σταθερότητα και τη γεύση του ψωμιού, και έτσι είναι απαραίτητη, ειδικά όταν απουσιάζει η γλουτένη. Το ψωμί χωρίς γλουτένη που παρασκευάζεται με μαγιά, παρουσιάζει υψηλότερες αισθητικές και δομικές-μηχανικές ιδιότητες σε σύγκριση με μερικά δείγματα ελέγχου (Ternovskoy *et al.*, 2013), αποδεικνύοντας τη θετική επίδραση των εναρκτηρίων βακτηριακών καλλιιεργειών της μαγιάς στη συνολική ποιότητα του ψωμιού χωρίς γλουτένη και δημιουργώντας ισχυρή βάση για την εφαρμογή τους στη βιομηχανία παραγωγής ψωμιού.

2.2.3. ΚΟΜΜΙ ΞΑΝΘΑΝΗΣ (XANTHAN GUM)

Το κόμμι ξανθάνης χρησιμοποιείται ως υδροκολλοειδές. Τα υδροκολλοειδή αποτελούν απαραίτητο συστατικό για την παραγωγή ψωμιού χωρίς γλουτένη, δεδομένου ότι είναι σε θέση να μιμηθούν τις ιξωδοελαστικές ιδιότητες της γλουτένης σε κάποιο βαθμό. Έρευνες που πραγματοποιήθηκαν μέχρι τώρα δείχνουν ότι το κόμμι ξανθάνης και το HPMC είναι τα πιο κατάλληλα υδροκολλοειδή για σκευάσματα ψωμιού χωρίς γλουτένη (Arendt *et al.*, 2008).

Με τη χρήση κόμμιος ξανθάνης παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες αυξήσεις στο ύψος και στον ειδικό όγκο του ψωμιού (Morimoto *et al.*, 2015). Η ψευδοπλαστική ιδιότητα του κόμμιος ξανθάνης είναι σημαντική κατά τη διάρκεια της παρασκευής της ζύμης. Το κόμμι ξανθάνης αυξάνει τη συνεκτικότητα των κόκκων αμύλου, τη σταθερότητα της ζύμης, την απορρόφηση του νερού και τη διατήρηση του αερίου. Παρουσιάζει τις πλέον ενισχυμένες ελαστικές ιδιότητες και υψηλές τιμές ιξώδους, λόγω της διατασσόμενης κατασκευής της αλυσίδας του. Επίσης, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ της ξανθάνης και άλλων πολυσακχαριτών μπορούν να έχουν συνεργικά αποτελέσματα (Mohammadi *et al.*, 2014).

Σύμφωνα με τους Sciarini *et al* (2010), με την προσθήκη κόμμεος ξανθάνης στην παρασκευή ψωμιού με άλευρα ρυζιού, καλαμποκιού και σόγιας, αυξάνεται η συνεκτικότητα της ζύμης και η αναδιαμόρφωση της αμυλοπηκτίνης, αυξάνεται ο όγκος του ψωμιού και το μέσο μέγεθος των κυψελίδων, ενώ μειώνεται η σκληρότητα της ψίχας. Επίσης, παρατηρείται αύξηση στον ειδικό όγκο και το μαλάκωμα (Sciarini *et al.*, 2012a).

2.2.4. ΜΠΕΙΚΙΝ ΠΑΟΥΝΤΕΡ

Η χρήση μπέικιν πάουντερ σε ψημένα αγαθά οδηγεί στη διαδικασία που ονομάζεται "χημική διόγκωση", επειδή το παγιδευμένο αέριο CO₂ που παράγεται, κάνει τη ζύμη να φουσκώσει. Τα χημικά διογκωτικά είναι μίγματα μη τοξικών χημικών ουσιών που όταν έρθουν σε επαφή με το νερό και το αλεύρι απελευθερώνουν αέρια (διοξείδιο του άνθρακα, αμμωνία, κ.λ.π.) που εγκλωβίζονται με μορφή κυψελίδων στο ζυμάρι και δίνουν στα προϊόντα την επιθυμητή διόγκωση και το επιθυμητό πορώδες. Όταν το προϊόν τοποθετηθεί στο φούρνο τα χημικά διογκωτικά ελευθερώνουν διοξείδιο του άνθρακα. Αυτό το αέριο απορροφάται στις κυψέλες αέρα που σχηματίστηκαν κατά την ανάμιξη, με αποτέλεσμα τη δημιουργία του κατάλληλου όγκου, ψίχας και δομής του προϊόντος (Shipman, 2014).

Συγκεκριμένα, το μπέικιν πάουντερ είναι "διπλής δράσης": έχει συστατικά που δημιουργούν αέριο CO₂ σε διαφορετικά στάδια της διαδικασίας ψησίματος. Όλες οι σκόνες μπέικιν περιέχουν διττανθρακικό νάτριο (όπως ακριβώς και η μαγειρική σόδα). Αλλά το μπέικιν πάουντερ περιέχει επίσης δύο οξέα. Ένα από αυτά τα οξέα ονομάζεται φωσφορικό μονοασβέστιο. Το φωσφορικό μονοασβέστιο δεν αντιδρά με το διττανθρακικό νάτριο ενώ είναι στεγνό. Αλλά μόλις το μπέικιν πάουντερ μετατρέπεται σε υγρή ζύμη, τα δύο συστατικά αρχίζουν να αντιδρούν, απελευθερώνοντας διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) με τη μορφή φυσαλίδων, σαν έναν υγρό αφρό, και προκαλώντας χημική διόγκωση. Αλλά για να επεκταθεί η διαδικασία χημικής διόγκωσης, το μπέικιν περιέχει επίσης ένα δεύτερο οξύ, πυροφωσφορικό οξύ νατρίου ή θειικό αργίλιο νατρίου. Κανένα από αυτά τα οξέα δεν αντιδρά με το διττανθρακικό νάτριο μέχρι να είναι και τα δύο: α) υγρά (δηλ, αναμεμειγμένα μέσα στη ζύμη) και β) ζεστά. Με άλλα λόγια, το πυροφωσφορικό οξύ νατρίου ή το θειικό αργίλιο νατρίου δεν θα ξεκινήσουν να αντιδρούν με το διττανθρακικό νάτριο, παρά μόνο αφού η ζύμη μπει στο φούρνο.

Τα παραπάνω σημαίνουν ότι η ζύμη φουσκώνει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, και κατά τον σχηματισμό της, και κατά το ψήσιμο, δημιουργώντας πολλές φυσαλίδες και ένα αφράτο αρτοποιήμα (Shirman, 2014).

2.2.5. ΛΙΠΑΡΑ

Η σταθεροποίηση των φυσαλίδων αερίου στη ζύμη του ψωμιού συχνά επιτυγχάνεται με την προσθήκη λίπους. Ειδικά, τα φυτικά έλαια, όπως το ηλιέλαιο, δρουν ως επιφανειοδραστικές ουσίες (surfactants). Κατά τη διάρκεια του ζυμώματος, οι κρύσταλλοι λίπους προσροφούν στη διεπαφή των φυσαλίδων αερίων μέσα στη ζύμη, και κατά τη διάρκεια του ψησίματος, λιώνουν και δίνουν στις φυσαλίδες του αέρα τη δυνατότητα να εκτείνονται χωρίς να καταστρέφονται. Μαζί με μια μείωση της ζελατινοποίησης του αμύλου και της διαλυτότητας του αμύλου στην παραγωγή ψωμιού χωρίς γλουτένη, η προσθήκη φυτικού ελαίου οδηγεί σε αύξηση της ικανότητας δέσμευσης αερίων. Με την προσθήκη του φυτικού ελαίου, η αντίσταση ζυμώματος μειώνεται και, επίσης, η διόγκωση των κόκκων αμύλου περιορίζεται από τη συμπλοκοποίηση της αμυλόζης με τα μονοακυλο λιπίδια. Το φυτικό έλαιο έχει ως αποτέλεσμα μία μαλακότερη ψίχα και αύξηση του ειδικού όγκου. Αναφέρθηκε επίσης μια πρόσθετη αύξηση στο κολλώδες της ζύμης (Houben *et al.*, 2012).

Σύμφωνα με τους Fu *et al.* (1997), τα λιπαρά δρουν ως πλαστικοποιητές του ζυμαριού, καθώς η προσθήκη υψηλών ποσοστών στο ζυμάρι απαιτεί μικρότερα ποσοστά νερού ώστε να επιτευχθεί ίδιος βαθμός συνεκτικότητας της ζύμης. Τα λιπαρά κανονικά διαρρηγνύουν τη συνοχή του δικτύου γλουτένης-αμύλου, παρέχουν λίπανση των μορίων και μειώνουν την ικανότητα απορρόφησης νερού του ζυμαριού. Ως εκ τούτου, ενισχύουν τη δομή του ζυμαριού, αυξάνοντας την ικανότητα συγκράτησης αερίου και τον τελικό όγκο του προϊόντος.

Οι κύριοι ρόλοι των λιπαρών, όπως αναφέρονται από τους Pareyt *et al.* (2011) μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω σημεία:

-Σταθεροποίηση των φυσαλίδων αερίου που ενσωματώνονται στο ζυμάρι, η οποία οδηγεί σε βελτίωση της ικανότητας συγκράτησης αερίου, που συνήθως εκδηλώνεται ως αύξηση του όγκου κατά τον κλιβανισμό (ή διαφορά στο ύψος του ζυμαριού που εισέρχεται στο φούρνο και στο ύψος του ψημένου άρτου).

-Παρεμπόδιση της συνένωσης των φυσαλίδων αερίου στη ζύμη κατά το στάδιο της διόγκωσης και του ψησίματος, η οποία οδηγεί σε ομοιόμορφα κατανεμημένες και μικρού μεγέθους κυψελίδες αέρα στο τελικό προϊόν.

-Συμβολή στην απαλότητα και υφή της ψίχας, και στη μείωση του ρυθμού παλαίωσης των αρτοσκευασμάτων, λόγω μείωσης του ρυθμού μετανάστευσης της υγρασίας από το εσωτερικό της ψίχας του άρτου προς το περιβάλλον.

2.2.6. ΞΥΔΙ

Το ξύδι βοηθά στην δραστικότητα της μαγιάς (McNaughton *et al.*, 1998), αλλά και δημιουργεί το όξινο περιβάλλον που βοηθά στη δραστικότητα του μπέικιν, ώστε να παραχθεί διοξείδιο του άνθρακα (Shipman, 2014). Επίσης το ξύδι χρησιμοποιείται ως συντηρητικό και αντιμυκητιασικό. Οι Thompson *et al.* (1998), υποστήριξαν ότι το ξύδι σε ψωμιά από μαλακό σιτάρι ήταν αποτελεσματικό στην αναστολή της αλλοίωσης από μούχλα και διεύρυνε την διάρκεια ζωής τους.

2.2.7. ΣΑΚΧΑΡΑ

Στα αρτοσκευάσματα προστίθενται κυρίως σακχαρόζη, αλλά μπορούν να προστεθούν και άλλα σάκχαρα, όπως σιρόπια δεξτρόζης, ιμβερτοποιημένων σακχάρων, ή μέλι. Η ζάχαρη έχει βασικό ρόλο στον δομικό σχηματισμό των αρτοσκευασμάτων, καθώς λειτουργεί ως υπόστρωμα για την ανάπτυξη της μαγιάς, ειδικά στα πρώτα στάδια της επώασης, αλλά επηρεάζει και τη ζελατινοποίηση του αμύλου. Η ύπαρξη σακχάρων στο ζυμάρι επιβραδύνει το ρυθμό ζελατινοποίησης του αμύλου, οδηγώντας σε τελικό προϊόν με υψηλότερη διόγκωση, ενώ ενισχύει και τη διατήρηση της υγρασίας στην ψίχα, λόγω της ικανότητάς της να δεσμεύει μεγάλη ποσότητα μορίων ύδατος. Ως επακόλουθο, εκτός από τον ανταγωνισμό με το άμυλο για τη δέσμευση του νερού, υπάρχει και μείωση της ενεργότητας του νερού (a_w), με αποτέλεσμα τα τελικά προϊόντα να παραμένουν φρέσκα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (Beleia *et al.*, 1996). Επίσης, η μειωμένη ενεργότητα νερού στα τελικά προϊόντα παρουσία σακχάρων μειώνει την εμφάνιση μικροβιακής αλλοίωσης (ζύμες, μύκητες). Η προσθήκη της ζάχαρης, φέρεται να επιδρά και στη διαδικασία μετουσίωσης των πρωτεϊνών του λευκώματος του αυγού, το οποίο οφείλεται στο γεγονός της δέσμευσης νερού από τη ζάχαρη (Donovan, 1977). Τέλος και κύρια, η συνεισφορά των σακχάρων στην αρτοποιία

είναι η πρόσδωση γλυκιάς γεύσης και χρώματος στα ψημένα προϊόντα λόγω της αντίδρασης Maillard (Cauvain και Young, 2006).

Ειδικά το ψωμί χωρίς γλουτένη είναι διαφορετικό από το ψωμί σίτου, από την άποψη των αισθητηριακών ιδιοτήτων του, που δίνουν όχι μόνο μια κατώτερη αποδεκτή υφή, αλλά και ένα αδύναμο άρωμα. Διαπιστώθηκε ότι το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό της γεύσης του ψωμιού χωρίς γλουτένη είναι η έλλειψη βασικών πτητικών ενώσεων, καθώς το ψωμί χωρίς γλουτένη έχει λιγότερες πτητικές ενώσεις. Η προσθήκη σακχάρων στη ζύμη πριν το ψήσιμο κάνει αυτές τις ανεπάρκειες χαμηλότερες και συντελεί σε ικανοποιητική ομοιότητα των δειγμάτων με το ψωμί σίτου (Pacyński *et al.*, 2015).

2.2.8. ΑΛΑΤΙ

Η κύρια λειτουργία του αλατιού είναι η ενίσχυση της γεύσης του προϊόντος. Επίσης, λόγω της ιονικής του φύσης, το αλάτι μειώνει την ενεργότητα του νερού και παρατείνει τη διάρκεια ζωής του προϊόντος (Cauvain και Young, 2006). Το αλάτι μειώνει την απορρόφηση νερού από τη ζύμη, προσδίδει αντοχή στη διάτασή της και αυξάνει την ελαστικότητα και εκτατότητα του ζυμαριού (Hlynka 1962, Simsek και Martinez 2016). Κατά την αρτοποιητική διαδικασία, η παρουσία του αλατιού ελέγχει τη δραστικότητα της μαγιάς, ρυθμίζοντας το ρυθμό παραγωγής αερίου διοξειδίου του άνθρακα. Απουσία αλατιού δεν ασκείται έλεγχος στον υψηλό ρυθμό παραγωγής αερίων από τη δράση της μαγιάς στο στάδιο της επώασης, με αποτέλεσμα τη μειωμένη ικανότητα συγκράτησής τους από το ζυμάρι (Hlynka, 1962). Η ενδεδειγμένη ποσότητα άλατος στα αρτοσκευάσματα είναι περίπου 2%. Μεγαλύτερες ποσότητες παρεμποδίζουν τη δράση της μαγιάς και την ανάπτυξη της ζύμης.

2.2.9. ΝΕΡΟ

Ένα από τα πιο σημαντικά συστατικά σε οποιαδήποτε σκεύασμα ελεύθερο γλουτένης είναι το νερό, και ως εκ τούτου είναι σημαντικό να βελτιστοποιείται το επίπεδο του νερού για κάθε σκεύασμα ώστε να επιτυγχάνονται τα βέλτιστα αποτελέσματα (Arendt *et al.*, 2008).

Το νερό συμβάλει στην διαλυτοποίηση και ομοιόμορφη διασπορά των συστατικών, στο σχηματισμό του πρωτεϊνικού δικτύου και δρα ως υπόστρωμα για την ανάπτυξη της μαγιάς αρτοποιίας. Κατά τη διάρκεια του ψησίματος συμβάλλει στην ζελατινοποίηση του αμύλου ενώ η περιεκτικότητα σε νερό του τελικού προϊόντος διαμορφώνει την υφή κατά τη μάσηση

και την διάρκεια ζωής του. Υπάρχει ένα βέλτιστο ποσοστό προσθήκης νερού για κάθε είδος αλεύρου, το οποίο καθορίζεται με βάση το ιξώδες και άλλα ρεολογικά χαρακτηριστικά του ζυμαριού (αντοχή στην παραμόρφωση, ελαστικότητα, εκτατότητα και προσκολλησιμότητα), ώστε η διαμόρφωση του τελικού προϊόντος στα κατάλληλα σχήματα και μεγέθη να απαιτεί την ελάχιστη δυνατή προσπάθεια και το τελικό προϊόν να διαθέτει τα επιθυμητά ποιοτικά χαρακτηριστικά (Cauvain και Young, 2006).

2.2.10. ΑΛΕΥΡΟ ΡΥΖΙΟΥ

Το άλευρο ρυζιού θεωρείται το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο συστατικό για την παρασκευή αρτοσκευασμάτων ελεύθερων γλουτένης, καθώς έχει λευκό χρώμα, ήπια γεύση, είναι εύπεπτο και υποαλλεργικό (Gujral και Rosell, 2004a, 2004b).

Ωστόσο, το ρυζάλευρο παρουσιάζει τεχνολογικούς περιορισμούς στην αρτοποιητική διαδικασία, καθώς οι λειτουργικές ιδιότητες των πρωτεϊνών του δεν μπορούν να δημιουργήσουν δίκτυο παρόμοιο με αυτό της γλουτένης. Το ρυζάλευρο έχει διαφορετικό ποσοστό αποθηκευτικών πρωτεϊνών σε σχέση με το αλεύρι σίτου. Στο ρυζάλευρο οι κυριότερες αποθηκευτικές πρωτεΐνες είναι οι γλουτελίνες (65-85%), ενώ οι προλαμίνες είναι το μικρότερο κλάσμα (Huebner *et al.*, 1990). Με σκοπό την επίλυση της έλλειψης ιξωδοελαστικότητας της ζύμης και την παρασκευή αρτοσκευασμάτων με βελτιωμένο όγκο, υφή ψίχας και διάρκειας ζωής με βάση το ρυζάλευρο χρησιμοποιούνται υδροκολλοειδή, όπως κόμμεα ξανθάνης (Lazaridou *et al.*, 2007).

Οι κατάλληλες συνθήκες για τη διαμόρφωση της ζύμης με αλεύρι ρυζιού φαίνεται να είναι με το περιεχόμενο υγρασίας και κόμμεος στο 47,0% έως 47,9% και 1,55% έως 2,25%, αντίστοιχα (Shanthilal and Bhattacharya, 2015).

2.2.11. ΑΛΕΥΡΟ ΚΑΙ ΑΜΥΛΟ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ

Η χρήση του αλεύρου αραβοσίτου είναι περιορισμένη στην αρτοποιία λόγω του αρώματός του και του χαρακτηριστικού κίτρινου χρώματος (Hager *et al.*, 2012). Ωστόσο, προστιθέμενο στα σιτάλευρα σε μικρές ποσότητες αυξάνει την απορρόφηση σε νερό, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα του τελικού προϊόντος, αφού το κάνει πιο αφράτο και αυξάνει τη διατηρησιμότητά του (Botelho *et al.*, 2013). Επίσης, η προλαμίνη του αραβοσίτου, ζείνη (zein), αν αναμιχθεί με άμυλο αραβοσίτου και νερό μπορεί να σχηματίσει ζυμάρι με

παρόμοιες ιξωδοελαστικές ιδιότητες με αυτές του σίτου (Lawton, 1992). Αυτό διαπιστώθηκε αργότερα και από τους Schober *et al.* (2008) οι οποίοι παρατήρησαν παρόμοια χαρακτηριστικά (ομοιόμορφη σύσταση ψίχας και αφράτη διογκωμένη δομή) σε άρτο ελεύθερου γλουτένης που παρασκευάστηκε από άμυλο και πρωτεΐνη αραβοσίτου με την προσθήκη υδροκολλοειδούς, και σε άρτο με βάση το σίτο.

2.2.12. ΑΛΕΥΡΟ ΣΟΓΙΑΣ

Το άλευρο σόγιας έχει χρησιμοποιηθεί σε προηγούμενες μελέτες (Ribotta *et al.* 2004) για να ενισχύσει και να βελτιώσει τη μηχανική συμπεριφορά των ζυμαριών και ψωμιών χωρίς γλουτένη. Μελέτες αναφέρουν την βελτίωση αρτοσκευασμάτων ελεύθερων γλουτένης με βάση το άμυλο από την προσθήκη σόγιας, η οποία ενίσχυσε την διόγκωση, την υφή της ψίχας και τη συνολική οργανοληπτική αποδοχή του άρτου (Moore *et al.*, 2004; Sanchez *et al.*, 2002). Ακόμα, οι Sciarini *et al.*, (2010) παρατήρησαν ότι η προσθήκη αλεύρου σόγιας επιφέρει βελτίωση στην ποιότητα του ψωμιού, καθώς η πρωτεΐνη σόγιας μπορεί να σχηματίσει μια δομή ικανή να ενσωματώσει περισσότερες φυσαλίδες αέρα και, έτσι, να διατηρήσει περισσότερο CO₂ κατά την ανάμιξη και την ωρίμανση. Τέλος, η προσθήκη σόγιας συντελεί σε μαλακότερη ψίχα και σε καθυστέρηση του μπαγιατέματος του ψωμιού, καθώς οι πρωτεΐνες σόγιας έχουν μια υψηλή ικανότητα συγκράτησης νερού και μπορούν να εμπλέκονται στην αποικοδόμηση και αναδιαμόρφωση του αμύλου (Sciarini *et al.*, 2010).

2.3. ΣΤΑΔΙΑ ΑΡΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η αρτοποίηση είναι μια σύνθετη διαδικασία που αποτελείται από τα στάδια τα ανάμιξης, της σχηματοποίησης (διαμόρφωσης) των τεμαχίων του ζυμαριού, της επώασης, του κλιβανισμού και της ψύξης, στα οποία λαμβάνουν χώρα φαινόμενα εξάτμισης νερού, αύξησης όγκου, απενεργοποίησης μαγιάς και ενζύμων, ζελατινοποίησης αμύλου, μετουσίωσης πρωτεϊνών και σχηματισμού ψίχας και κόρας (Sivam *et al.*, 2010).

3. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η παρασκευή άρτων χωρίς γλουτένη, χρησιμοποιώντας ποικιλία αλεύρων ελεύθερων γλουτένης σε διαφορετικές αναλογίες, με στόχο να πραγματοποιηθεί στη συνέχεια αξιολόγηση των άρτων άνευ γλουτένης και σύγκρισή τους τόσο μεταξύ τους, όσο και με πρότυπο ψωμί με γλουτένη, αναφορικά με

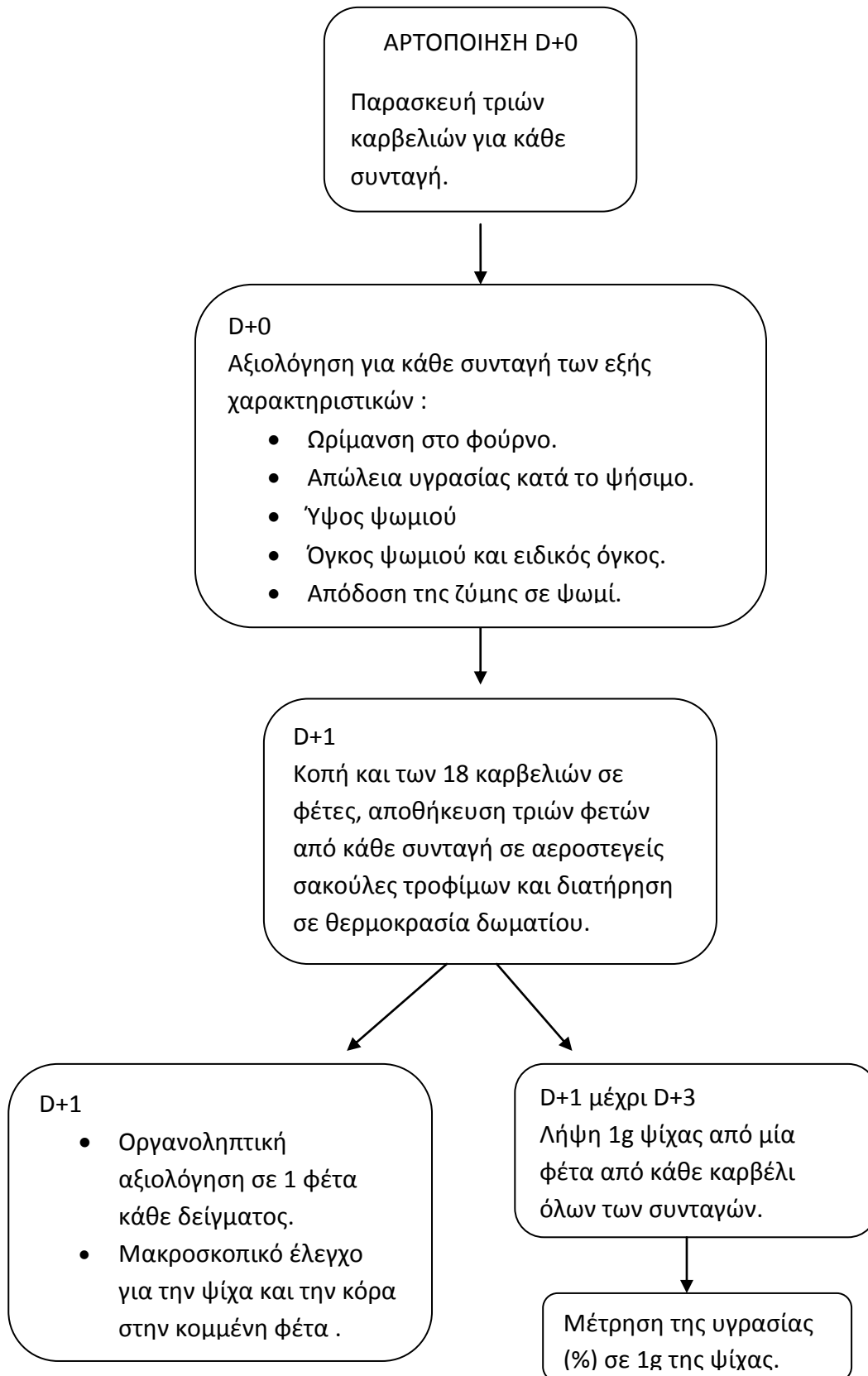
- τα τεχνολογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά,
- τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους,
- τη διατηρησιμότητα και
- την αποδεκτότητα από τους καταναλωτές.

3.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.2.1. ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των ψωμιών χωρίς γλουτένη, ήταν το ρυζάλευρο, το άμυλο αραβοσίτου, το καλαμποκάλευρο και το αλεύρι σόγιας, ενώ για το μάρτυρα με γλουτένη και το ψωμί άνευ γλουτένης από αλεύρι εμπορίου χρησιμοποιήθηκαν αλεύρι για όλες τις χρήσεις και έτοιμο μείγμα αλεύρων χωρίς γλουτένη εμπορίου, αντίστοιχα. Τα άλευρα χωρίς γλουτένη ήταν της εταιρείας ΒιοΑγρός (ΒΙΟΑΓΡΟΣ Α.Ε., Κρύα Βρύση) και το αλεύρι για όλες τις χρήσεις ήταν Αλλατίνη (ΑΛΛΑΤΙΝΗ, ELBISCO Α.Ε., Πικέρμι, Αττική). Σε όλα τα ψωμιά χρησιμοποιήθηκε ξηρή μαγιά Γιώτης (ΓΙΩΤΗΣ Α.Ε., ΑΘΗΝΑ), κρυσταλλική ζάχαρη (Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης), θαλασσινό αλάτι Κάλας (Κ.Ε. ΚΑΛΑΜΑΡΑΚΗΣ Α.Β.Ε.Ε. - ΚΑΛΑΣ Α.Ε, Νέα Έφεσος), ηλιέλαιο SOL (UNILEVER HELLAS) και πόσιμο νερό βρύσης. Στα ψωμιά με άλευρα χωρίς γλουτένη προστέθηκαν επιπλέον αυγά (ΧΡΥΣΑ ΑΥΓΑ Α.Ε.), ξύδι (Ξύδι ΤΟΠ, ΜΙΝΕΡΒΑ Α.Ε.), ως διογκωτικός παράγοντας χρησιμοποιήθηκε baking powder του εμπορίου (ΓΙΩΤΗΣ Α.Ε., ΑΘΗΝΑ). Τέλος, χρησιμοποιήθηκε κόμμα ξανθάνης, ως υδροκολλοειδές.

ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ



Σχήμα 2. Διαγραμματική απεικόνιση της πειραματικής διαδικασίας.

3.2.2. ΑΡΤΟΠΟΙΗΣΗ

3.2.2.1. ΣΥΝΤΑΓΕΣ

Όλες οι συνταγές είναι συγκρίσιμες ως προς το χρησιμοποιούμενο βάρος αλεύρου.

*Το ποσοστό στις παρενθέσεις αντιπροσωπεύει το εκατοστιαίο ποσοστό επί του συνολικού αλεύρου.

1) Δείγμα 1-Μάρτυρας (M)

750g αλεύρι για όλες τις χρήσεις

22.5g ξηρή μαγιά (3%) *

7.5 g ζάχαρη (1.5 κ.σ) (1%)

7.5g αλάτι (1.5 κ.γ.) (1%)

470ml νερό (63%)

9g ηλιέλαιο (1%)

2) Δείγμα 2-MIX εμπορίου (E)

750g MIX αλεύρι χωρίς γλουτένη

22.5g ξηρή μαγιά (3%) *

7.5 g ζάχαρη (1.5 κ.σ) (1%)

7.5g αλάτι (1.5 κ.γ.) (1%)

490ml νερό (65%)

9g ηλιέλαιο (1%)

3) Δείγμα 3

300g αλεύρι σόγιας (40%) *
225g αλεύρι ρυζιού (30%)
150g καλαμποκάλευρο (20%)
75g άμυλο καλαμποκιού (10%)
450ml νερό (60%)
4 αυγά
67.5ml ηλιέλαιο (9%)
7.5ml ξύδι (1%)
15g κόμμα ξανθάνης (3 κ.γ.) (2%)
22.5g μπέικιν (4.5 κ.γ.) (3%)
7.5g αλάτι (1.5 κ.γ.) (1%)
37.5g ζάχαρη (5%)
11.25g ξηρή μαγιά (2.25 κ.γ.) (1,5%)

4) Δείγμα 4

187.5g αλεύρι σόγιας (25%) *
187.5g αλεύρι ρυζιού (25%)
187.5g αλεύρι καλαμποκιού (25%)
187.5g άμυλο καλαμποκιού (25%)
400ml νερό (53%)
4 αυγά
67.5ml ηλιέλαιο (9%)
7.5ml ξύδι (1%)
15g κόμμα ξανθάνης (3 κ.γ.) (2%)
22.5g μπέικιν (4.5 κ.γ.) (3%)
7.5g αλάτι (1.5 κ.γ.) (1%)
37.5g ζάχαρη (5%)
11.25g ξηρή μαγιά (2.25 κ.γ.) (1,5%)

5) Δείγμα 5

225g αλεύρι σόγιας (30%) *
375g αλεύρι ρυζιού (50%)
112g αλεύρι καλαμποκιού (15%)
38g άμυλο καλαμποκιού (5%)
320ml νερό (43%)
4 αυγά
67.5ml ηλιέλαιο (9%)
7.5ml ξύδι (1%)
15g κόμμα ξανθάνης (3 κ.γ.) (2%)
22.5g μπέικιν (4.5 κ.γ.) (3%)
7.5g αλάτι (1.5 κ.γ.) (1%)
37.5g ζάχαρη (5%)
11.25g ξηρή μαγιά (2.25 κ.γ.) (1,5%)

6) Δείγμα 6

187g αλεύρι σόγιας (25%) *
225g αλεύρι ρυζιού (30%)
300g αλεύρι καλαμποκιού (40%)
38g άμυλο καλαμποκιού (5%)
320ml νερό (43%)
4 αυγά
67.5ml ηλιέλαιο (9%)
7.5ml ξύδι (1%)
15g κόμμα ξανθάνης (3 κ.γ.) (2%)
22.5g μπέικιν (4.5 κ.γ.) (3%)
7.5g αλάτι (1.5 κ.γ.) (1%)
37.5g ζάχαρη (5%)
11.25g ξηρή μαγιά (2.25 κ.γ.) (1,5%)

3.2.2.2. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΝΤΑΓΗΣ – ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΥΛΙΚΩΝ

Οι συνταγές τις παρούσας εργασίας προέκυψαν από τη χρήση των παρακάτω υλικών:

Ξηρή Μαγιά. Χρησιμοποιήθηκε διότι παράγει αέριο διοξείδιο του άνθρακα που συγκρατείται από τη ζύμη και έτσι οδηγεί σε διόγκωση του άρτου. Ειδικά στα δείγματα χωρίς γλουτένη είναι απαραίτητη για καλύτερα δομικά αποτελέσματα (Ternovskoy *et al.*, 2013).

Ζάχαρη. Αποτελεί υπόστρωμα για την ανάπτυξη της μαγιάς και ενισχύει τη διατήρηση της υγρασίας στην ψίχα, λόγω της ικανότητάς της να δεσμεύει μεγάλη ποσότητα μορίων ύδατος (Beleia *et al.*, 1996). Στα ψωμιά χωρίς γλουτένη προστέθηκε επίσης, γιατί βελτιώνει το άρωμα και τη γεύση λόγω των πτητικών ενώσεων που παράγονται (Pacyński *et al.*, 2015).

Αλάτι. Χρησιμοποιήθηκε διότι ενισχύει τη γεύση του προϊόντος, ελέγχει τη δραστικότητα της μαγιάς, μειώνει την ενεργότητα του νερού και παρατείνει τη διάρκεια ζωής του προϊόντος (Cauvain και Young, 2006).

Ηλιέλαιο. Προάγει τη σταθεροποίηση των φυσαλίδων αερίου στη ζύμη του ψωμιού και τους δίνει τη δυνατότητα να εκτείνονται χωρίς να καταστρέφονται, δίνοντας πιο αφράτα και διογκωμένα προϊόντα (Houben *et al.*, 2012).

Επιπλέον, στις συνταγές **χωρίς γλουτένη** προστέθηκαν:

Αυγά. Οι πρωτεΐνες αυγού εξυπηρετούν ένα ρόλο παρόμοιο με εκείνο των πρωτεϊνών γλουτένης στο αλεύρι, υπό την έννοια ότι βοηθούν να παγιδύσουν φυσαλίδες αέρα μέχρι να πήξει η ζύμη (Crockett *et al.*, 2011).

Ξύδι. Το ξύδι προστέθηκε διότι βοηθά στην δραστικότητα της μαγιάς και του μπέικιν (McNaughton *et al.*, 1998).

Κόμμι ξανθάνης (xanthan gum). Χρησιμοποιήθηκε ως υδροκολλοειδές που είναι σε θέση να μιμηθεί τις ιξωδοελαστικές ιδιότητες της γλουτένης σε κάποιο βαθμό. Η προσθήκη του βασίστηκε σε έρευνες των Morimoto *et al.* (2015) και Sciarini *et al.* (2010), που υποστηρίζουν καλύτερα αποτελέσματα σε ψωμιά χωρίς γλουτένη με το κόμμι ξανθάνης, ειδικά παρουσία αλεύρων ρυζιού, καλαμποκιού ή σόγιας.

Μπέικιν πάουντερ. Προστέθηκε διότι, σε όλη τη διάρκεια της αρτοποιητικής διαδικασίας (ζύμωση και ψήσιμο) απελευθερώνει αέρια που εγκλωβίζονται με μορφή κυψελίδων και

δίνουν στα προϊόντα την επιθυμητή διόγκωση και το επιθυμητό πορώδες, που είναι απαραίτητα ιδιαίτερα όταν απουσιάζει η γλουτένη (Shirman, 2014).

Τα άλευρα χωρίς γλουτένη που επιλέχθηκαν ήταν:

Αλεύρι ρυζιού, διότι λόγω των χαρακτηριστικών του (λευκό χρώμα, ήπια γεύση, εύπεπτο, υποαλλεργικό) θεωρείται το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο συστατικό για την παρασκευή αρτοσκευασμάτων ελεύθερων γλουτένης (Gujral και Rosell, 2004a, 2004b).

Αλεύρι και άμυλο καλαμποκιού, διότι, όπως υποστηρίζεται από μελέτες (Lawton 1992, Schober *et al.*, 2008), όταν αναμιγνύονται η πρωτεΐνη του καλαμποκάλευρου και το άμυλο αραβοσίτου μαζί με νερό μπορεί να σχηματιστεί ζυμάρι με παρόμοιες ιξωδοελαστικές ιδιότητες με αυτές του σίτου.

Αλεύρι σόγιας, διότι σύμφωνα με τους Ribotta *et al.* (2004) ενισχύει και βελτιώνει τη μηχανική συμπεριφορά των ζυμαριών και ψωμιών χωρίς γλουτένη.

Επίσης, ο συνδυασμός των τριών αλεύρων (ρυζιού, σόγιας, καλαμποκιού) καθώς και η προσθήκη αμύλου καλαμποκιού βασίστηκε στις παρατηρήσεις των Sciarini *et al.* (2010), που αναφέρονται σε καλύτερα χαρακτηριστικά ποιότητας του ψωμιού χωρίς γλουτένη με αυτά τα άλευρα.

Να σημειωθεί ότι το έτοιμο μίγμα αλεύρου χωρίς γλουτένη του εμπορίου που χρησιμοποιήθηκε περιέχει φύτρο καλαμποκιού, ίνες φαγόπυρου, αλεύρι guar και χαρουπιού και δεξτρόζη.

3.2.2.3 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ ΠΟΣΟΣΤΩΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΣΤΙΣ ΣΥΝΤΑΓΕΣ

Η προσθήκη ζάχαρης έγινε σε ποσοστά 1-5%, με βάση τα χαμηλά ποσοστά προσθήκης σακχάρων στα άγλυκα αρτοσκευάσματα που είναι μεταξύ 0-3% (Cauvain και Young, 2006).

Η προσθήκη αλατιού έγινε σε ποσοστό 1%, υποστηρίζοντας την ενδεδειγμένη από τους Simsek και Martinez (2016) ποσότητα άλατος (περίπου 2%) στα αρτοσκευάσματα.

Η μέση περιεκτικότητα των αρτοσκευασμάτων σε λιπαρά κυμαίνεται στο 2-5% επί του αλεύρου (Fu *et al.*, 1997). Για καλύτερα αποτελέσματα στα ψωμιά χωρίς γλουτένη

αυξήσαμε την ποσότητα προστιθέμενου ελαίου (9%) σε σχέση με το ψωμί με γλουτένη (1%).

Το μπέικιν προστέθηκε σε ποσοστό 3% επί του βάρους του αλεύρου, στο πλαίσιο του 1-7% εύρους προσθήκης διογκωτικών υλών σύμφωνα με τον Shirman (2014).

Η προσθήκη κόμμεος ξανθάνης (xanthan gum) έγινε σε ποσοστό 2%, με βάση έρευνα των Shanthilal and Bhattacharya (2015), που υποστηρίζει ότι το κόμμι σε ποσοστά 1,55% έως 2,25% προσφέρει τις κατάλληλες συνθήκες για τη διαμόρφωση της ζύμης.

Ανάλογα με το είδος του αλεύρου και τα χαρακτηριστικά της ζύμης που προκύπτει υπάρχει διαφορετικό ποσοστό προσθήκης νερού (Cauvain και Young, 2006). Στην παρούσα εργασία, επειδή χρησιμοποιήσαμε συνδυασμούς αλεύρων σε διάφορες αναλογίες, η ποσότητα νερού σε κάθε συνταγή ήταν διαφορετική και προσαρμόστηκε ανάλογα με τη σύσταση της ζύμης κατά την παρασκευή, προσθέτοντας κάθε φορά όσο νερό ήταν απαραίτητο, όσο «πάρει» το ζυμάρι.

Πίνακας 2. Βασική συνταγή που χρησιμοποιήθηκε για τα ψωμιά χωρίς γλουτένη.

Συστατικά	g/100g *
Άλευρα**	100
Ηλιέλαιο	9
Ξύδι	1
Κόμμι ξανθάνης	2
Μπέικιν	3
Αλάτι	1
Ζάχαρη	5
Ξηρή μαγιά	1,5
Νερό	43-60
Αυγά	4 τεμάχια

* Ποσοστό των συστατικών σε σχέση με το 100% του συνολικού βάρους του αλεύρου

** Ρυζάλευρο, καλαμποκάλευρο, αλεύρι σόγιας, άμυλο καλαμποκιού

3.2.2.4 ΣΗΜΑΝΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Προκειμένου να γίνεται κατανοητό και διακριτό ποια άλευρα εμπλέκονται κάθε φορά που γίνεται αναφορά σε κάποιο δείγμα, θα γίνει σήμανση κάθε δείγματος εκτός από τον αριθμό του και με ένα γράμμα. Επειδή σε κάθε δείγμα (εκτός του μάρτυρα και του έτοιμου μείγματος) περιέχονται και τα τέσσερα άλευρα χωρίς γλουτένη, σε διαφορετικές ποσότητες

όμως, το γράμμα αυτό θα είναι το αρχικό του αλεύρου που βρίσκεται σε μεγαλύτερη αναλογία σε κάθε δείγμα. Έτσι έχουμε:

Δείγμα 1 → M	(με γλουτένη, Μάρτυρας)
Δείγμα 2 → E	(έτοιμο Εμπορίου)
Δείγμα 3 → Σ	(περίσσεια αλεύρου Σόγιας)
Δείγμα 4 → I	(Ισόποσα άλευρα)
Δείγμα 5 → P	(περίσσεια αλεύρου Ρυζιού)
Δείγμα 6 → K	(περίσσεια αλεύρου Καλαμποκιού)

Πίνακας 3. Σήμανση δειγμάτων με το αρχικό του πλεονάζοντος αλεύρου.

Τα γράμματα θα αναγράφονται σε παρένθεση δίπλα στον αριθμό κάθε δείγματος που αναφερόμαστε κάθε φορά.

3.2.2.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΑΡΤΟΠΟΙΗΣΗΣ (D+0)

Η πρώτη ημέρα της πειραματικής διαδικασίας, δηλαδή η μέρα όπου έλαβε μέρος η αρτοποιήση θα σημειώνεται ως D+0.

Τα ψωμιά παρασκευάστηκαν σύμφωνα με τη φόρμουλα και τη διαδικασία της ελαφρώς τροποποιημένης AACC μεθόδου 10-10.03 (AACC, 2011). Παρασκευάστηκαν 3 ψωμιά από κάθε συνταγή (6 δείγματα-6 συνταγές), δηλαδή συνολικά 18 ψωμιά. Για κάθε συνταγή εφαρμόστηκε η διαδικασία που περιγράφεται στη συνέχεια (Σχήμα 3).

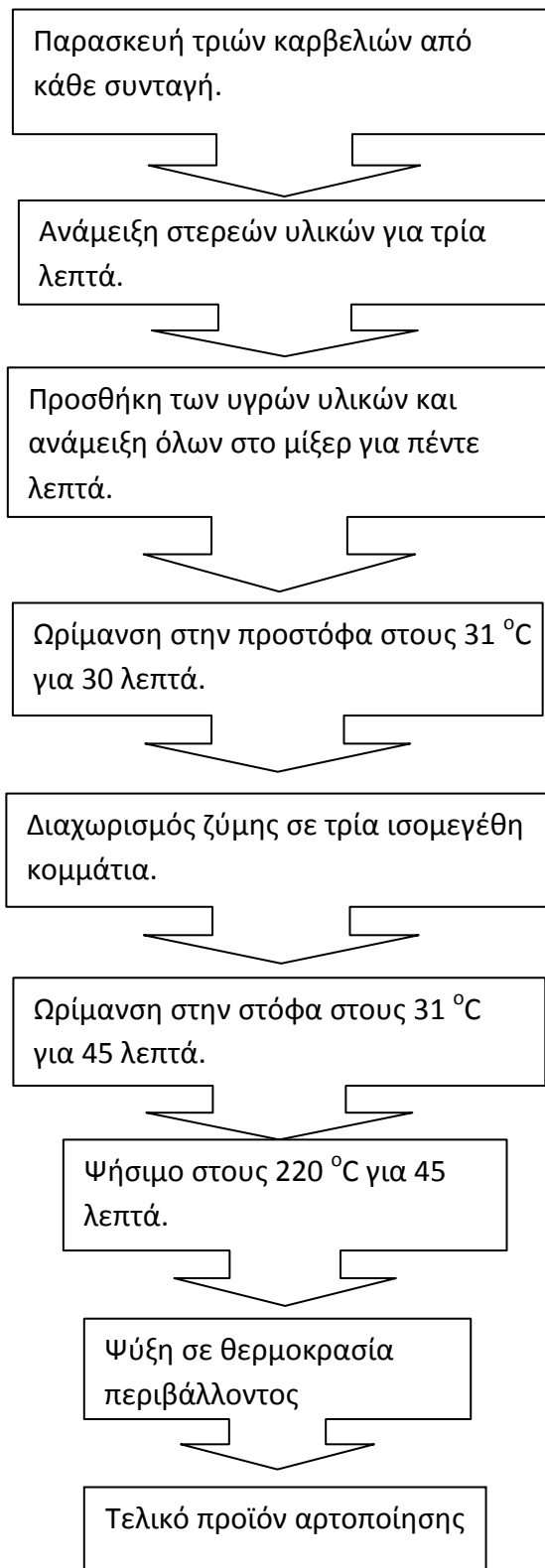
Ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας τα στερεά υλικά με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων και τοποθετήθηκαν στο μίξερ. Έγινε ανάμειξη αυτών για 3 λεπτά και στη συνέχεια προστέθηκαν τα υγρά υλικά, νερό, λάδι και ξύδι, όπου χρειαζόταν. Έγινε ανάμειξη όλων των υλικών στο μίξερ για 5 λεπτά. Το ζυμάρι που προέκυψε τοποθετήθηκε στην προστόφα στους 31 °C για 30 λεπτά, ώστε να γίνει μια πρώτη ωρίμανση. Αφού η ζύμη βγήκε από την προστόφα, χωρίστηκε της σε 3 ισοβαρή τεμάχια βάρους περίπου 400 – 500 g το καθένα. Κάθε κομμάτι πλάστηκε με τα χέρια ώστε να μορφοποιηθεί και έπειτα τοποθετήθηκε σε λαδωμένη φόρμα. Όλες οι φόρμες ήταν ισομεγέθεις. Σε αυτό το σημείο, το ύψος της ζύμης μέσα στη φόρμα μετρήθηκε με χάρακα, αμέσως πριν οδηγηθεί για ωρίμανση. Όλες οι φόρμες, δηλαδή κάθε καρβέλι που δημιουργήθηκε, τοποθετήθηκαν για ωρίμανση στους 31 °C για 45 λεπτά. Μετά την ωρίμανση ξαναμετρήθηκε το ύψος της ζύμης. Στη συνέχεια

ψήθηκαν σε προθερμασμένο φούρνο σε 220 °C για 45 λεπτά. Οι θερμοκρασίες και οι χρόνοι ωρίμανσης και ψησίματος που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτοί που αναφέρονται από τους López *et al.*, (2004) ώστε το τελικό στάδιο ψησίματος να αποδίδει ένα ελαφρύ, πορώδες, γευστικό προϊόν με απαλό χρωματισμό. Αφού πέρασε ο αναμενόμενος χρόνος, τα καρβέλια βγήκαν από το φούρνο και στη συνέχεια εξάχθηκαν από τις φόρμες με προσοχή και τοποθετήθηκαν σε σχάρες για 1 ώρα ώστε να κρυώσουν και να απομακρυνθούν οι υδρατμοί. Αφού πέρασε μια ώρα, ζυγίστηκαν όλα τα καρβέλια από κάθε συνταγή. Επίσης, μετρήθηκε το τελικό ύψος κάθε ψωμιού. Τέλος, υπολογίστηκε ο όγκος του ψωμιού, με τις διαδικασίες που αναφέρονται παρακάτω.



Εικόνα 2. Εισαγωγή των δειγμάτων στο φούρνο για ψήσιμο.

Μετά το τέλος της D+0, και αφού έγιναν οι απαραίτητες μετρήσεις, τα ψωμιά διατηρήθηκαν σε καθαρά προστατευμένα σκεύη σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μέχρι την επόμενη μέρα που έγιναν οι υπόλοιπες μετρήσεις.



Σχήμα 3. Διάγραμμα ροής της αρτοποιίας.

3.2.2.6 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΡΤΟΠΟΙΗΣΗ (D+0)

- Η ζύμη από το δείγμα 1(M) και 2(E) πλάστηκε κανονικά, χωρίς κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα, σε αντίθεση με τα 3,4,5,6, δείγματα χωρίς γλουτένη τα οποία εμφάνισαν δυσκολίες. Συγκεκριμένα, η ζύμη ήταν πολύ μαλακή και κολλώδης, εμφάνιζε δυσκολία χειρισμού με τα χέρια γιατί κολλούσε, πράγμα που έκανε σχεδόν αδύνατο το πλάσιμο.

- Ιδιαίτερα στο δείγμα 4(I), δε μπορούσε να «δέσει» το μίγμα και να σχηματιστεί ζύμη. Η ζύμη δεν είχε καθόλου συνοχή και ήταν πάρα πολύ μαλακή στο πλάσιμο, σαν κέικ. Για να επιτευχθεί η μορφοποίηση της ζύμης στο συγκεκριμένο δείγμα προστέθηκε επιπλέον άμυλο καλαμποκιού (+33g), ώστε να πραγματοποιηθούν ο χειρισμός και η κοπή της, διότι το άμυλο απορροφά την υγρασία και έτσι θα προσέδιδε μια μορφή σταθερότητας στη ζύμη. Σύμφωνα με τους Arendt *et al.* (2008), το άμυλο μπορεί να βελτιώσει τη συνολική ποιότητα του ψωμιού χωρίς γλουτένη, καθώς η προσθήκη ενός ορισμένου ποσοστού αμύλου σε ένα ελεύθερο γλουτένης σκεύασμα σίγουρα βελτιώνει το αποτέλεσμα. Επίσης στο δείγμα 4 προστέθηκαν επιπλέον 26g αλεύρι ρυζιού και 55g αλεύρι καλαμποκιού, ώστε να γίνει δυνατή η μορφοποίηση. Η προσθήκη αυτή βασίστηκε στην παρατήρηση του Lawton (1992), ότι η προλαμίνη του αραβοσίτου, ζεΐνη (zein), αν αναμιχθεί με άμυλο αραβοσίτου και νερό μπορεί να σχηματίσει ζυμάρι με παρόμοιες ιξωδοελαστικές ιδιότητες με αυτές του σίτου. Επομένως, τελικά το δείγμα 4(I) διαμορφώθηκε ως εξής:

Δείγμα 4(I)

Απαιτήθηκαν επιπλέον για την καλύτερη μορφοποίηση κατά την αρτοποίηση

----->

187.5g αλεύρι σόγιας (25%)		→ 187,5g (22%)
187.5g αλεύρι ρυζιού (25%)	+ 26g	→ 213,5g (25%)
187.5g αλεύρι καλαμποκιού (25%)	+55g	→ 242,5g (28%)
187.5g άμυλο καλαμποκιού (25%)	+ 33g	→ 220,5 (25%)
400ml νερό (53%)		(46%)
4 αυγά		
67.5ml ηλιέλαιο (9%)		(8%)
7.5ml ξύδι (1%)		(1%)
15g κόμμα ξανθάνης (3 κ.γ.) (2%)		(2%)
22.5g μπέικιν (4.5 κ.γ.) (3%)		(3%)

7.5g αλάτι (1.5 κ.γ) (1%)	(1%)
37.5g ζάχαρη (5%)	(4%)
11.25g ξηρή μαγιά (2.25 κ.γ.) (1,5%)	(1%)

Ωστόσο, η προσθήκη των επιπλέον γραμμαρίων στη συνταγή 4 έγινε σε πολύ μικρές ποσότητες, ώστε να μην επηρεαστεί σημαντικά το ποσοστό % επί του αλεύρου του κάθε συστατικού, ενώ και τα ποσοστά των τεσσάρων αλεύρων παρέμειναν σχεδόν στο 25%. Έτσι το δείγμα 4 εξακολουθεί να αντιπροσωπεύει την ισόποση προσθήκη αλεύρων (I).

- Τα μίγματα, εκτός από το δείγμα 1(M), κολλούσαν στο μίξερ και ήταν δύσκολο να εξαχθούν.
- Η ζύμη 1 είχε πιο υψηλή διόγκωση, αλλά μόλις εξάχθηκε από τη στόφα, «κάθισε», προτού εισαχθεί στο φούρνο.
- Όσον αφορά τα ψωμιά, ένα από τα καρβέλια της συνταγής 4(I) καταστράφηκε, διότι, κατά το ξεφούρνισμα θρυμματίστηκε.

3.2.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΖΥΜΗΣ ΚΑΙ ΨΩΜΙΟΥ

Κατά την παρασκευή του ψωμιού, για την ποιοτική αξιολόγηση των αρτοποιημάτων πραγματοποιήθηκαν οι υπολογισμοί:

1. της ωρίμανσης στο φούρνο,
2. του ύψους του ψωμιού,
3. της απώλειας υγρασίας κατά το ψήσιμο,
4. του όγκου και του ειδικού όγκου του ψωμιού και
5. της απόδοσης της ζύμης σε ψωμί.

3.2.3.1. Ωρίμανση στο φούρνο

Η ωρίμανση στο φούρνο είναι μια ένδειξη για την δραστικότητα της μαγιάς, καθώς το φούσκωμα του ψωμιού είναι αποτέλεσμα παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα από τη μαγιά. Η ωρίμανση στο φούρνο καθορίζεται από το φούσκωμα της ζύμης έπειτα από την ωρίμανση στη στόφα. Υπολογίζεται μετρώντας το ύψος της ζύμης πριν και μετά την ωρίμανση (επάωση) και υπολογίζοντας τη διαφορά μεταξύ των δύο υψών (ύψος μετά την ωρίμανση μείον το ύψος πριν την ωρίμανση). Οι μετρήσεις διεξάγονται για όλα τα καρβέλια

κάθε συνταγής (1 μέτρηση για κάθε καρβέλι) και στο τέλος υπολογίζεται ο μέσος όρος των τριών μετρήσεων για κάθε συνταγή.

3.2.3.2. Αύξηση της «ζύμης προς ψωμί» (ύψος ψωμιού)

Υπολογίζεται μετρώντας το ύψος μιας φέτας ψωμιού από κάθε δείγμα, αφού τα καρβέλια κοπούν σε λεπτές, ισομεγέθεις φέτες, όπως αναφέρεται παρακάτω. Το ύψος από τις φέτες μετριέται με χάρακα και εκφράζεται σε cm (Huerta *et al.*, 2016). Το ύψος της φέτας από κάθε δείγμα προέκυψε από το μέσο όρο τριών μετρήσεων για κάθε δείγμα (μία μέτρηση σε κάθε ένα από τα τρία καρβέλια της κάθε συνταγής).

3.2.3.3. Απώλεια υγρασίας κατά το ψήσιμο

Υπολογίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο 44-15.02 (AACC, 2011), μετρώντας το βάρος της ζύμης και το βάρος του ψωμιού μετά την εξαγωγή του από το φούρνο, και παίρνοντας τη διαφορά μεταξύ των δύο αυτών τιμών (βάρος ψωμιού μείον βάρος ζύμης). Το αποτέλεσμα δείχνει την υγρασία σε γραμμάρια. Στη συνέχεια υπολογίζεται το ποσοστό επί τις εκατό της υγρασίας που χάθηκε κατά το ψήσιμο, σύμφωνα με τη μέθοδο 44-01.01 (AACC,2011). Οι ειδικές συνθήκες ψησίματος ήταν 220 °C για 45 λεπτά.

3.2.3.4. Όγκος και ειδικός όγκος ψωμιού

Δίνουν πληροφορίες για την πυκνότητα του ψωμιού. Όσο μεγαλύτερος είναι ο ειδικός όγκος, τόσο μικρότερη πυκνότητα έχει το ψωμί.

Ο όγκος του ψωμιού υπολογίστηκε με τη μέθοδο 10-05.01: Χρησιμοποιήθηκε ένα δοχείο, το οποίο πληρώθηκε με σπόρους, συγκεκριμένα παπαρουνόσπορο. Έπειτα, το δοχείο εκκενώθηκε, τοποθετήθηκε το κάθε καρβέλι μέσα σε αυτό και στη συνέχεια συμπληρώθηκε με σπόρους. Μετρήθηκε ο όγκος από τους σπόρους που δεν χώρεσαν στο δοχείο, με ογκομετρικό κύλινδρο. Αυτός ο όγκος αντιπροσωπεύει τον τελικό όγκο του ψωμιού (AACCI, 1998).

Για τον υπολογισμό του ειδικού όγκου χρησιμοποιείται το κλάσμα όγκου ψωμιού προς βάρος ψωμιού, σύμφωνα με τη μέθοδο 55-50.01 (AACC,2011).

3.2.3.5. Απόδοση ζύμης

Δείχνει το πόσο αποδίδει το προϊόν. Υπολογίζεται με το εκατοστιαίο κλάσμα του βάρους ψωμιού προς το βάρος ζύμης.

3.2.4. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Η πρώτη ημέρα μετά την παρασκευή ψωμιού, θα αναφέρεται στο εξής ως D+1, η δεύτερη μέρα μετά την αρτοποιήση ως D+2 και η τρίτη μέρα ως D+3.

Την D+1 καθαρίστηκε ο πάγκος εργασίας, τηρήθηκαν όλες οι απαραίτητες συνθήκες υγιεινής. Στη συνέχεια όλα τα καρβέλια τεμαχίστηκαν με μαχαίρι επάνω σε επιφάνεια κοπής σε λεπτές και ισομεγέθεις φέτες πάχους περίπου 1 cm.

3.2.5. ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ (D+1)

Την D+1 πραγματοποιήθηκαν οι οργανοληπτικές δοκιμές. Το πάνελ των δοκιμαστών ήταν 29 μη εκπαιδευμένοι δοκιμαστές, φοιτητές του Τμήματος Διατροφής και Διαιτολογίας του ΑΤΕΙΘ. Η επιλογή των αξιολογητών έγινε τυχαία ενώ η ομάδα τους ήταν μικτή, αποτελούμενη από 7 άνδρες και 22 γυναίκες. Σκοπός της οργανοληπτικής διαδικασίας ήταν, μέσω της συμπλήρωσης δύο ερωτηματολογίων (βλ. Παράρτημα Α, σελ. 76 και 79), να εκτιμηθούν ορισμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων και να διαπιστωθεί ο βαθμός αποδοχής των εξεταζόμενων δειγμάτων από ένα τυχαίο δείγμα καταναλωτών. Δεδομένου ότι οι δοκιμαστές δεν έπασχαν από διαταραχή σχετιζόμενη με κατανάλωση γλουτένης, η οργανοληπτική αξιολόγηση θα μπορούσε να απεικονίσει και την αποδοχή προϊόντων μιας ειδικής κατηγορίας, από ένα ευρύτερο καταναλωτικό κοινό και όχι μόνο από πάσχοντες από κοιλιοκάκη.

Η αξιολόγηση έλαβε μέρος στο Εργαστήριο Παρασκευής Τροφίμων του Τμήματος Διατροφής και Διαιτολογίας, όπου οι δοκιμαστές κλήθηκαν να αξιολογήσουν τα δείγματα. Για την παρουσίαση των δειγμάτων (μία φέτα από κάθε συνταγή) χρησιμοποιήθηκαν πιάτα

μιας χρήσης. Κάθε δείγμα χαρακτηρίστηκε από έναν τυχαίο, μοναδικό, τριψήφιο αριθμό, ο οποίος σημειώθηκε σε ορατό σημείο πάνω στο πιάτο, μπροστά από κάθε δείγμα.

Σε κάθε δοκιμαστή δίνονταν μία φέτα από κάθε δείγμα και ένα ποτήρι μιας χρήσης με νερό, για το ξέπλυμα του στόματος κατά τη διαδοχή των δοκιμασιών. Οι δοκιμαστές έμπαιναν στο χώρο δοκιμασιών σε ομάδες των έξι ατόμων και κάθονταν διάσπαρτοι στο χώρο, ώστε να καταγράφει ο καθένας την προσωπική του εκτίμηση, χωρίς να επηρεάζεται από το διπλανό του. Αρχικά, δόθηκαν στους δοκιμαστές τα δύο ερωτηματολόγια, πρώτα αυτό της αξιολόγησης τεχνολογικών χαρακτηριστικών και μετά της δοκιμής αρέσκειας, και τους εξηγήθηκε λεπτομερώς ο τρόπος συμπλήρωσής τους. Στη συνέχεια δόθηκαν τα δείγματα. Μετά το τέλος της διαδικασίας, συγκεντρώθηκαν 29 ερωτηματολόγια.

3.2.5.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΩΝ

Στο ερωτηματολόγιο αξιολόγησης τεχνολογικών χαρακτηριστικών οι δοκιμαστές αξιολόγησαν τα έξι δείγματα ως προς:

1. την εμφάνιση,
2. το χρώμα της κόρας,
3. το χρώμα της ψίχας,
4. την ομοιομορφία χρωματισμού της κόρας,
5. την ομοιομορφία του πορώδους της ψίχας,
6. την ελαστικότητα της ψίχας,
7. την ευθρυπτότητα,
8. το άρωμα,
9. τη γεύση,
10. τη συνεκτικότητα της ψίχας,
11. την τραγανότητα της ψίχας,
12. τη σκληρότητα,
13. τη δυσκολία μάσησης και
14. τη συνολική αποδεκτότητά τους,

όπως αυτά ορίστηκαν στο ερωτηματολόγιο (βλ. Παράρτημα Α.1 σελ. 76).

Για την βαθμολογία χρησιμοποιήθηκε 7βαθμη κλίμακα από το 1 έως το 7, με το 1 να αντιπροσωπεύει την χειρότερη βαθμολογία και το 7 την πλέον επιθυμητή.

Το δεύτερο ερωτηματολόγιο αφορούσε την αξιολόγηση της αρέσκειας για κάθε δείγμα. Κάθε δείγμα βαθμολογήθηκε σε μια διαβαθμισμένη κλίμακα από το 1 μέχρι το 9, όπου το 1 αντιπροσώπευε το «δεν μου αρέσει υπερβολικά», το 5 το «ούτε μου αρέσει, ούτε δε μου αρέσει (μου είναι αδιάφορο)» και το 9 το «μου αρέσει υπερβολικά». (βλ. Παράρτημα Α.2, σελ. 79)

3.2.6. ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Πραγματοποιήθηκε σε χρόνο D+1 και D+3, αμέσως μετά τον τεμαχισμό σε φέτες. Παρατηρήθηκε η κόρα και η ψίχα από κάθε δείγμα ψωμιού ως προς ορισμένα οργανοληπτικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά, όπως:

- σκληρότητα ψωμιού
- δυσκολία κοπής,
- θρυμματισμός,
- ελαστικότητα ψίχας,
- σχηματισμός και πάχος κόρας,
- χρώμα κόρας
- χρώμα ψίχας,
- κατανομή πόρων
- άρωμα

Σημειώνεται ότι η επανάληψη της ανάλυσης σε χρόνο D+3, δηλαδή μετά από τρεις μέρες αποθήκευσης, πραγματοποιήθηκε για να παρατηρηθεί η επίδραση που αναμενόταν να έχει στα παραπάνω χαρακτηριστικά η απώλεια υγρασίας με το πέρασμα του χρόνου.

3.2.7. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ (D+1 – D+3)

Η περιεκτικότητα σε υγρασία και η μεταφορά υγρασίας μεταξύ των συνιστωσών του ψωμιού πιστεύεται ότι είναι ένας σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στο μαγιάτεμα του ψωμιού. Κατά την αποθήκευση των συμβατικά ψημένων ψωμιών, το νερό

μεταναστεύει από την ψίχα στην κρούστα και η περιεχόμενη υγρασία μειώνεται σε όλη την ψίχα του ψωμιού (Derde *et al.*, 2014).

Την D+1 μέρα ξεκίνησε ο υπολογισμός της υγρασίας για κάθε δείγμα σύμφωνα με τη μέθοδο AOAC(935.36) (AOAC, 2005), ώστε να αξιολογηθεί η κατάσταση του ψωμιού κατά τη διέλευση του χρόνου, δηλαδή ο ρυθμός μπαγιατέματος. Από κάθε δείγμα χρησιμοποιήθηκε μία φέτα από το κέντρο κάθε καρβελιού του δείγματος (σύνολο τρεις φέτες για κάθε δείγμα). Από τις τρεις φέτες κάθε δείγματος, οι δύο αποθηκεύτηκαν σε πλαστικές σακούλες τροφίμων που κλείνουν αεροστεγώς, σε θερμοκρασία δωματίου, για χρήση τις 2 επόμενες μέρες (D+2, D+3), ενώ η μία αναλύθηκε την ίδια μέρα. Από κάθε μία φέτα που χρησιμοποιήθηκε εκείνη τη μέρα, λήφθηκε 1g ψίχας και έτσι προέκυψαν 6 δείγματα ψίχας του 1g που αντιστοιχούσαν στα έξι διαφορετικά δείγματα. Κάθε δείγμα του ενός γραμμαρίου ζυγίστηκε σε ζυγαριά ακριβείας OHAUS με ακρίβεια 4 δεκαδικών ψηφίων για να καταγραφεί το ακριβές βάρος του. Τα 6 δείγματα ψίχας τοποθετήθηκαν στον ξηραντήρα και μεταφέρθηκαν στον κλίβανο Memmert. Εκεί παρέμειναν για ξήρανση στους 120 °C για μία ώρα. Έπειτα τοποθετήθηκαν πάλι στον ξηραντήρα για 10 λεπτά και στη συνέχεια ζυγίστηκαν στη ζυγαριά ακριβείας. Η συγκεκριμένη διαδικασία ξήρανσης επαναλήφθηκε άλλες δύο φορές μέχρι σταθερού βάρους των δειγμάτων ξηρής ψίχας στο τρίτο δεκαδικό ψηφίο. Έπειτα προσδιορίστηκε το εκατοστιαίο ποσοστό υγρασίας με τον παρακάτω τύπο (βλ. σχήμα 4). Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας, τα 6 δείγματα ψίχας απορρίφθηκαν.

Οι δύο επόμενες μέρες αναφέρονται ως D+2 και D+3. Την D+2 και την D+3 ο υπολογισμός της υγρασίας έγινε με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως την D+1, χρησιμοποιώντας τα δείγματα που είχαμε αποθηκεύσει.

Να σημειωθεί, ότι την D+3 η διαδικασία ξήρανσης διεξάχθηκε συνολικά τέσσερις φορές αντί για τρεις που έγινε τις προηγούμενες μέρες, και αυτό γιατί ήταν απαραίτητη μία ακόμη ξήρανση για την εξασφάλιση σταθερού βάρους στο τρίτο δεκαδικό ψηφίο μεταξύ των διαδοχικών ζυγίσεων.

$$\text{Υγρασία (\%)} = 100 * [\text{Μάζα προ ξήρανσης (g)} - \text{μάζα μετά την ξήρανση (g)}] / \text{αρχική μάζα (g)}.$$

Σχήμα 4. Εξίσωση προσδιορισμού της εκατοστιαίας υγρασίας.



Εικόνα 3. Δείγματα 1g ψίχας από κάθε συνταγή έτοιμα προς ξήρανση

3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.3.1. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΖΥΜΗΣ ΚΑΙ ΨΩΜΙΟΥ (D+0)

3.3.1.1. Ωρίμανση στο φούρνο

Μετρούμενη παράμετρος	Δείγμα 1 (μάρτυρας)	Δείγμα 2 (μίγμα εμπορίου)	Δείγμα 3 (Σ)	Δείγμα 4 (I)	Δείγμα 5 (P)	Δείγμα 6 (K)
Ύψος ζύμης πριν την ωρίμανση (cm)	5.00* ± 0.00	5.00 ± 0.00	5.10 ± 0.17	5.00 ± 0.00	5.43 ± 0.12	5.83 ± 0.35
Ύψος ζύμης μετά την ωρίμανση (cm)	6.50 ± 0.50	7.67 ± 0.29	5.40 ± 0.17	5.33 ± 0.15	5.43 ± 0.06	5.73 ± 0.25
Ωρίμανση στο φούρνο (cm)	1.50	2.67	0.30	0.33	0.00	0.10

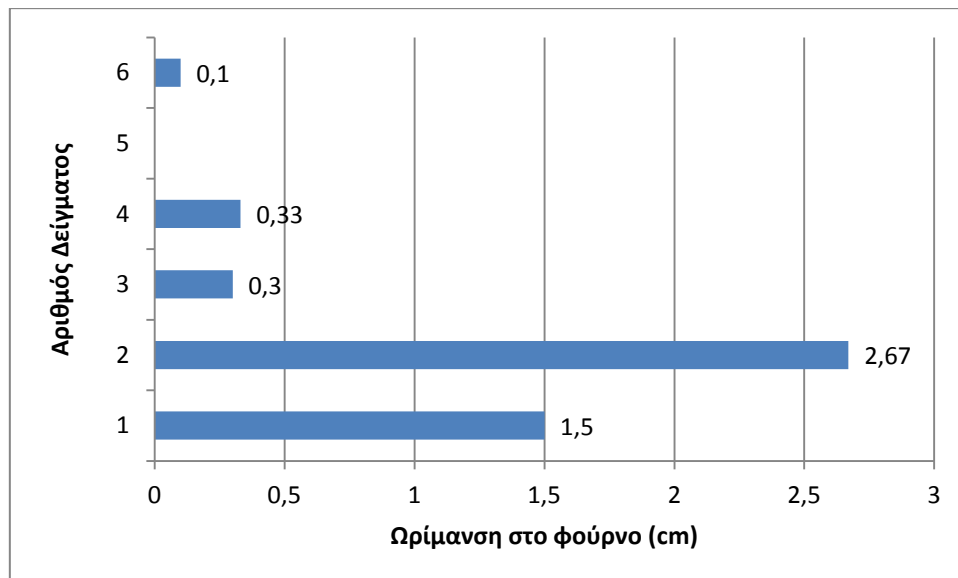
Πίνακας 4. Ωρίμανση στο φούρνο σε cm των 6 ειδών ψωμιού.

Ωρίμανση στο φούρνο (cm) = Ύψος ζύμης μετά την ωρίμανση (cm) - Ύψος ζύμης πριν την ωρίμανση (cm)

* Όλες οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο 3 μετρήσεων (1 μέτρηση σε κάθε καρβέλι της συνταγής) με τυπικές αποκλίσεις

Παρατηρούμε ότι η συνταγή 2(E) είχε τη μεγαλύτερη ωρίμανση στο φούρνο. Συγκρίνοντας με τις υπόλοιπες συνταγές βλέπουμε ότι αυτό συμβαίνει διότι η συνταγή 2 περιείχε μεγαλύτερη ποσότητα μαγιάς σε σχέση με τις υπόλοιπες και περιελάμβανε περισσότερα είδη αλεύρων (καλαμποκιού, φαγόπυρου, χαρουπιού). Η συνταγή μάρτυρας, αν και περιείχε γλουτένη, δεν είχε τη μεγαλύτερη ωρίμανση, καθώς περιείχε μόνο μαγιά και κανένα άλλο ενισχυτικό της δομής του, π.χ. υδροκολοειδή. Η συνταγή 5(P) είχε τη μικρότερη ωρίμανση, ουσιαστικά δεν αναπτύχθηκε καθόλου στο φούρνο. Σε αυτή τη

συνταγή κυριαρχεί το αλεύρι ρυζιού το οποίο παρουσιάζει τεχνολογικούς περιορισμούς στην αρτοποιητική διαδικασία, καθώς οι λειτουργικές ιδιότητες των πρωτεϊνών του δεν μπορούν να δημιουργήσουν δίκτυο παρόμοιο με αυτό της γλουτένης. Το ρυζάλευρο έχει διαφορετικό ποσοστό αποθηκευτικών πρωτεϊνών σε σχέση με το αλεύρι σίτου και έτσι η διόγκωση κατά την ωρίμανση είναι μικρότερη. Γενικά, με εξαίρεση το δείγμα 2, όλες οι υπόλοιπες συνταγές χωρίς γλουτένη παρουσίασαν μικρότερη ωρίμανση σε σχέση με το μάρτυρα, λόγω της απουσίας της γλουτένης. Να σημειωθεί ότι, το δείγμα 1(M) είχε μεγαλύτερη διόγκωση αλλά μόλις το βγάλαμε από τη στόφα (ωρίμανση) «κάθισε», πριν το βάλουμε στο φούρνο.



Σχήμα 5. Ωρίμανση δειγμάτων αρτοποιήσης στο φούρνο.

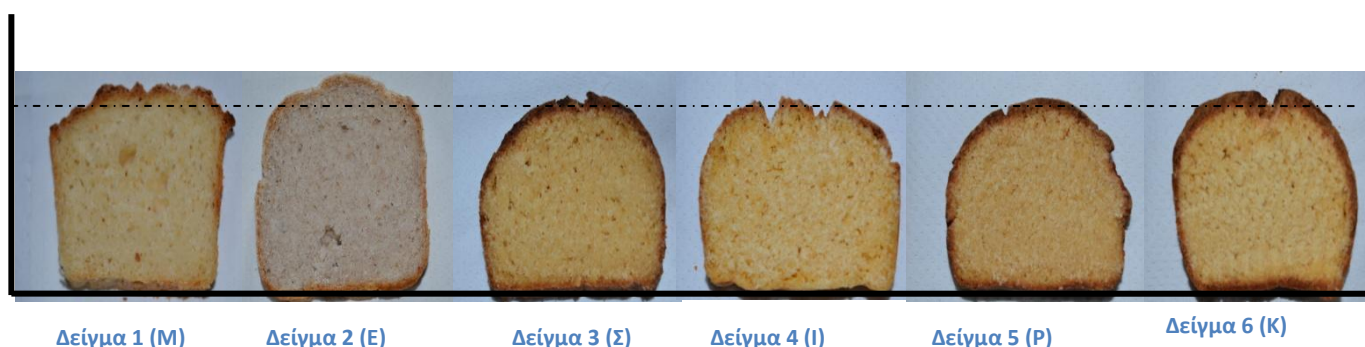
3.3.1.2. Αύξηση της ζύμης προς ψωμί

	Δείγμα 1(M)	Δείγμα 2(E)	Δείγμα 3(Σ)	Δείγμα 4(I)	Δείγμα 5(P)	Δείγμα 6(K)
Ύψος ψωμιού (cm)	6.3 ± 0.25 *	6.4 ± 0.75	5.7 ± 0.25	5.5 ± 0.15	5.8 ± 0.25	6.2 ± 0.26

Πίνακας 5. Ύψος της φέτας του ψωμιού από κάθε δείγμα

* Όλες οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο 3 μετρήσεων (1 μέτρηση σε κάθε καρβέλι της συνταγής) με τυπικές αποκλίσεις

cm



Σχήμα 6. Σύγκριση ύψους των ψωμιών από τις 6 διαφορετικές συνταγές. Από αριστερά προς τα δεξιά: δείγμα 1(Μ), δείγμα 2(Ε), δείγμα 3(Σ), δείγμα 4(Ι), δείγμα 5(Ρ), δείγμα 6(Κ).

Παρατηρούμε ότι μεγαλύτερο ύψος ψωμιού έδωσε η ζύμη του δείγματος 2(Ε). Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο ότι ως εμπορικό μείγμα, περιείχε συστατικά ενισχυτικά της δομής του ψωμιού, κόμμεα, υδροκολλοειδή, που ενισχύουν το φούσκωμα της ζύμης κατά το ψήσιμο. Ακολουθεί το δείγμα μάρτυρας, στο οποίο, παρόλο που είχε σχηματιστεί δίκτυο γλουτένης, δεν εμφάνισε το μεγαλύτερο ύψος. Από τα δείγματα χωρίς γλουτένη, το δείγμα 6(Κ) εμφάνισε το μεγαλύτερο ύψος, πλησιάζοντας αυτό του μάρτυρα, δίνοντας διόγκωση που ομοιάζει με αυτή του ψωμιού σίτου. Τα υπόλοιπα δείγματα χωρίς γλουτένη (3,4,5) παρουσίασαν παρόμοια ύψη, με το δείγμα 4(Ι) να έχει το χαμηλότερο.

3.3.1.3 Απώλεια υγρασίας κατά το ψήσιμο

Μετρούμενη Παράμετρος	Δείγμα 1 (μάρτυρας)	Δείγμα 2 (μίγμα εμπορίου)	Δείγμα 3 (Σ)	Δείγμα 4 (Ι)	Δείγμα 5 (Ρ)	Δείγμα 6 (Κ)
Βάρος ζύμης (g)	430.00 ± 0.00 *	435.00 ± 0.00	492.00 ± 0.00	521.00 ± 0.00	458.00 ± 0.00	460.00 ± 0.00
Βάρος ψωμιού (g)	363.67 ± 5.51	369.33 ± 6.03	420.00 ± 6.00	489.00 ± 2.83 **	403.00 ± 6.08	405.00 ± 2.00
Απώλεια υγρασίας κατά το ψήσιμο (g)	66.33	65.67	72.00	32.00	55.00	55.00
Εκατοστιαία απώλεια υγρασίας (%)	15.43	15.10	14.63	6.14	12.00	11.96

Πίνακας 6. Υγρασία (g) και υγρασία (%) που χάθηκε κατά το ψήσιμο

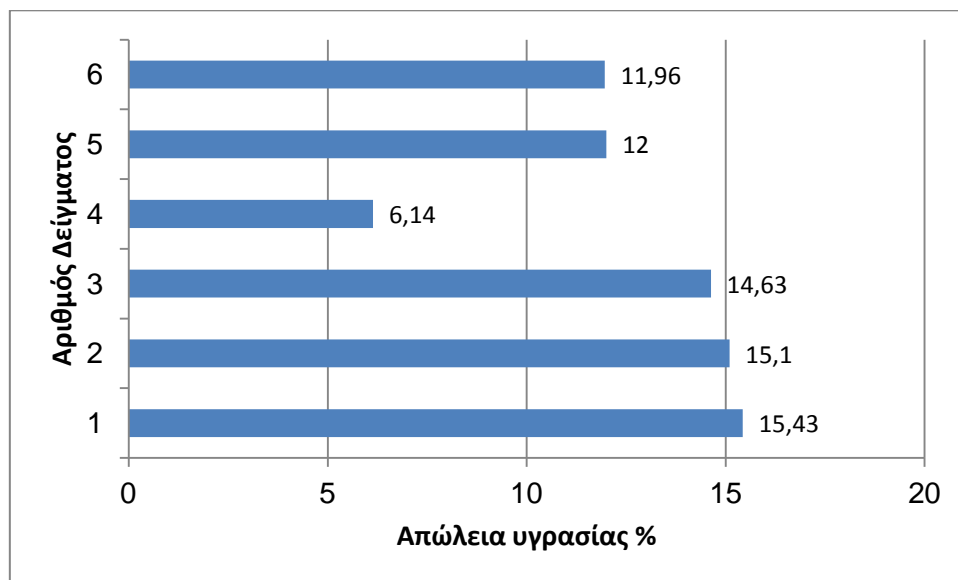
Απώλεια υγρασίας κατά το ψήσιμο (g) = Βάρος ζύμης (g) - Βάρος ψωμιού (g)

Εκατοστιαία απώλεια υγρασίας (%) = $100 * [(Βάρος ζύμης (g) - Βάρος ψωμιού (g)) / Βάρος ζύμης (g)]$

* Όλες οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο 3 μετρήσεων (1 μέτρηση σε κάθε καρβέλι) με τυπικές αποκλίσεις

** Μόνο σε αυτή την περίπτωση η τιμή προέκυψε από το μέσο όρο 2 μετρήσεων (2 καρβέλια), καθώς ένα από τα καρβέλια του δείγματος 4 θρυμματίστηκε κατά το ξεφούρνισμα και δε συμπεριλήφθηκε στη μέτρηση.

Παρατηρήθηκε ότι, η απώλεια υγρασίας ήταν μεγαλύτερη στο μάρτυρα και στο δείγμα με mix εμπορίου. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι τα δείγματα 3, 4, 5, 6 ήταν πολύ ρευστά και έτσι είχαν υψηλότερη περιεχόμενη υγρασία. Μεταξύ των ψωμιών χωρίς γλουτένη, τη μεγαλύτερη απώλεια υγρασίας είχε το δείγμα 2(E) με το έτοιμο mix. Αυτό το ψωμί είχε παρόμοια δομή με τον μάρτυρα, αλλά είχε μεγαλύτερη συνεκτικότητα. Το δείγμα 4(I) είχε τη μικρότερη απώλεια υγρασίας. Στο δείγμα 4 είχε προστεθεί άμυλο καλαμποκιού για να διευκολυνθεί ο χειρισμός της ζύμης που ήταν ρευστή και χωρίς συνοχή. Καθώς το άμυλο έχει μεγάλη προσροφητική ικανότητα υγρασίας, είναι πιθανό να συνέβαλε και στη μικρότερη απώλεια αυτής μεταξύ των δειγμάτων (Arendt E.K. *et al.*, 2008).



Σχήμα 7. Εκατοστιαία απώλεια υγρασίας κατά το ψήσιμο για κάθε δείγμα.

3.3.1.4. Ειδικός όγκος ψωμιού

Μετρούμενη Παράμετρος	Δείγμα 1 (μάρτυρας)	Δείγμα 2 (μίγμα εμπορίου)	Δείγμα 3 (Σ)	Δείγμα 4 (Ι)	Δείγμα 5 (Ρ)	Δείγμα 6 (Κ)
Όγκος ψωμιού (cm ³)	796.67 ± 5.77 *	551.67 ± 7.64	550.00 ± 10.00	675.00 ± 7.07	450.00 ± 10.00	465.00 ± 8.66
Βάρος ψωμιού (g)	363.67 ± 5.51	369.33 ± 6.03	420.00 ± 6.00	489.00 ± 2.83 **	403.00 ± 6.08	405.00 ± 2.00
Ειδικός όγκος (cm ³ /g)	2.19	1.49	1.31	1.38	1.12	1.45

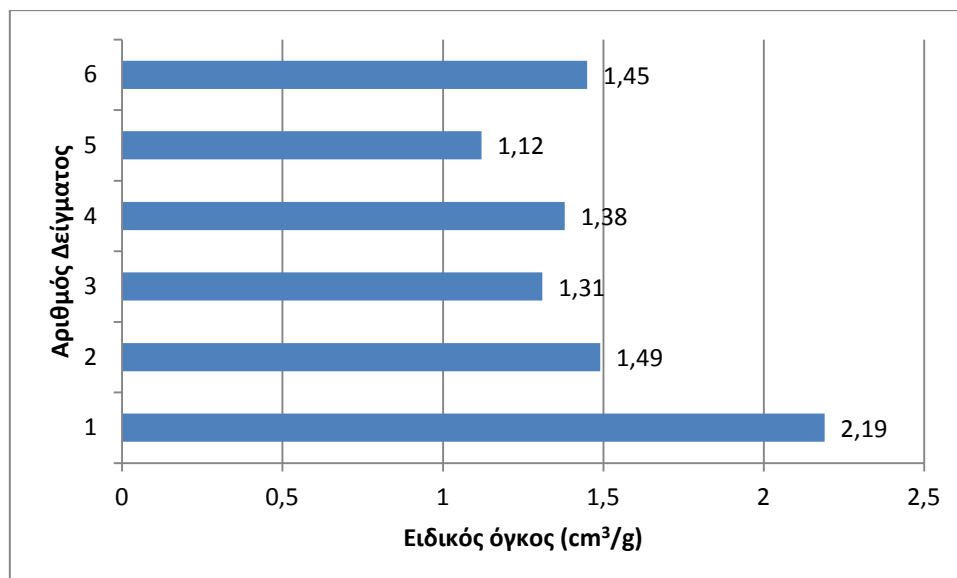
Πίνακας 7. Ειδικός όγκος ψωμιού για κάθε δείγμα

Ειδικός όγκος (cm³/g) = Όγκος ψωμιού (cm³) / Βάρος ψωμιού (g)

* Όλες οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο 3 μετρήσεων (1 μέτρηση σε κάθε καρβέλι της συνταγής) με τυπικές αποκλίσεις.

** Η συγκεκριμένη τιμή προέκυψε από το μέσο όρο 2 μετρήσεων (2 καρβέλια), λόγω καταστροφής ενός καρβελιού της συνταγής.

Ο ειδικός όγκος δείχνει εάν το ψωμί είναι πυκνό ή όχι. Μεγαλύτερο ειδικό όγκο εμφάνισε ο μάρτυρας, που σημαίνει ότι ήταν το λιγότερο πυκνό και σφιχτό ψωμί. Αυτό συμβαίνει λόγω της γλουτένης που αυξάνει την ικανότητα δέσμευσης αερίων και μπορεί έτσι να επιτευχθεί μεγαλύτερος όγκος στο τελικό ψωμί. Από τα ψωμιά χωρίς γλουτένη, τα δείγματα 2(Ε) και 6(Κ) είχαν τον μεγαλύτερο ειδικό όγκο, ενώ το δείγμα 5(Ρ) είχε το μικρότερο ειδικό όγκο. Άρα από τα ψωμιά χωρίς γλουτένη το δείγμα 5(Ρ), με τη μεγαλύτερη ποσοστιαία περιεκτικότητα σε αλεύρι ρυζιού, ήταν το πιο πυκνό στη δομή του με πολύ συνεκτική ψίχα, χωρίς να παρεμβάλλονται φυσαλίδες αέρα και η δομή του προσομοίαζε αυτήν του κέικ. Αυτό εξηγείται από το ότι η χρήση ρυζάλευρου δίνει αρτοσκευάσματα με μικρό όγκο, ανίκανα να συγκρατήσουν το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται κατά την επώαση της ζύμης (He & Hosenev, 1991).



Σχήμα 8. Ειδικός όγκος ψωμιού για κάθε δείγμα.

3.3.1.5. Εκατοστιαία Απόδοση ζύμης σε ψωμί

Μετρούμενη Παράμετρος	Δείγμα 1 (μάρτυρας)	Δείγμα 2 (μίγμα εμπορίου)	Δείγμα 3 (Σ)	Δείγμα 4 (I)	Δείγμα 5 (P)	Δείγμα 6 (K)
Βάρος ζύμης (g)	430.00 ± 0.00 *	435.00 ± 0.00	492.00 ± 0.00	521 .00± 0.00	458.00 ± 0.00	460.00 ± 0.00
Βάρος ψωμιού (g)	363.67 ± 5.51	369.33 ± 6.03	420.00 ± 6.00	489.00 ± 2.83 **	403.00 ± 6.08	405.00 ± 2.00
Απόδοση ζύμης σε ψωμί (%)	84.57	84.90	85.37	93.86	87.99	88.04

Πίνακας 8. Απόδοση της ζύμης (%) κάθε δείγματος

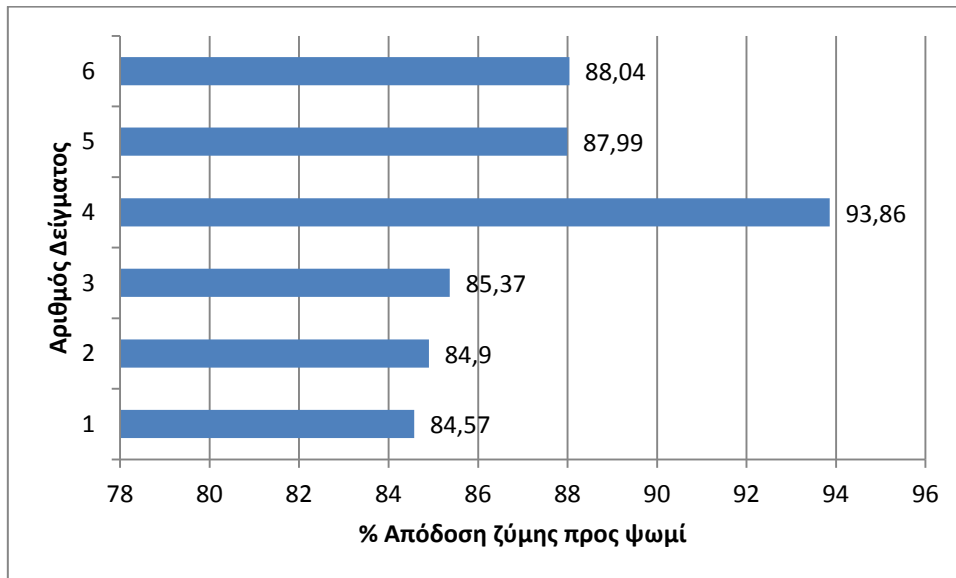
Απόδοση ζύμης σε ψωμί (%) = [Βάρος ψωμιού (g) / Βάρος ζύμης (g)] * 100

* Όλες οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο 3 μετρήσεων (1 μέτρηση σε κάθε καρβέλι της συνταγής) με τυπικές αποκλίσεις

** Η συγκεκριμένη τιμή προέκυψε από το μέσο όρο 2 μετρήσεων (2 καρβέλια), λόγω καταστροφής ενός καρβελιού της συνταγής.

Η απόδοση της ζύμης σε ψωμί ήταν υψηλότερη για όλα τα ψωμιά χωρίς γλουτένη σε σχέση με τον μάρτυρα. Την μεγαλύτερη απόδοση παρουσίασε το δείγμα 4(I). Η συνταγή αυτή περιείχε ισόποσες περιεκτικότητες των τριών αλεύρων και έξτρα ποσότητα αμύλου καλαμποκιού, το οποίο συνέβαλε στην τροποποίηση της λειτουργίας των πρωτεϊνών και

στο σχηματισμό ενός συνεχούς πρωτεϊνικού δικτύου, που θεωρείται σημείο κλειδί για την καλύτερη απόδοση των αλεύρων χωρίς γλουτένη.



Σχήμα 9. Εκατοστιαία απόδοση ζύμης σε ψωμί για κάθε δείγμα.

3.3.2. ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΟΡΑΣ ΚΑΙ ΨΙΧΑΣ

3.3.2.1. ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΟΠΗ ΤΩΝ ΚΑΡΒΕΛΙΩΝ (D+1)

Παρατηρήθηκε ότι, κατά τον τεμαχισμό του ψωμιού κάποια καρβέλια από συγκεκριμένες συνταγές ήταν δύσκολο να κοπούν. Συγκεκριμένα, το δείγμα 2(E) ήταν υπερβολικά σκληρό στην κόρα και στην ψίχα. Απαιτούνταν αρκετή δύναμη και αντίσταση για να διαπεράσει το μαχαίρι τη μάζα του ψωμιού. Το δείγμα 1(M) ήταν σκληρό μόνο εξωτερικά (κόρα), αλλά δε χρειαζόταν μεγάλη προσπάθεια για την κοπή της φέτας. Το δείγμα 4(I) δεν είχε δυσκολία στην κοπή, αλλά αυτή έπρεπε να γίνει με προσοχή, γιατί τα καρβέλια θρυμματίζονταν εύκολα και υπήρχε κίνδυνος αποσταθεροποίησης της δομής. Τα δείγματα 3(Σ), 5(P), 6(K)

είχαν ελαφρώς σκληρή κόρα, αλλά η όλη δομή τους θύμιζε περισσότερο κέικ και στο κόψιμο διακρινόταν μια λασπώδη υφή.

3.3.2.2. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΥΦΗ ΚΟΡΑΣ ΚΑΙ ΨΙΧΑΣ (D+1)

Δείγμα 1 (M)

Υπήρχε ανομοιομορφία στο σχηματισμό της κόρας. Το πάχος της ήταν μεγαλύτερο σε σχέση με άλλα δείγματα. Το χρώμα της ήταν ανοιχτό καφέ-μπεζ αλλά η πάνω επιφάνεια ήταν πιο σκούρα από την κάτω πλευρά. Το χρώμα της ψίχας ήταν ανοιχτό κίτρινο (βλ. εικόνα 4), καθώς χρησιμοποιήθηκε αλεύρι σίτου για όλες τις χρήσεις. Η ψίχα ήταν αρκετά ελαστική και εμφάνιζε μικρούς και μεγάλους πόρους, όχι όμως ομοιόμορφα κατανεμημένους και ισομεγέθεις. Το άρωμα ήταν αρκετά ευχάριστο, το χαρακτηριστικό άρωμα του κλασσικού ψωμιού σίτου.

Δείγμα 2 (E)

Το χρώμα της κόρας και της ψίχας ήταν πολύ ανοιχτό, προς το λευκό-μπεζ (βλ. εικόνα 4 και 5). Ολόκληρη η φέτα ήταν ουσιαστικά λευκή-μπεζ, καθώς το συγκεκριμένο μίγμα εμπορίου περιείχε αλεύρι χαρουπιού, ίνες φαγόπυρου και φύτρο καλαμποκιού. Η ψίχα του χρωματικά ήταν σχετικά κοντά στο μάρτυρα, αφού περιείχε μόνο το μίγμα αλεύρων και ξηρή μαγιά, χωρίς κάποιο άλλο επιπλέον συστατικό. Το χρώμα της κόρας ήταν ελαφρώς πιο σκούρο στο κάτω μέρος σε σχέση με το πάνω μέρος. Η ψίχα δεν παρουσίαζε ελαστικότητα και είχε μεγάλη συνεκτικότητα. Οι πόροι δεν ήταν ευδιάκριτοι, ήταν ελάχιστοι, διάσπαρτοι και ανομοιόμορφοι στο μέγεθος. Σαν ψωμί ήταν ιδιαίτερα σκληρό. Το άρωμα δεν ήταν ιδιαίτερα ελκυστικό, αλλά ούτε ενοχλητικό.

Δείγμα 3 (Σ)

Το χρώμα της κόρας ήταν πάρα πολύ σκούρο, σκούρο καφέ προς μαύρο (βλ. εικόνα 5), ωστόσο πιο ανοιχτό στο κάτω μέρος από ότι στο πάνω. Το χρώμα της ψίχας ήταν αρκετά κίτρινο, χρώμα σαν κέικ, καθώς περιείχε αλεύρι σόγιας σε μεγαλύτερη ποσότητα. Παρουσίαζε μικρή ελαστικότητα και ήταν πολύ συνεκτικό χωρίς πόρους. Η κόρα ήταν σχετικά σκληρή.

Δείγμα 4 (I)

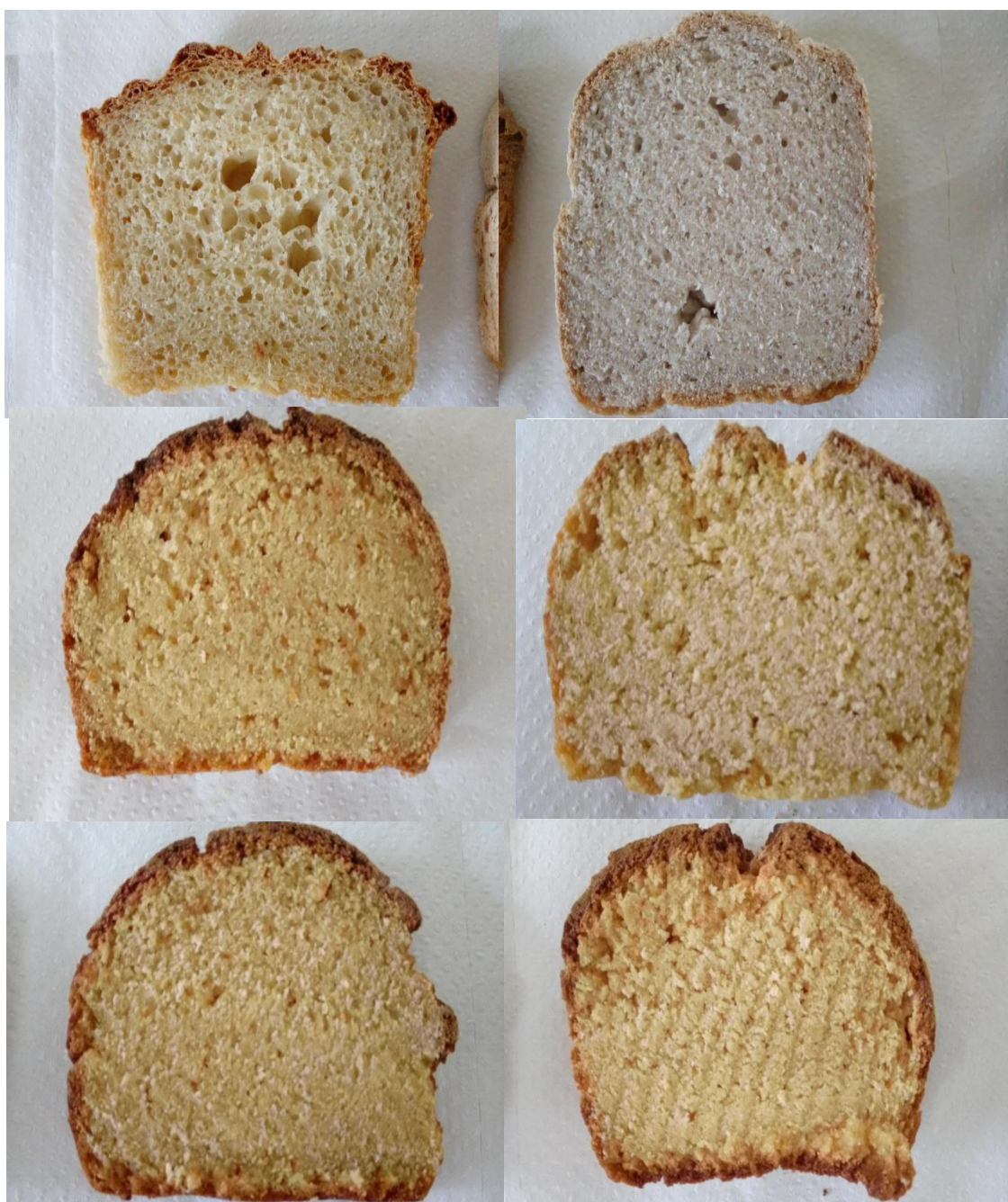
Διακρίνεται φυσιολογικός χρωματισμός της κόρας, με χρώμα σκούρο καφεκίτρινο, ωστόσο πιο ανοιχτόχρωμη στο κάτω μέρος της από ότι στο πάνω. Εξωτερικά έμοιαζε με το μάρτυρα, έχοντας όμοιο χρώμα και μορφή κόρας (βλ. εικόνα 5). Η ψίχα είχε χρώμα ανοιχτό κίτρινο, αφού στη συνταγή αυτή είχαμε προσθέσει επιπλέον ποσότητα αμύλου καλαμποκιού. Δεν υπήρχαν καθόλου πόροι (βλ. εικόνα 4). Η δομή ήταν πολύ ασταθής καθώς το ψωμί παρουσίαζε μεγάλη ευθρυπτότητα.

Δείγμα 5 (P)

Εξωτερικά ήταν πολύ σκούρο, με χρώμα κόρας προς το σκούρο καφέ. Το χρώμα της κόρας έμοιαζε με αυτό του δείγματος 3(Σ) αλλά ήταν ελαφρώς πιο ανοιχτό (βλ. εικόνα 5). Τόσο στο πάνω όσο και στο κάτω μέρος του καρβελιού η κόρα είχε το ίδιο σκούρο χρώμα. Η ψίχα ήταν σχετικά σκούρα προς το μπεζ-καφέ, καθώς το δείγμα περιείχε σε μεγαλύτερη ποσότητα αλεύρι ρυζιού. Δεν υπήρχαν πόροι και το ψωμί ήταν σκληρό και όχι ελαστικό. Η κόρα επίσης ήταν σχετικά σκληρή.

Δείγμα 6 (K)

Το χρώμα της κόρας ήταν σκούρο καφέ, με το ίδιο χρώμα στο πάνω και κάτω μέρος της, σχεδόν ίδιο σαν του δείγματος 5(P). Το πάχος και η σκληρότητα της κόρας ήταν μεγαλύτερα από τα άλλα δείγματα. Το χρώμα της ψίχας ήταν σκούρο καφεκίτρινο, καθώς στη συνταγή αυτή υπερτερούσε το αλεύρι καλαμποκιού. Η ψίχα δεν παρουσίαζε ελαστικότητα και ήταν αρκετά λασπώδης. Η δομή του φαινόταν συνεκτική, χωρίς ευδιάκριτους πόρους (βλ. εικόνα 4).



Εικόνα 4. Απεικονίζονται φέτες από κάθε δείγμα με σειρά από αριστερά προς δεξιά: δείγμα 1(M), δείγμα 2(E), δείγμα 3(Σ), δείγμα 4(I), δείγμα 5(P), δείγμα 6(K).

Συνολικά,

- Ο μάρτυρας είχε μια πιο πορώδη ψίχα, που «αναπνέει», με μεγαλύτερους πόρους, σε αντίθεση με τα δείγματα χωρίς γλουτένη τα οποία ήταν αρκετά συμπαγή και με πολύ μικρές κυψελίδες, συνδυασμός που μείωνε την αφρατότητα.
- Τα ψωμιά χωρίς γλουτένη κυμάνθηκαν στην παλέτα του κίτρινου-καφέ, το δείγμα από το μείγμα εμπορίου στο υπόλευκο-γκρι-μπεζ χρώμα και το δείγμα 1 είχε το αναμενόμενο χρώμα ψωμιού σίτου.
- Στην εμφάνιση το δείγμα 4(I) έμοιαζε πιο πολύ στο μάρτυρα, στο χρώμα κόρας και στο χρώμα ψίχας.
- Η κόρα του δείγματος 3(Σ) ήταν με διαφορά η πιο σκουρόχρωμη λόγω του χαρακτηριστικού χρώματος του αλεύρου σόγιας.
- Ο μάρτυρας είχε μια πιο καλοσηματισμένη κόρα, ανώμαλη και με περισσότερα σκαμπανεβάσματα, όμως χωρίς ρωγμές που παρατηρήθηκαν στα ψωμιά χωρίς γλουτένη 3,4,5,6.
- Παρατηρήθηκε μεγαλύτερο πάχος κόρας στα δείγματα 1(M) και 6(K) σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα, ενώ το δείγμα 2(E) παρατηρήθηκε να έχει το πιο λεπτό πάχος κόρας.
- Το δείγμα 2(E) εμφάνισε τη μεγαλύτερη σκληρότητα μεταξύ των δειγμάτων.
- Όσο αφορά την ελαστικότητα το δείγμα 1(M) φάνηκε να κυριαρχεί, να ακολουθεί το δείγμα 3(Σ), ενώ τα δείγματα 4(I),5(P),6(K) παρουσίασαν την ίδια περίπου ελαστικότητα.



Εικόνα 5. Απεικόνιση των καρβελιών από κάθε συνταγή. Παρουσιάζονται με σειρά από πάνω προς τα κάτω: δείγμα 1(M), δείγμα 2(E), δείγμα 3(Σ), δείγμα 4(I), δείγμα 5(P), δείγμα 6(K).

3.3.2.3. ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΝ D+3

Μετά από τρεις μέρες αποθήκευσης όλα τα δείγματα ήταν ξερά και ο τεμαχισμός σε φέτες ήταν εξαιρετικά δύσκολος. Εξαιρεση αποτελούσε το δείγμα 3(Σ) που ήταν ακόμα μαλακό και λασπώδες στην ψίχα του και θύμιζε την εικόνα του κατά την D+1, και το δείγμα 1(M) που είχε ξεραθεί μερικώς και είχε αυξηθεί η σκληρότητά του, αλλά στο κέντρο της ψίχας διατηρούσε κάποια υγρασία και ελαστικότητα. Επίσης και το δείγμα 5(P) φάνηκε μαλακό και λασπώδες στο κέντρο της φέτας, αλλά σε μικρότερο βαθμό.

3.3.3. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ (D+1 - D+3)

Η επίδραση του χρόνου αποθήκευσης στην κατάσταση του ψωμιού, δηλαδή το μπαγιάτεμα, πραγματοποιήθηκε με έλεγχο της υγρασίας της ψίχας κατά τη διάρκεια των τριών ημερών αποθήκευσης (D+1 - D+3) για κάθε δείγμα.

Να σημειωθεί ότι:

- Οι ξηράνσεις επαναλήφθηκαν μέχρι σταθεροποίησης 3^{ου} δεκαδικού
- Οι μετρήσεις της υγρασίας κάθε ημέρας πραγματοποιήθηκαν σε 6 δείγματα ψίχας του 1g (ένα δείγμα ψίχας από κάθε συνταγή), κάθε ένα από τα οποία λήφθηκε από 1 καρβέλι κάθε συνταγής, διότι τα υπόλοιπα δύο καρβέλια χρησιμοποιήθηκαν στις οργανοληπτικές δοκιμές.
- Υγρασία (g) = δείγμα (g) πριν την ξήρανση – δείγμα (g) στην τελευταία ξήρανση

ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΟ ΔΕΙΓΜΑ 1 (ΜΑΡΤΥΡΑΣ)

D+1					
	Πριν την ξήρανση	Μετά την ξήρανση			
		1 ^η	2 ^η	3 ^η	
Δείγμα 1 (g)	0.9273	0.5526	0.5497	0.5496	
Υγρασία(g)				0.3777	
Υγρασία (%)				40.7311	
D+2					
	Πριν την ξήρανση	Μετά την ξήρανση			
		1 ^η	2 ^η	3 ^η	
Δείγμα 1 (g)	1.0100	0.6491	0.6466	0.6462	
Υγρασία (g)				0.3638	
Υγρασία (%)				36.0198	
D+3					
	Πριν την ξήρανση	Μετά την ξήρανση			
		1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η
Δείγμα 1(g)	0.9683	0.5940	0.5913	0.5903	0.5903
Υγρασία (g)					0.3780
Υγρασία (%)					39.0374

Πίνακας 9. Μετρήσεις βάρους και υπολογισμός υγρασίας (g και %) του δείγματος 1 μετά από διαδοχικές ξηράνσεις στο διάστημα D+1 – D+3.

ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΟ ΔΕΙΓΜΑ 2 (ΜΙΓΜΑ ΕΜΠΟΡΙΟΥ)

D+1					
	Πριν την ξήρανση	Μετά την ξήρανση			
		1 ^η	2 ^η	3 ^η	
Δείγμα 2(g)	0.9528	0.5471	0.5465	0.5463	
Υγρασία (g)				0.4065	
Υγρασία (%)				42.6337	
D+2					
	Πριν την ξήρανση	Μετά την ξήρανση			
		1 ^η	2 ^η	3 ^η	
Δείγμα 2(g)	1.0100	0.6810	0.6783	0.6780	
Υγρασία (g)				0.3320	
Υγρασία (%)				32.8713	
D+3					
	Πριν την ξήρανση	Μετά την ξήρανση			
		1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η
Δείγμα 2(g)	1.0013	0.6438	0.6403	0.6402	0.6402
Υγρασία (g)					0.3611
Υγρασία (%)					36.0631

Πίνακας 10. Μετρήσεις βάρους και υπολογισμός υγρασίας (g και %) του δείγματος 2 μετά από διαδοχικές ξηράνσεις στο διάστημα D+1 – D+3.

ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΟ ΔΕΙΓΜΑ 3 (Σ)

D+1					
	Πριν την ξήρανση	Μετά την ξήρανση			
		1 ^η	2 ^η	3 ^η	
Δείγμα 3(g)	1.0104	0.5849	0.5817	0.5816	
Υγρασία (g)				0.4288	
Υγρασία (%)				42.4386	
D+2					
	Πριν την ξήρανση	Μετά την ξήρανση			
		1 ^η	2 ^η	3 ^η	
Δείγμα 3(g)	1.0038	0.5949	0.5908	0.5907	
Υγρασία (g)				0.4131	
Υγρασία (%)				41.1536	
D+3					
	Πριν την ξήρανση	Μετά την ξήρανση			
		1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η
Δείγμα 3(g)	1.1355	0.6922	0.6885	0.6879	0.6871
Υγρασία (g)					0.4484
Υγρασία (%)					39.4892

Πίνακας 11. Μετρήσεις βάρους και υπολογισμός υγρασίας (g και %) του δείγματος 3 μετά από διαδοχικές ξηράνσεις στο διάστημα D+1 – D+3.

ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΟ ΔΕΙΓΜΑ 4 (Ι)

D+1					
	Πριν την ξήρανση	Μετά την ξήρανση			
		1 ^η	2 ^η	3 ^η	
Δείγμα 4(g)	1.0798	0.6623	0.6616	0.6615	
Υγρασία (g)				0.4183	
Υγρασία (%)				38.7387	
D+2					
	Πριν την ξήρανση	Μετά την ξήρανση			
		1 ^η	2 ^η	3 ^η	
Δείγμα 4(g)	1.0165	0.6109	0.6077	0.6074	
Υγρασία (g)				0.4091	
Υγρασία (%)				40.2459	
D+3					
	Πριν την ξήρανση	Μετά την ξήρανση			
		1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η
Δείγμα 4(g)	1.0832	0.7046	0.7027	0.7027	0.7025
Υγρασία (g)					0.3807
Υγρασία (%)					35.1459

Πίνακας 12. Μετρήσεις βάρους και υπολογισμός υγρασίας (g και %) του δείγματος 4 μετά από διαδοχικές ξηράνσεις στο διάστημα D+1 – D+3.

ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΟ ΔΕΙΓΜΑ 5 (Ρ)

D+1					
	Πριν την ξήρανση	Μετά την ξήρανση			
		1 ^η	2 ^η	3 ^η	
Δείγμα 5(g)	1.1481	0.7210	0.7192	0.7191	
Υγρασία (g)				0.4290	
Υγρασία (%)				37.3661	
D+2					
	Πριν την ξήρανση	Μετά την ξήρανση			
		1 ^η	2 ^η	3 ^η	
Δείγμα 5(g)	1.0074	0.6394	0.6359	0.6353	
Υγρασία (g)				0.3721	
Υγρασία (%)				36.9367	
D+3					
	Πριν την ξήρανση	Μετά την ξήρανση			
		1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η
Δείγμα 5(g)	0.9982	0.6523	0.6495	0.6491	0.6489
Υγρασία (g)					0.3493
Υγρασία (%)					34.9930

Πίνακας 13. Μετρήσεις βάρους και υπολογισμός υγρασίας (g και %) του δείγματος 5 μετά από διαδοχικές ξηράνσεις στο διάστημα D+1 – D+3.

ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΟ ΔΕΙΓΜΑ 6 (Κ)

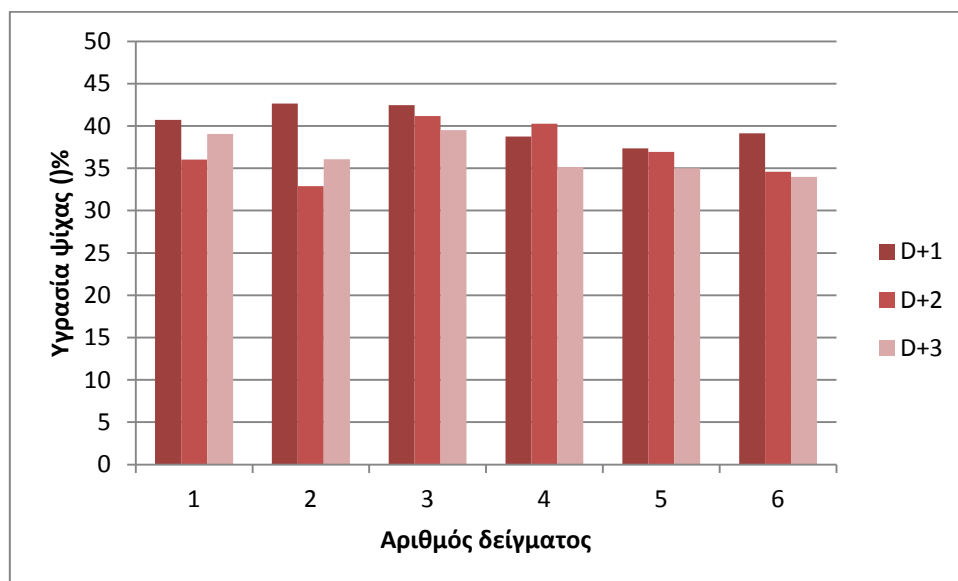
D+1					
	Πριν την ξήρανση	Μετά την ξήρανση			
		1 ^η	2 ^η	3 ^η	
Δείγμα 6(g)	1.0953	0.6683	0.6673	0.6669	
Υγρασία (g)				0.4284	
Υγρασία (%)				39.1126	
D+2					
	Πριν την ξήρανση	Μετά την ξήρανση			
		1 ^η	2 ^η	3 ^η	
Δείγμα 6(g)	1.0056	0.6618	0.6578	0.6578	
Υγρασία (g)				0.3478	
Υγρασία (%)				34.5863	
D+3					
	Πριν την ξήρανση	Μετά την ξήρανση			
		1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η
Δείγμα 6(g)	1.0868	0.7201	0.7185	0.7182	0.7176
Υγρασία (g)					0.3692
Υγρασία (%)					33.9713

Πίνακας 14. Μετρήσεις βάρους και υπολογισμός υγρασίας (g και %) του δείγματος 6 μετά από διαδοχικές ξηράνσεις στο διάστημα D+1 – D+3.

ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ % ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ D+1 ΕΩΣ D+3

	D+1	D+2	D+3
Δείγμα 1	40.7311	36.0198	39.0374
Δείγμα 2	42.6337	32.8713	36.0631
Δείγμα 3	42.4386	41.1536	39.4892
Δείγμα 4	38.7387	40.2459	35.1459
Δείγμα 5	37.3661	36.9367	34.9930
Δείγμα 6	39.1126	34.5863	33.9713

Πίνακας 15. Περιεκτικότητα υγρασίας (%) της ψίχας κατά τη διάρκεια των τριών ημερών αποθήκευσης (D+1 - D+3) για κάθε δείγμα.



Σχήμα 10. Περιεκτικότητα υγρασίας (%) στα 6 δείγματα κατά τη διάρκεια των τριών μερών αποθήκευσης (D+1 – D+3).

Παρατηρήθηκε ότι το δείγμα 1(M) τη δεύτερη μέρα αποθήκευσης παρουσίασε μια πτώση της υγρασίας στην ψίχα του αλλά την τρίτη μέρα η υγρασία αυξήθηκε πάλι. Φαίνεται ότι το δείγμα 1 απορρόφησε υγρασία από το περιβάλλον την τελευταία μέρα αποθήκευσης.

Γενικά παρατηρήθηκε σημαντική απώλεια υγρασίας στο δείγμα 2(E) κατά τη δεύτερη μέρα αποθήκευσης. Επομένως, μετά την πρώτη μέρα αποθήκευσης φάνηκε ευαισθησία στο μαγαιάτεμα.

Στο δείγμα 3(Σ) η υγρασία στην ψίχα παρέμεινε σε σχεδόν σταθερά επίπεδα κατά τη διάρκεια και των τριών ημερών αποθήκευσης. Αυτή η σταθερότητα της υγρασίας δείχνει ότι

η ψίχα διατηρείται φρέσκια για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Η σύστασή του βοηθά στη διατήρηση υγρασίας για περισσότερο χρόνο από κάποια άλλα.

Μέχρι τη δεύτερη μέρα το δείγμα 4(I) φάνηκε να διατηρεί την υγρασία του. Όμως την τρίτη μέρα υπήρξε πτώση της υγρασίας. Η ψίχα σε αυτή τη συνταγή φάνηκε ότι την τρίτη μέρα αποθήκευσης αρχίζει να μπαγιατεύει.

Στο δείγμα 5(P) η υγρασία στην ψίχα διατηρήθηκε σταθερή τις δύο πρώτες μέρες, και την τρίτη μέρα παρουσίασε ελάχιστη πτώση. Αυτή η μικρή πτώση της υγρασίας, που δε συνέβη αισθητά παρά μόνο την τρίτη μέρα, δείχνει ότι η ψίχα ξεραίνεται σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και άρα υπάρχει μεγαλύτερη διάρκεια στο χρόνο.

Το δείγμα 6(K) έχασε από τη δεύτερη κιόλας μέρα μέρος της υγρασίας του, την οποία διατήρησε σε αυτά τα χαμηλά επίπεδα και την τρίτη μέρα. Αυτή η καθοδική πορεία της υγρασίας έδειξε ότι η ψίχα ξεραίνεται σε μικρότερο χρονικό διάστημα και άρα υπάρχει ευπάθεια στο μπαγιατέμα και μικρότερη διάρκεια στο χρόνο.

Την πρώτη ημέρα αποθήκευσης τα δείγματα 2(E) και 3(Σ) δεν παρουσίασαν σημαντική διαφορά μεταξύ τους και είχαν την υγρασία τους σε υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με τα άλλα δείγματα.

Τη δεύτερη μέρα αποθήκευσης το δείγμα 3(Σ) εξακολούθησε να παρουσιάζει την μεγαλύτερη υγρασία στην ψίχα, ενώ η υγρασία του δείγματος 2(E) μειώθηκε κατακόρυφα.

Την τρίτη μέρα αποθήκευσης το δείγμα 3(E) εξακολουθεί να διατηρεί τα επίπεδα υγρασίας ψίχας υψηλότερα. Ωστόσο το δείγμα 6(K) φάνηκε να μην μπορεί να αντέξει μέχρι τρεις μέρες.

Τα δείγματα 1(M), 2(E), 4(I) πήραν υγρασία κατά την αποθήκευση με αποτέλεσμα η υγρασία της ψίχας να αυξηθεί την τρίτη μέρα για τα 1, 2 και την δεύτερη μέρα για το 4, που όμως την τρίτη μέρα παρουσίασε πάλι πτώση. Οι πιθανοί παράγοντες που μπορεί να επηρέασαν την απορρόφηση υγρασίας από το περιβάλλον είναι οι ακατάλληλες συνθήκες και τρόπος αποθήκευσης και ο εσφαλμένος χειρισμός των δειγμάτων κατά τις μετρήσεις, που μπορεί να οδήγησε σε προσρόφηση υγρασίας μεταξύ των διαδοχικών ξηράνσεων.

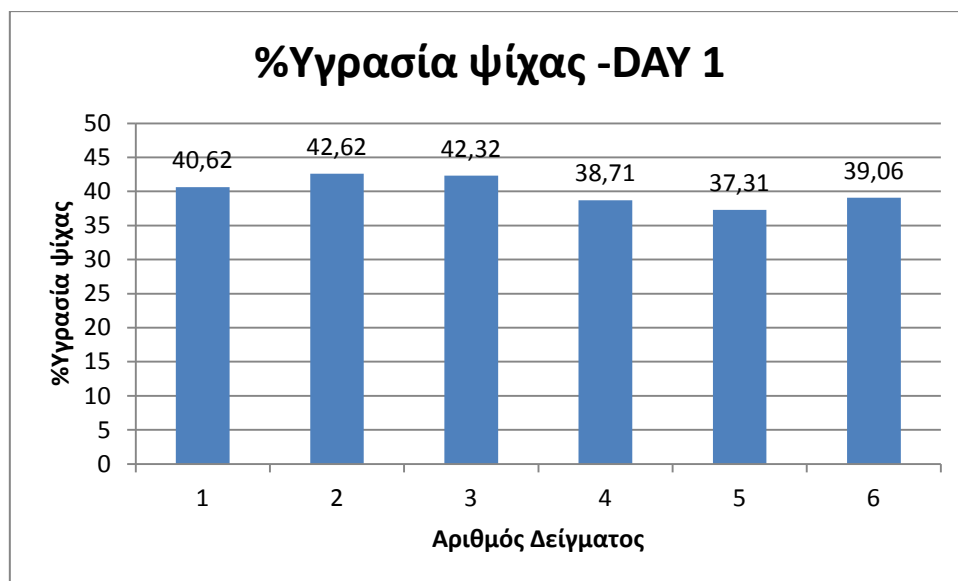
Από την άλλη τα δείγματα 3(Σ),5(P),6(K) παρουσίασαν μια σταθερή πτώση της περιεχόμενης υγρασίας τους με την πάροδο του χρόνου, αποδεικνύοντας το αναμενόμενο μπαγιατέμα.

Ωστόσο το δείγμα 6 παρουσίασε απότομη πτώση υγρασίας από την πρώτη ημέρα αποθήκευσης.

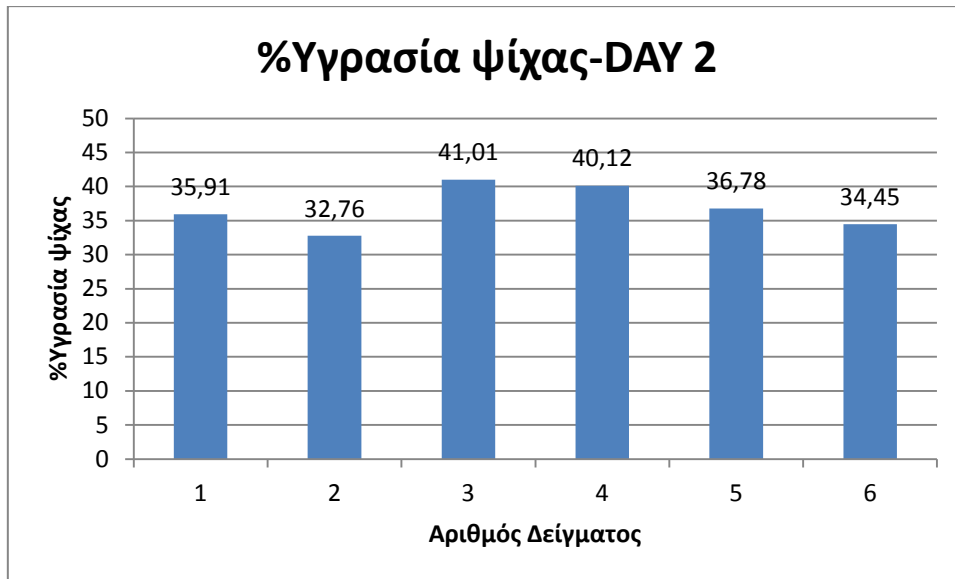
Τα δείγματα 2,3 παρουσίασαν το υψηλότερο περιεχόμενο υγρασίας την πρώτη μέρα, ενώ το δείγμα 5 τη μικρότερη περιεχόμενη υγρασία.

Τη μεγαλύτερη απώλεια υγρασίας κατά την αποθήκευση φάνηκε να παρουσιάζουν τα δείγματα 6(Κ) και 2(Ε), γεγονός που φανερώνει την μεγαλύτερη ευπάθειά τους με το πέρασμα του χρόνου.

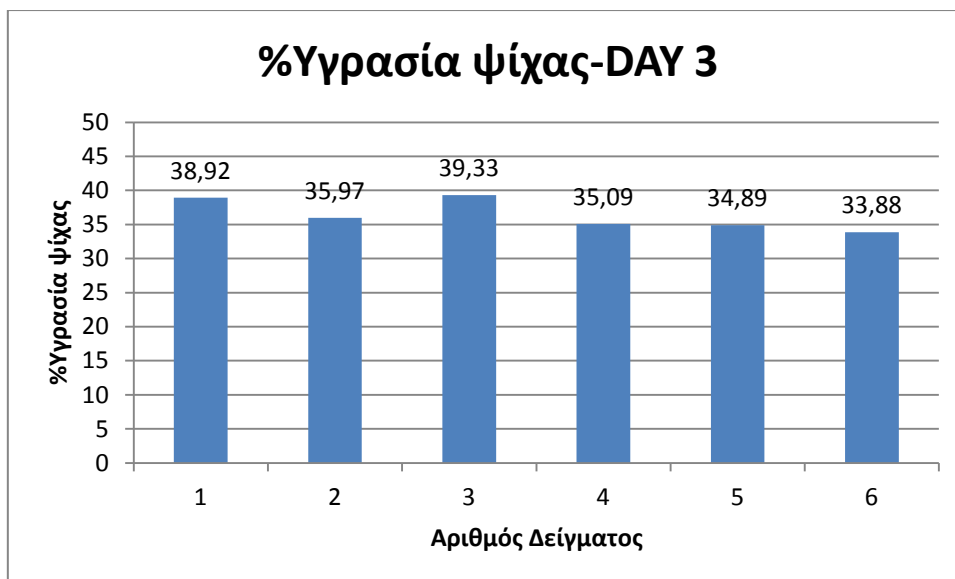
Αντίθετα τα δείγματα 3(Σ) και 5(Ρ), παρουσίασαν μια σταθερή απώλεια υγρασίας, αλλά αυτή ήταν πολύ μικρή, κάνοντάς τα να εμφανίζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην απώλεια υγρασίας κατά την αποθήκευση και άρα μεγαλύτερη διατηρησιμότητα.



Σχήμα 11. Περιεκτικότητα υγρασίας (%) των δειγμάτων την D+1.



Σχήμα 12. Περιεκτικότητα υγρασίας (%) των δειγμάτων την D+2.



Σχήμα 13. Περιεκτικότητα υγρασίας (%) των δειγμάτων την D+3.

3.3.4. ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ - ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων από τα ερωτηματολόγια έγινε χρησιμοποιώντας το λογισμικό SPSS 23 με το οποίο πραγματοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για τον έλεγχο της σημαντικότητας της επίδρασης των αλεύρων στις επιμέρους ιδιότητες των άρτων. Η σημαντικότητα ορίστηκε για p-value <0.05.

Όπου η ανάλυση διακύμανσης έδειξε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δειγμάτων, εφαρμόστηκε ο έλεγχος Tukey, με σύγκριση των μέσων όρων των δειγμάτων, ώστε να διαπιστωθεί μεταξύ ποιών δειγμάτων εντοπιζόταν η διαφορά και με ποιο τρόπο διέφεραν.

3.3.4.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΔΕΙΓΜΑ 1 (ΜΑΡΤΥΡΑΣ)	ΔΕΙΓΜΑ 2 (ΜΙΓΜΑ ΕΜΠΟΡΙΟΥ)	ΔΕΙΓΜΑ 3 (Σ)	ΔΕΙΓΜΑ 4 (Ι)	ΔΕΙΓΜΑ 5 (Ρ)	ΔΕΙΓΜΑ 6 (Κ)
ΕΜΦΑΝΙΣΗ	5.55a ± 1.24 *	4.55ab ± 1.68	4.17b ± 1.54	4.28b ± 1.58	4.14b ± 1.68	4.34b ± 1.47
ΧΡΩΜΑ ΚΟΡΑΣ	5.21a** ± 1.66	4.41abc ± 1.94	3.24c ± 1.57	4.90ab ± 1.52	3.72 bc ± 2.02	4.03abc ± 1.72
ΧΡΩΜΑ ΨΙΧΑΣ	5.52a ± 1.48	4.00b ± 1.85	3.83b ± 1.58	4.83ab ± 1.23	4.48ab ± 1.35	4.45ab ± 1.50
ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ ΧΡΩΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΟΡΑΣ	5.24a ± 1.77	4.72a ± 1.58	4.31a ± 1.65	4.38a ± 1.52	4.66a ± 1.72	4.72a ± 1.81
ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΤΗΣ ΨΙΧΑΣ	4.79a ± 1.86	4.62a ± 1.86	4.45a ± 1.62	4.17a ± 1.63	4.14a ± 1.88	4.31a ± 1.71
ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΨΙΧΑΣ	5.55a ± 1.68	3.00b ± 2.00	3.66b ± 1.86	3.00b ± 1.65	2.83b ± 1.77	2.86b ± 1.43
ΕΥΘΥΡΥΠΤΟΤΗΤΑ	5.03a ± 1.84	3.62b ± 1.95	4.14ab ± 1.68	3.72b ± 1.62	3.90ab ± 1.61	3.62b ± 1.50
ΑΡΩΜΑ	5.07a ± 1.49	3.76b ± 1.84	4.21ab ± 1.63	4.14ab ± 1.57	4.03b ± 1.45	4.76ab ± 1.62
ΓΕΥΣΗ	5.34a ± 1.52	3.79b ± 1.74	3.97b ± 1.61	3.97b ± 1.72	3.69b ± 1.51	4.03b ± 1.64
ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΨΙΧΑΣ	5.03a ± 1.86	4.34ab ± 1.61	4.59ab ± 1.70	3.83b ± 1.51	4.00ab ± 1.51	4.41ab ± 1.94
ΤΡΑΓΑΝΟΤΗΤΑ ΨΙΧΑΣ	4.52a ± 1.81	3.86a ± 1.66	4.21a ± 1.54	4.00a ± 1.63	4.31a ± 1.67	4.31a ± 1.79
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	4.52ab ± 1.77	3.31a ± 1.75	4.31ab ± 1.51	4.48ab ± 1.70	4.28ab ± 1.75	4.72b ± 1.49
ΔΥΣΚΟΛΙΑ ΜΑΣΗΣΗΣ	4.41a ± 1.57	3.55a ± 1.88	4.38a ± 1.40	4.10a ± 1.78	3.79a ± 1.57	4.62a ± 1.54
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΟΔΕΚΤΟΤΗΤΑ	5.24a ± 1.62	3.38b ± 2.24	3.45b ± 1.50	3.90b ± 1.68	3.97ab ± 1.50	4.00ab ± 1.54

Πίνακας 16. Μέση βαθμολογία των 29 δοκιμασιών στα διάφορα χαρακτηριστικά του ψωμιού, για κάθε δείγμα.

*Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους με τις τυπικές αποκλίσεις.

**Διαφορετικά γράμματα εντός των σειρών φανερώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά ($P < 0.05$)

Εμφάνιση: Παρατηρήθηκε ότι υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα (ψωμί με αλεύρι σίτου) και των δειγμάτων 3 ($p=0,010$), 4 ($p=0,023$), 5 ($p=0,008$), 6 ($p=0,038$). Δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα και του δείγματος 2(E) ($p=0,138$), όσο και μεταξύ του δείγματος 2 και των δειγμάτων 3,4,5,6 .

Μεταξύ των δειγμάτων χωρίς γλουτένη το δείγμα 2(E) ήταν αυτό που εκτιμήθηκε από τους δοκιμαστές να έχει την καλύτερη εμφάνιση, καθώς έμοιαζε με το μάρτυρα. Το δείγμα 2 είχε αναλογίες αλεύρων που δίνουν στο ψωμί την εμφάνιση που έχει συνηθίσει ο καταναλωτής να βλέπει στο ψωμί εμπορίου.

Χρώμα κόρας: Παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα και του δείγματος 3(Σ) ($p=0,001$) και 5(P) ($p=0,018$) (βλ. εικόνα 4). Επίσης υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δειγμάτων 3(Σ) και 4(I) ($p=0,005$). Δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα και των δειγμάτων 2 ($p=0,515$), 4 ($p=0,984$), 6 ($p=0,114$), καθώς και μεταξύ του δείγματος 2(E) και των 3,4,5,6 ούτε μεταξύ του δείγματος 3(Σ) και των δειγμάτων 2(E),5(P),6(K), ούτε μεταξύ του δείγματος 4(I) και των 1,2,5,6, ούτε μεταξύ του δείγματος 5(P) και των δειγμάτων 2,3,4,6, καθώς ούτε μεταξύ του δείγματος 6(K) σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα.

Μεταξύ των δειγμάτων χωρίς γλουτένη το δείγμα 4(I) εκτιμήθηκε να έχει το καλύτερο χρώμα κόρας.

Χρώμα ψίχας: Παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα και των δειγμάτων 2(E) ($p=0,003$) και 3(Σ) ($p=0,001$). Δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα και των δειγμάτων 4(I) ($p=0,509$), 5(P) ($p=0,102$), 6(K) ($p=0,082$), καθώς ούτε μεταξύ των δειγμάτων 2(E),3(Σ) σε σχέση με τα δείγματα 4,5,6.

Μεταξύ των δειγμάτων χωρίς γλουτένη το δείγμα 4(I) εκτιμήθηκε να έχει το καλύτερο χρώμα ψίχας (βλ. εικόνα 4).

Ομοιομορφία χρωματισμού κόρας: Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δειγμάτων ($p > 0,05$).

Ομοιομορφία πορώδους ψίχας: Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δειγμάτων ($p > 0,05$).

Ελαστικότητα ψίχας: Παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα και όλων των υπόλοιπων δειγμάτων ($p = 0,001$), ενώ δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δειγμάτων 2,3,4,5,6.

Μεταξύ των δειγμάτων χωρίς γλουτένη το δείγμα 3(Σ) εκτιμήθηκε να έχει την πιο επιθυμητή ελαστικότητα ψίχας.

Ευθρυπτότητα: Παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα και των δειγμάτων 2(Ε) ($p = 0,023$), 4(Ι) ($p = 0,045$), 6(Κ) ($p = 0,023$). Δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα και των δειγμάτων 3(Σ) ($p = 0,348$), 5(Ρ) ($p = 0,120$), καθώς ούτε μεταξύ των δειγμάτων 2,3,4,5,6.

Μεταξύ των δειγμάτων χωρίς γλουτένη το δείγμα 3(Σ) εκτιμήθηκε να έχει την πιο επιθυμητή ευθρυπτότητα.

Άρωμα: Παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα και των δειγμάτων 2(Ε) ($p = 0,027$), 5(Ρ) ($p = 0,023$). Δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα και των δειγμάτων 3(Σ) ($p = 0,323$), 4(Ι) ($p = 0,240$), 6(Κ) ($p = 0,977$), καθώς ούτε μεταξύ των δειγμάτων 2,3,4,5,6.

Μεταξύ των δειγμάτων χωρίς γλουτένη το δείγμα 6(Κ) εκτιμήθηκε να έχει το καλύτερο άρωμα.

Γεύση: Υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα και όλων των υπόλοιπων δειγμάτων ($p = 0,005$, $p = 0,018$, $p = 0,018$, $p = 0,002$, $p = 0,030$). Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δειγμάτων 2,3,4,5,6 ($p > 0,05$).

Μεταξύ των δειγμάτων χωρίς γλουτένη το δείγμα 6(Κ) εκτιμήθηκε να έχει την καλύτερη γεύση.

Συνεκτικότητα της ψίχας: Παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα και του δείγματος 4(I) ($p=0,023$). Δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα και των δειγμάτων 2,3,5,6, ούτε μεταξύ του δείγματος 4 και των δειγμάτων 2,3,5,6 ($p>0,05$).

Μεταξύ των δειγμάτων χωρίς γλουτένη το δείγμα 3(Σ) εκτιμήθηκε να έχει την πιο επιθυμητή συνεκτικότητα ψίχας.

Τραγανότητα της ψίχας: Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δειγμάτων ($p>0,05$).

Σκληρότητα: Παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του δείγματος 2(E) και του δείγματος 6(K) ($p=0,018$). Δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του δείγματος 2 και των δειγμάτων 1,3,4,5, ($p=0,070$, $p=0,206$, $p=0,085$, $p=0,240$), καθώς ούτε μεταξύ του δείγματος 6 και των δειγμάτων 1,3,4,5 ($p=0,997$, $p=0,934$, $p=0,994$, $p=0,909$).

Μεταξύ των δειγμάτων χωρίς γλουτένη το δείγμα 6(K) εκτιμήθηκε να έχει την πιο επιθυμητή σκληρότητα.

Δυσκολία μάσησης: Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δειγμάτων ($p>0,05$).

Συνολική αποδεκτότητα: Παρατηρήθηκε ότι υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα και των δειγμάτων 2(E) ($p=0,001$), 3(Σ) ($p=0,001$), 4(I) ($p=0,035$). Δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα και των δειγμάτων 5(P) ($p=0,053$), 6(K) ($p=0,065$), καθώς ούτε μεταξύ των δειγμάτων 2,3,4 σε σχέση με τα δείγματα 5,6 ($p>0,05$).

Μεταξύ των δειγμάτων χωρίς γλουτένη το δείγμα 6(K) είχε τη μεγαλύτερη συνολική αποδεκτότητα.

Συνολικά, ως προς το χρώμα (κόρας και ψίχας) κρίθηκε να είναι καταλληλότερο το δείγμα 4(I), ως προς την ελαστικότητα ψίχας, ευθρυπτότητα, και συνεκτικότητα ψίχας το δείγμα 3(Σ) και ως προς τη γεύση, το άρωμα, τη σκληρότητα και τη συνολική αποδεκτότητα το δείγμα 6(K). Και τα τρία αυτά δείγματα κρίθηκαν καταλληλότερα, καθώς δεν παρουσίαζαν διαφορά με το μάρτυρα στα επιμέρους παραπάνω χαρακτηριστικά. Αυτό μας δείχνει ότι

μπορούν να υπάρξουν τρόποι αντικατάστασης του ψωμιού σίτου, από ψωμιά χωρίς γλουτένη, που να είναι το ίδιο ικανοποιητικά και αποδεκτά από τον καταναλωτή με το ψωμί με γλουτένη.

3.3.4.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ ΑΡΕΣΚΕΙΑΣ

ΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΑΡΕΣΚΕΙΑ (ΚΛΙΜΑΚΑ 1 - 9)
ΔΕΙΓΜΑ 1	6.93a ± 1.58 *
ΔΕΙΓΜΑ 2	4.66b** ± 2.65
ΔΕΙΓΜΑ 3	5.10b ± 1.80
ΔΕΙΓΜΑ 4	5.00b ± 2.10
ΔΕΙΓΜΑ 5	5.07b ± 1.89
ΔΕΙΓΜΑ 6	5.41ab ± 2.16

Πίνακας 17. Μέση βαθμολογία των 29 δοκιμαστών για κάθε δείγμα ψωμιού όσο αφορά την προσωπική τους αρέσκεια.

*Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τους μέσους όρους 29 τιμών με τις τυπικές αποκλίσεις.

**Διαφορετικά γράμματα φανερώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά ($p < 0.05$) μεταξύ των δειγμάτων.

Το δείγμα 1 κυμαίνεται στο βαθμό 7 της κλίμακας, δηλαδή αρέσει μέτρια.

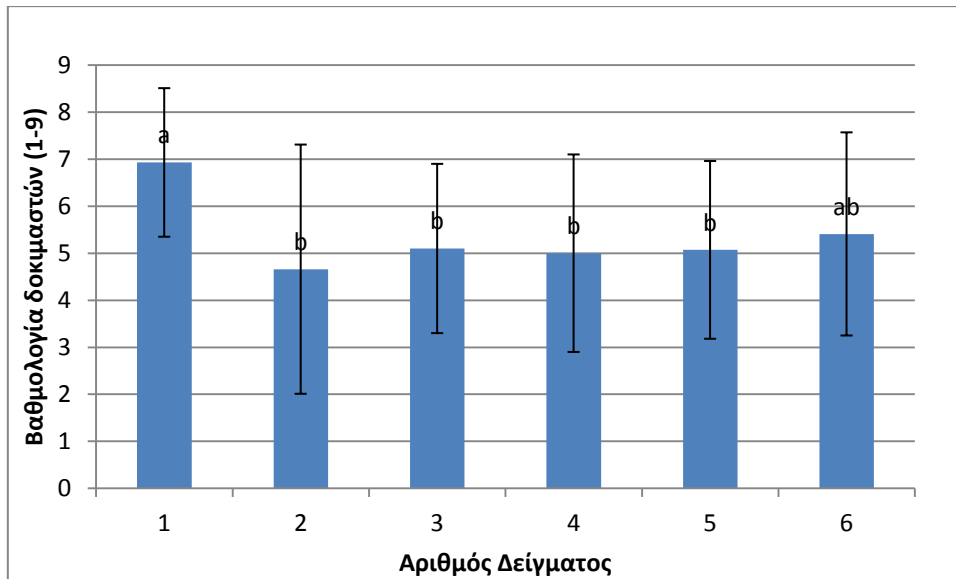
Το δείγμα 2 κυμαίνεται στο βαθμό 5 της κλίμακας, δηλαδή είναι αδιάφορο.

Το δείγμα 3 κυμαίνεται στο βαθμό 5 της κλίμακας, δηλαδή είναι αδιάφορο.

Το δείγμα 4 κυμαίνεται στο βαθμό 5 της κλίμακας, δηλαδή είναι αδιάφορο.

Το δείγμα 5 κυμαίνεται στο βαθμό 5 της κλίμακας, δηλαδή είναι αδιάφορο.

Το δείγμα 6 κυμαίνεται λίγο πιο πάνω από το βαθμό 5 της κλίμακας, δηλαδή αρέσει λίγο.



Σχήμα 14. Διάγραμμα της συνολικής αρέσκειας των αρτοσκευασμάτων.

Παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά όσο αφορά την αρέσκεια μεταξύ του μάρτυρα και των δειγμάτων 2(Ε),3(Σ),4(Ι),5(Ρ) ($p=0.001$, $p=0.011$, $p=0.006$, $p=0.009$ αντίστοιχα). Δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα και του δείγματος 6(Κ) ($p=0.061$), καθώς ούτε μεταξύ του δείγματος 6 και των υπόλοιπων δειγμάτων ($p=0.725$, $p=0.993$, $p=0.973$, $p=0.988$ αντίστοιχα). Μεταξύ των ψωμιών χωρίς γλουτένη το δείγμα 6(Κ) παρουσίασε την μεγαλύτερη αρέσκεια.

3.4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η ζύμη από τα δείγματα χωρίς γλουτένη 3,4,5,6 ήταν πολύ μαλακή και κολλώδης.

Όπως υποστηρίζεται από μελετητές το σογιάλευρο έχει καλή ικανότητα απορρόφησης νερού, αλλά δεν συμβάλλει στη συνεκτικότητα του ζυμαριού (Singh *et al.*, 2008). Ωστόσο, το σογιάλευρο χρησιμοποιείται για τη βελτίωση των ρεολογικών ιδιοτήτων των ζυμαριών και για την αύξηση της πρωτεΐνης και της βιολογικής αξίας του ψωμιού. Έτσι, σύμφωνα με τους Yazar *et al.* (2017), το ζυμάρι σόγιας έχει την πλησιέστερη ρεολογική απόδοση στη ζύμη σίτου, με την υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, μεταξύ άλλων δειγμάτων ζύμης.

Επίσης, το καλαμποκάλευρο φαίνεται να μην βελτιώνει την δύναμη των ζυμαριών (Botelho *et al.*, 2013), και η ζύμη με αλεύρι καλαμποκιού να εμφανίζει πολύ εύκολη διάρρηξη (Buresona & Kubinek, 2016), γεγονός που εξηγεί τη δυσκολία διαχείρισης της ζύμης του δείγματος 6(K).

Η απουσία της πρωτεΐνης της γλουτένης κάνει τη ζύμη από ρυζάλευρο δύσκολη στο χειρισμό. Μελέτες δείχνουν ότι η μικροδομή της ζύμης του ρυζάλειου απουσία κόμμεος φαίνεται να έχει τα σωματίδια του αλεύρου χαλαρά δεσμευμένα. Αντίθετα, η παρουσία του κόμμεος παρέχει μια επικάλυψη επί των σωματιδίων του αλεύρου, ώστε δίνει ζύμη με καλή συνεκτική μικροδομή (Shanthilal & Bhattacharya, 2015). Παρόλα αυτά, στην παρούσα μελέτη η ζύμη με κύρια αναλογία σε ρυζάλευρο (δείγμα 5) παρουσίασε ασταθή μικροδομή, παρά την ύπαρξης κόμμεος, λόγω της ύπαρξης και άλλων αλεύρων που επηρεάζουν τη σύνθεση και τη σταθερότητα του μίγματος, αλλά και της χρήσης διαφορετικού κόμμεος.

Όσο αφορά τα **ποιοτικά χαρακτηριστικά ζύμης και ψωμιού**, το ψωμί σίτου (δείγμα 1) και το ψωμί από το εμπορικό μίγμα αλεύρου (δείγμα 2) απέδωσαν σημαντικά υψηλότερο όγκο τελικού προϊόντος (2,19 cm³/g και 1,49 cm³/g αντίστοιχα), αποτέλεσμα που παρατηρήθηκε και σε άλλες μελέτες (Moore *et al.*, 2004). Από τα ψωμιά χωρίς γλουτένη, τα δείγματα 2(E) και 6(K) εμφάνισαν μεγαλύτερο ύψος ψωμιού (6,4 cm και 6,2 cm) και πιο αυξημένο ειδικό όγκο (1,49 cm³/g και 1,45 cm³/g αντίστοιχα). Το δείγμα 4(I) φάνηκε να διατηρεί την υγρασία του κατά το ψήσιμο, καθώς παρουσίασε τη μικρότερη απώλεια υγρασίας κατά το ψήσιμο (6,14%), αλλά και τη μεγαλύτερη απόδοση ζύμης (93,86%) από όλα τα ψωμιά, συμπεριλαμβανομένου και του μάρτυρα. Το δείγμα 5(P), που περιείχε περισσότερο αναλογικά αλεύρι ρυζιού (50% επί του συνολικού αλεύρου), εμφάνισε μηδενική ωρίμανση

στο φούρνο, και το μικρότερο ειδικό όγκο ($1,12 \text{ cm}^3/\text{g}$), καταδεικνύοντας ότι το αλεύρι ρυζιού παράγει συμπαγές ψωμί με μικρό όγκο. Παρόμοια αποτελέσματα παρατήρησαν και οι Marti *et al.* (2015), οι οποίοι διαπίστωσαν μικρότερο ειδικό όγκο σε ψωμί με αλεύρι ρυζιού και αλεύρι φαγόπυρου. Αυτό το πρόβλημα διορθώθηκε σε μελέτη των Mariotti *et al.* (2017), όπου σε ψωμί χωρίς γλουτένη με βάση το ρυζάλευρο και το άμυλο καλαμποκιού, επιτεύχθηκε μεγαλύτερο ύψος ψωμιού και μεγαλύτερος ειδικός όγκος με προσθήκη νωπής μαγιάς (compressive yeast). Άλλες μελέτες έχουν δείξει ότι επιτυγχάνεται βελτιστοποίηση με υψηλά επίπεδα αλεύρου φαγόπυρου που, όταν ενσωματώνονται σε ψωμιά χωρίς γλουτένη, αυξάνουν τον ειδικό όγκο και βελτιώνουν τόσο τα χαρακτηριστικά υφής, όσο και τις θρεπτικές τους ιδιότητες (Mariotti *et al.*, 2013).

Γενικά, οι ειδικοί όγκοι και τα ύψη των δειγμάτων χωρίς γλουτένη που παρασκευάστηκαν στην παρούσα μελέτη, δεν ήταν ικανοποιητικά σε σύγκριση με αυτά που λαμβάνονται για ένα μέσο καρβέλι από αλεύρι σίτου, για το οποίο η μέση τιμή ειδικού όγκου κυμαίνεται στα $6,00 \text{ cm}^3/\text{g}$ (López *et al.*, 2004). Ωστόσο, ήταν στην πραγματικότητα εντός του εύρους των τιμών ειδικού όγκου που μπορούν να βρεθούν στην επιστημονική βιβλιογραφία για ψωμιά χωρίς γλουτένη (Brites *et al.* 2010, Carra *et al.* 2013, Elgeti *et al.* 2014, Mariotti *et al.* 2013, Mezaize *et al.* 2009, Wolter *et al.* 2014).

Αναφορικά με την **υγρασία στις 3 μέρες (D+1 – D+3)**, μεγαλύτερη διατηρησιμότητα της υγρασίας της ψίχας επέδειξαν τα δείγματα 3(Σ) και 5(P), που περιείχαν περισσότερη ποσότητα αλεύρου σόγιας (40%) και ρυζιού (50%) αντίστοιχα. Οι εκατοστιαίες υγρασίες του δείγματος 3 στις τρεις ημέρες ήταν 42.44%, 41.15% και 39.49%, παρόμοιες με τα επίπεδα υγρασίας που παρατήρησαν οι Demirkesen *et al.* (2014), σε δείγμα ψωμιού χωρίς γλουτένη με βάση το ρύζι, σε μια περίοδο αποθήκευσης τριών ημερών.

Οι συνταγές 3(Σ) και 5(P) αποδεικνύονται πιο ικανοποιητικές ως προς τη διατηρησιμότητα για 3 ημέρες. Αυτό αποδεικνύεται και από το μακροσκοπικό έλεγχο κατά την 3^η μέρα αποθήκευσης, όπου τα δείγματα χωρίς γλουτένη 3 και 5 είναι τα μόνα που διατηρούν την ελαστικότητα της ψίχας τους και εξακολουθούν να είναι μαλακά. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του ψωμιού η σκληρότητα της ψίχας αυξάνεται ως αποτέλεσμα της απώλειας υγρασίας και της αναδιαμόρφωσης του αμύλου. Ωστόσο, το δείγμα 3 διατηρεί τη σκληρότητα που είχε εξ αρχής, ενώ στο ψωμί με γλουτένη η σκληρότητα της ψίχας

αυξάνεται κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Εξάλλου, οι τιμές σκληρότητας της ψίχας αυξάνονται, καθώς τα επίπεδα νερού μειώνονται (Gallagher *et al.*, 2004).

Τα καλύτερα αποτελέσματα που έδωσε το δείγμα 3(Σ) όσο αφορά τη συγκράτηση υγρασίας συνάδουν με συμπεράσματα των Sciarini *et al.* (2010), ότι ο ρυθμός μπαγιατέματος μειώνεται από την ενσωμάτωση αλεύρου σόγιας σε μείγμα αλεύρων καλαμποκιού και ρυζιού, λόγω της υψηλής ικανότητας συγκράτησης νερού των πρωτεϊνών της σόγιας και των αλληλεπιδράσεων που υφίστανται με την αμυλοπηκτίνη, οι οποίες μπορούν να καθυστερήσουν την διαδικασία αναδιαμόρφωσης του αμύλου. Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι η προσθήκη σημαντικής ποσότητας αλεύρου σόγιας σε μείγμα ψωμιού χωρίς γλουτένη βοηθά στη διατήρηση της φρεσκότητας του ψωμιού.

Ωστόσο, σύμφωνα με τους Moore *et al.* (2004), όλα τα ψωμιά χωρίς γλουτένη εμφανίζονται εύθρυπτα μετά από δύο μέρες αποθήκευσης, όπως διαπιστώνεται από την παρουσία θραυσμάτων, και τη μείωση στην ελαστικότητα, τη συνεκτικότητα και ανθεκτικότητα, έπειτα από ανάλυση του προφίλ υφής. Ακόμα, σύμφωνα με μελέτη των Kadan *et al.*, (2001) το ψωμί με αλεύρι ρυζιού τείνει να υποβαθμίζεται και να γίνεται εύθρυπτο εντός λίγων ημερών αποθήκευσης.

Στην παρούσα μελέτη, η μεγαλύτερη αναλογία αλεύρου σόγιας και ρυζιού απέφερε μικρότερη απώλεια υγρασίας, ενώ αποτελεσματική ως προς τη διατήρηση υγρασίας έχει παρουσιαστεί και η συνταγή ψωμιού που προτείνουν οι Carini *et al.* (2016), με άμυλο καλαμποκιού, ρυζάλευρο, πρωτεΐνες λούπινου, δεξτρόζη, φυτική ίνα μήλου, αλάτι και ΗΡΜC (υδροκολλοειδές).

Όσο αφορά το δείγμα 1-μάρτυρα, οι τιμές υγρασίες που προέκυψαν (40,73%, 36,02% και 39,04%) υποστηρίζονται από τους Carini *et al.* (2016), οι οποίοι αναφέρουν υγρασίες ψίχας σε ψωμί με γλουτένη που κυμαίνονται από 42,4 g νερού/100g δείγματος την πρώτη μέρα έως 39,6g νερού/100g δείγματος την τρίτη μέρα αποθήκευσης και, παρόλο της ύπαρξης δικτύου γλουτένης, δεν εμφανίζουν την καλύτερη διατηρησιμότητα για τρεις μέρες.

Όσο αφορά τα **οργανοληπτικά χαρακτηριστικά**, όπως αυτά αξιολογήθηκαν από τους δοκιμαστές, παρουσιάστηκαν τα παρακάτω συμπεράσματα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα από την ανάλυση ANOVA, τα 6 δείγματα διέφεραν σημαντικά ($P < 0.05$) στις περισσότερες παραμέτρους, εκτός από την ομοιομορφία χρωματισμού κόρας, την ομοιομορφία του πορώδους, την τραγανότητα και τη δυσκολία μάσησης, όπου δεν βρέθηκε κάποια

στατιστικά σημαντική διαφορά. Σε όλες τις παραμέτρους που εξετάστηκαν και εμφάνιζαν διαφορά, ο μάρτυρας, όπως αναμενόταν, ήταν αυτός με τη μεγαλύτερη βαθμολογία, εκτός από τη σκληρότητα, όπου το δείγμα 6(K) συγκέντρωσε μεγαλύτερη βαθμολογία ακόμα και από το μάρτυρα. Στις περισσότερες παραμέτρους ο μάρτυρας δεν διέφερε στατιστικά από κάποια ψωμιά χωρίς γλουτένη, παρά μόνο στη γεύση και στην ελαστικότητα ψίχας που διέφερε από όλα τα άνευ γλουτένης δείγματα. Μεταξύ των ψωμιών χωρίς γλουτένη, το υψηλότερο σκορ για το χρώμα κόρας και ψίχας συγκέντρωσε το δείγμα 4(I). Την πιο επιθυμητή ελαστικότητα ψίχας, ευθρυπτότητα και συνεκτικότητα ψίχας προσέφερε το δείγμα 3(Σ). Επίσης, η υψηλότερη βαθμολογία για το άρωμα, τη γεύση, τη σκληρότητα και την αποδεκτότητα εμφάνισε το δείγμα 6(K). Το δείγμα 6 κυριάρχησε και στη δοκιμή αρέσκειας, όπου συγκέντρωσε τη μεγαλύτερη προτίμηση από τα ψωμιά χωρίς γλουτένη, ακολουθώντας το μάρτυρα. Από την άλλη, το δείγμα 2(E) βαθμολογήθηκε χαμηλά για τα περισσότερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την αισθητηριακή δοκιμή σαφώς έδειξαν μεγάλη μεταβλητότητα στην οργανοληπτική ποιότητα των άρτων χωρίς γλουτένη που αξιολογήθηκαν.

Την καλύτερη εμφάνιση παρουσίασε το δείγμα 2(E), το οποίο δεν διέφερε στατιστικά από το μάρτυρα ως προς την εμφάνιση.

Το χρώμα ψίχας του δείγματος 5(P), που είχε σε μεγαλύτερο ποσοστό αλεύρι ρυζιού (50%), ήταν μπεζ-καφέ, και είχε σκληρή κόρα, συμφωνώντας με τους Lopez *et al.* (2004), που παρατήρησαν χρυσαφένιο χρώμα ψίχας και σχετικά ξηρή κόρα αντίστοιχα, σε ψωμί με βάση το ρυζάλευρο. Το χρώμα ψίχας του δείγματος 6(K) ήταν σκούρο καφεκίτρινο, συμφωνώντας με τους Edema *et al.* (2005), που παρατήρησαν καφέ χρώμα ψίχας σε ψωμί με μεγαλύτερο ποσοστό αλεύρου καλαμποκιού. Ωστόσο, το δείγμα 4(I) ήταν αυτό που παρουσίασε το πιο επιθυμητό χρώμα ψίχας, ενώ το δείγμα 3(Σ) το λιγότερο επιθυμητό χρώμα. Όπως ήταν αναμενόμενο, και σε συμφωνία με τους Sciarini *et al.* (2010), τα υψηλότερα επίπεδα αλεύρου σόγιας και καλαμποκιού στα παρασκευάσματα παρήγαγαν ψωμιά με υψηλότερη ένταση κίτρινου και καφεκίτρινου χρώματος ψίχας αντίστοιχα, λόγω του χαρακτηριστικού χρώματος αυτών των αλεύρων.

Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Ndife *et al.* (2011), ο οργανοληπτικός έλεγχος αρτοσκευασμάτων στα οποία το αλεύρι σίτου μειωνόταν προσθέτοντας άλευρο σόγιας έδειξε ότι, με την προσθήκη του αλεύρου σόγιας, η βαθμολογία της έντασης του χρώματος της κόρας αυξανόταν έναντι του μάρτυρα, κάτι που διαπιστώθηκε και στην παρούσα μελέτη. Το σκούρο χρώμα κόρας που προσδίδει το αλεύρι σόγιας (δείγμα 3) οφείλεται στο χρώμα του αλεύρου, στην αντίδραση μαυρίσματος Maillard και στην καραμελοποίηση, τα οποία επηρεάζονται από τη διανομή του νερού και από τις αντιδράσεις μεταξύ σακχάρων και αμινοξέων (Sciarini *et al.*, 2010). Στην πραγματικότητα, ένα πιο σκούρο χρώμα κόρας παρουσία μεγαλύτερης ποσότητας αλεύρου σόγιας είναι επιθυμητό, για να αυξάνει την ομοιότητα με το ψωμί με γλουτένη, καθώς τα ψωμιά χωρίς γλουτένη τείνουν να έχουν ένα πιο ανοιχτό χρώμα κόρας από το ψωμί σίτου (Gallagher *et al.*, 2003a). Ωστόσο, αυτό δε φάνηκε να συμβαίνει με τους δοκιμαστές της παρούσας μελέτης, οι οποίοι έκριναν το χρώμα κόρας του δείγματος 3(Σ) ως το λιγότερο επιθυμητό.

Γενικά, όσο αφορά στην εξωτερική εικόνα από το μακροσκοπικό έλεγχο, το δείγμα 4(I) φάνηκε να βρίσκεται πιο κοντά στο μάρτυρα, όπως έδειξε και η οργανοληπτική αξιολόγηση για το χρώμα κόρας και ψίχας, έχοντας όμοιο χρώμα ψίχας και χρώμα κόρας στο πάνω και κάτω μέρος της φέτας.

Σχετικά με το πορώδες της ψίχας, έχει παρατηρηθεί από τους López *et al* (2004) ότι το ψωμί με αλεύρι ρυζιού παρουσιάζει μικρές κυψελίδες, ελαφρώς επιμήκεις, με λεπτά τοιχώματα, ομοιογενώς κατανεμημένες, ενώ το ψωμί με άμυλο καλαμποκιού παρουσιάζει μεγαλύτερες κυψελίδες. Επίσης, σύμφωνα με την ίδια μελέτη, το ψωμί με ρυζάλευρο παρουσιάζει πιο τραχειά υφή και μικρότερους πόρους στην ψίχα, σε σύγκριση με το ψωμί σίτου. Ωστόσο, αυτά δεν παρατηρήθηκαν στην παρούσα μελέτη, όπου οι δοκιμαστές έκριναν να μην υπάρχει καμία στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δειγμάτων ως προς το πορώδες της ψίχας. Από το μακροσκοπικό έλεγχο φαίνεται ότι όλα τα ψωμιά χωρίς γλουτένη έχουν πολύ μικρούς πόρους, με αδύναμα τοιχώματα, φαίνονται πιο συμπαγή και λιγότερο αφράτα. Μόνο το ψωμί με γλουτένη εμφανίζει μεγαλύτερους πόρους, που όμως δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι και όμοιου μεγέθους. Μελέτη των Gallagher *et al.* (2004), υποστηρίζει ότι ο αριθμός των μεγάλων κυψελίδων αέρα στην ψίχα αυξάνεται με την αύξηση των επιπέδων τόσο του νερού, όσο και του χρησιμοποιούμενου υδροκολλοειδούς.

Πιο επιθυμητή γεύση είχε ο μάρτυρας, που διέφερε σημαντικά από τα υπόλοιπα ψωμιά. Μεταξύ των ψωμιών χωρίς γλουτένη, την καλύτερη γεύση παρουσίασε το δείγμα 6(K). Σύμφωνα με τους Novotni *et al.* (2009), το καλαμποκάλευρο μπορεί να δώσει ευχάριστο άρωμα, χαρακτηριστική μυρωδιά και γλυκιά γεύση. Ωστόσο, αποδεκτή γεύση έχει φανεί ότι δίνει και το αλεύρι σόγιας, καθώς σε ψωμιά με υψηλότερη περιεκτικότητα σε σόγια μπορεί να υπάρχει μια ισχυρή γεύση φασολιού, αλλά όχι επικρατούσα, αφού μειώνεται μέσα σε τρεις ώρες από το ψήσιμο (Novotni *et al.*, 2009). Σύμφωνα με τους Shogren *et al.* (2003), μπορεί να παρασκευαστεί ψωμί με υψηλά επίπεδα αλεύρου σόγιας (20% έως 40%), όπως η περιεκτικότητα 40% που χρησιμοποιήσαμε στην παρούσα μελέτη, έχοντας χαμηλά επίπεδα πωδούς γεύσης, και γεύσης φασολιού, που δεν διαφέρει σημαντικά από αυτή του μάρτυρα-ψωμιού σίτου.

Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στο δείγμα 4(I), εκ του οποίου ένα καρβέλι θρυμματίστηκε κατά την εξαγωγή από το φούρνο και καταστράφηκε. Η τάση στο ψωμί με βάση το σιτάρι είναι ότι, η λεπτή ψίχα (μικρό μέγεθος πόρων, ομοιόμορφα κατανεμημένων μέσα στην φέτα) τείνει να είναι πιο μαλακή και λιγότερο λαστιχωτή, ενώ η χοντρή ψίχα (πόροι μεγαλύτερου μεγέθους, παχύτερα τοιχώματα πόρων, και μια πιο τυχαία κατανομή των μεγεθών των πόρων εντός της φέτας) τείνει να είναι πιο σταθερή και να έχει περισσότερα λαστιχωτά χαρακτηριστικά κατά τη μάσηση (Cauvain & Young 2006). Ως εκ τούτου, η υπερβολική εύθρυπτη συμπεριφορά του δείγματος 4(I) εξηγείται από την ύπαρξη λεπτής ψίχας με μικρό μέγεθος πόρων που οδηγεί σε μια μεγαλύτερη «εύθρυπτη συμπεριφορά», η οποία δείχνει μια υψηλότερη τάση για μπαγιάτεμα. Παρά αυτό το χαρακτηριστικό της δομής των πόρων της ψίχας στο δείγμα 4(I), στην πραγματικότητα, η χαμηλότερη υγρασία ψίχας την D+1 και ο υψηλότερος ρυθμός μείωσης της υγρασίας στη φέτα κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης επίσης καθόρισαν την ανάπτυξη μιας πιο εύθραυστης και εύθρυπτης δομής σε αυτό το δείγμα. Αυτό το τελευταίο χαρακτηριστικό δεν εκτιμάται τόσο από τους καταναλωτές, που έχουν μάθει ότι το φρέσκο ψωμί είναι εύκολο να συμπιεστεί, και επανέρχεται στο αρχικό του σχήμα όταν η δύναμη συμπίεσης αφαιρείται (Cauvain & Young 2006). Ωστόσο, στην παρούσα μελέτη η ευθρυπτότητα του δείγματος 4(I) δεν φαίνεται να επηρέασε αρνητικά τους δοκιμαστές και τα δείγματα 2(E) και 6(Σ) ήταν αυτά που κρίθηκαν με τη λιγότερο επιθυμητή ευθρυπτότητα.

Τη μεγαλύτερη συνεκτικότητα μεταξύ των ψωμιών χωρίς γλουτένη εμφάνισε το δείγμα 3(Σ), με περισσότερο αλεύρι σόγιας, το οποίο δε διέφερε στατιστικά σημαντικά από τον μάρτυρα. Οι Sciarini *et al.* (2010), αναφέρουν ότι η προσθήκη αλεύρου σόγιας σε μίγμα ψωμιού με αλεύρι ρυζιού και καλαμποκιού βελτιώνει το ιξώδες, αυξάνει σημαντικά τη συνεκτικότητα του κτυπήματος και οδηγεί σε μια λεπτότερη δομή, με πολύ μικρές κυψελίδες, που είναι απόρροια της μεγάλης συνεκτικότητας. Η σημαντικά υψηλότερη συνεκτικότητα του μίγματος αλεύρων ρυζιού-καλαμποκιού-σόγιας αποδίδεται στο υψηλό πρωτεϊνικό περιεχόμενο του σογιάλευρου, καθώς οι πρωτεΐνες του έχουν την ικανότητα να απορροφούν νερό οδηγώντας σε μείωση του ελεύθερου νερού στο κτύπημα (Sciarini *et al.* 2010). Μάλιστα, οι Moore *et al.* (2004) έχουν αναφέρει υψηλότερη συνεκτικότητα του κτυπήματος που έχει υψηλό πρωτεϊνικό περιεχόμενο σε μείγματα χωρίς γλουτένη. Ωστόσο, η αύξηση της σταθερότητας και συνεκτικότητας του κτυπήματος επιφέρει μείωση του ειδικού όγκου του ψωμιού (Sciarini *et al.* 2010), γεγονός που φαίνεται και στην παρούσα μελέτη, καθώς το δείγμα 3(Σ) δεν είναι μεταξύ αυτών που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ειδικό όγκο.

Η ελαστικότητα ψίχας του μάρτυρα αποφασίστηκε ως η καλύτερη, καθώς διέφερε στατιστικά από όλα τα άλλα δείγματα. Από τα ψωμιά χωρίς γλουτένη, η ελαστικότητα κρίθηκε η επιθυμητή στο δείγμα 3(Σ) (κυριαρχία αλεύρου σόγιας), και η λιγότερο επιθυμητή στο δείγμα 5(P) (κυριαρχία αλεύρου ρυζιού). Σύμφωνα με τους Edema *et al.* (2005), η ψίχα ψωμιών από αλεύρι σόγιας και από μείγματα που περιέχουν αλεύρι σόγιας εμφανίζει κανονικό πορώδες και μέτρια ελαστικότητα.

Το δείγμα 6(K) παρουσίασε την πιο επιθυμητή σκληρότητα από όλα τα ψωμιά, πιο πολύ και από το μάρτυρα. Τη μεγαλύτερη και, όπως έδειξε και η οργανοληπτική δοκιμή, λιγότερο επιθυμητή σκληρότητα φάνηκε να έχει το εμπορικό μείγμα χωρίς γλουτένη, το οποίο παρουσίασε μεγάλη αντίσταση και δυσκολία κατά το κόψιμο, καθώς τόσο η κόρα όσο και η ψίχα ήταν αρκετά σκληρά. Το ίδιο παρατηρήθηκε από τους Matos & Rosell, (2013) που βρήκαν το εμπορικό μείγμα χωρίς γλουτένη να έχει με διαφορά τη μεγαλύτερη σκληρότητα σε σχέση με τα υπόλοιπα ψωμιά χωρίς γλουτένη. Σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές, συχνά τα προϊόντα ψωμιού χωρίς γλουτένη, λόγω της πολύπλοκης σύνθεσής τους που βασίζεται κυρίως σε υδατάνθρακες, παρουσιάζουν υψηλή σκληρότητα ψίχας σε σύγκριση

με το πρότυπο ψωμί σίτου. Ωστόσο, με εξαίρεση το δείγμα 2(E), κάτι τέτοιο δεν διαπιστώθηκε στην παρούσα εργασία. Ακόμα, μελέτη των Ndife *et al.* (2011), υποστηρίζει ότι η σκληρότητα των αρτοσκευασμάτων που περιέχουν σόγια είναι υψηλότερη σε σύγκριση με αυτή του μάρτυρα, ενώ στην παρούσα μελέτη το δείγμα με την μεγαλύτερη αναλογία σόγιας δεν διέφερε στατιστικά με το μάρτυρα όσο αφορά τη σκληρότητα.

Η δυσκολία μάσησης είναι ανάλογη της σκληρότητας, της συνεκτικότητας και του ιξώδους και αντιστρόφως ανάλογη της υγρασίας του ψωμιού (Gao *et al.* 2015, Bleis *et al.* 2016). Στην παρούσα μελέτη οι δοκιμαστές δεν διέκριναν καμία στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ψωμιών ως προς τη δυσκολία μάσησης, παρόλο των διαφορών στη σκληρότητα, τη συνεκτικότητα και την υγρασία που παρατηρούνται μεταξύ των δειγμάτων.

Το δείγμα 6(K), με κύρια αναλογία το άλευρο καλαμποκιού (40%), παρουσίασε τα πιο επιθυμητά χαρακτηριστικά μεταξύ των ψωμιών χωρίς γλουτένη, ακολουθούμενο από το δείγμα 5(P), όπου υπερτερούσε το αλεύρι ρυζιού (50%). Στη δοκιμή αρέσκειας το δείγμα 6(K), συγκέντρωσε τη μεγαλύτερη προτίμηση μεταξύ των ψωμιών χωρίς γλουτένη, καθώς δεν διέφερε στατιστικά από το μάρτυρα που, όπως αναμενόμενο, είχε τη μεγαλύτερη προτίμηση μεταξύ όλων των ψωμιών. Ομοίως, σύμφωνα με έρευνα των Mojisola *et al.* (2005), το ψωμί με μεγαλύτερη αναλογία καλαμποκάλευρου (80% καλαμποκιού, 20% σόγιας) παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συνολική αποδεκτότητα. Σε συμφωνία, άλλες μελέτες δείχνουν το ψωμί με αλεύρι καλαμποκιού να παρουσιάζει τις καλύτερες παραμέτρους, δίνοντας την καλύτερη εμφάνιση, επαρκή όγκο και συγκεντρώνοντας την προτίμηση από το πάνελ της οργανοληπτικής δοκιμής, ακολουθούμενο από το ψωμί με αλεύρι ρυζιού (López *et al.*, 2004), υποστηρίζοντας τα ευρήματα της παρούσας μελέτης.

3.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε σχέση με το μάρτυρα, όλα τα δείγματα χωρίς γλουτένη εμφάνισαν ζύμη πιο ρευστή και κολλώδη. Παρά την προσθήκη κόμμεος και υλικών που μιμούνται τις ιξωδοελαστικές ιδιότητες της γλουτένης, τα άλευρα χωρίς γλουτένη της παρούσας μελέτης δεν μπόρεσαν να αποδώσουν την επιθυμητή ελαστικότητα και συνοχή της ζύμης που προκύπτει από αλεύρι με γλουτένη.

Ωστόσο, υπήρξαν δείγματα χωρίς γλουτένη που ξεπέρασαν το μάρτυρα στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ψωμιού. Αυτά ήταν τα δείγματα 2(E) και 4(I), που εμφάνισαν την μεγαλύτερη ωρίμανση στο φούρνο (2,67 cm) και τη μεγαλύτερη απόδοση ζύμης (93,86%), αντίστοιχα. Φαίνεται ότι ο συνδυασμός αλεύρων (καλαμποκιού, φαγόπυρου, χαρουπιού) του εμπορικού μίγματος είναι αποτελεσματικός για την ανάπτυξη της ζύμης κατά την ωρίμανση, ενώ ο συνδυασμός αλεύρων σόγιας, ρυζιού, καλαμποκιού και αμύλου καλαμποκιού σε ίσες ποσότητες (δείγμα 4) δίνει ικανοποιητική απόδοση, πιθανώς λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητας σε άμυλο καλαμποκιού (25%) σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα χωρίς γλουτένη, το οποίο συμβάλλει στο σχηματισμό ενός συνεχούς πρωτεϊνικού δικτύου και αυξάνει την απόδοση. Ο μάρτυρας φάνηκε να υπερτερεί μόνο στον ειδικό όγκο του ψωμιού (2,19 cm³/g), γεγονός αναμενόμενο λόγω του δικτύου γλουτένης που βοηθά στη συγκράτηση αερίων και την αύξηση του βάρους και του όγκου του ψωμιού.

Ο μακροσκοπικός έλεγχος, έδειξε ότι ο μάρτυρας υπερτερεί στην ύπαρξη πορώδους, και στην εξωτερική εμφάνιση, έχοντας καλοσχηματισμένη κόρα χωρίς ρωγμές. Ωστόσο, ο συνδυασμός αλεύρων που χρησιμοποιήσαμε σε ίσες αναλογίες δίνει ψωμί (δείγμα 4) με όμοιο χρώμα κόρας και ψίχας με το αλεύρι σίτου (μάρτυρας). Αντίθετα, η χρήση μεγαλύτερης ποσότητας αλεύρου σόγιας (δείγμα 3) δίνει τη λιγότερο ελκυστική εξωτερική εικόνα, λόγω του έντονου σκούρου χρώματος της σόγιας.

Μεγαλύτερη διατηρησιμότητα της υγρασίας της ψίχας κατά τη διάρκεια τριών ημερών (42,43% /41,15% /39,49%) επιτεύχθηκε με τη χρήση μεγαλύτερης αναλογίας αλεύρου σόγιας (40%) (δείγμα 3), που όπως υποστηρίζεται από μελέτες μπορεί να μειώσει το ρυθμό μπαγιατέματος όταν προστίθεται σε μίγμα αλεύρων καλαμποκιού και ρυζιού (Sciarini *et al.*, 2010).

Στον οργανοληπτικό έλεγχο, ο μάρτυρας διέφερε στατιστικά από όλα τα δείγματα χωρίς γλουτένη μόνο στη γεύση και στην ελαστικότητα ψίχας, όπου και συγκέντρωσε την

υψηλότερη βαθμολογία. Αποδεικνύεται ότι κανένας από τους συνδυασμούς αλεύρων χωρίς γλουτένη της παρούσας μελέτης δε μπορεί να προσδώσει την ευχάριστη γεύση του αλεύρου σίτου και την ελαστικότητα που δημιουργείται από το δίκτυο της γλουτένης. Μεταξύ των ψωμιών χωρίς γλουτένη, το υψηλότερο σκορ για το χρώμα κόρας και ψίχας επιτυγχάνεται με τη χρήση ίσων ποσοτήτων αλεύρων (δείγμα 4), καθώς προκύπτει ψωμί όμοιο εξωτερικά με το μάρτυρα. Η προσθήκη μεγαλύτερης ποσότητας αλεύρου σόγιας (40%) (δείγμα 3) δίνει την πιο επιθυμητή ευθρυπτότητα και συνεκτικότητα ψίχας, καθώς το υψηλό πρωτεϊνικό περιεχόμενο του σογιαλεύρου βελτιώνει το ιξώδες και αυξάνει σημαντικά τη συνεκτικότητα του μίγματος. Επίσης, η χρήση μεγαλύτερης αναλογίας καλαμποκάλευρου (40%) (δείγμα 6) συγκεντρώνει την υψηλότερη βαθμολογία για το άρωμα, τη σκληρότητα και την αποδεκτότητα. Εξάλλου το αλεύρι καλαμποκιού προσδίδει ευχάριστο άρωμα, χαρακτηριστική μυρωδιά και γλυκιά γεύση (Novotni *et al.*, 2009). Το δείγμα 6(Κ) κυριάρχησε και στη δοκιμή αρέσκειας, όπου συγκέντρωσε τη μεγαλύτερη προτίμηση από τα ψωμιά χωρίς γλουτένη, ακολουθώντας το μάρτυρα.

3.5.1. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΙΔΑΝΙΚΟΤΕΡΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΑΛΕΥΡΩΝ

Η γενική ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι τα άλευρα σόγιας, ρυζιού, καλαμποκιού, και το άμυλο καλαμποκιού μπορούν στην κατάλληλη αναλογία να συνθέσουν το μίγμα αλεύρου για ψωμί χωρίς γλουτένη.

Οι καταλληλότερες αναλογίες (με τη σειρά των αλεύρων όπως αναφέρθηκαν παραπάνω) φάνηκαν να είναι αυτές των δειγμάτων 3(Σ) (40%-30%-20%-10%) και 6(Κ) (25%-30%-40%-5%), καθώς έδωσαν τα πιο επιθυμητά αποτελέσματα μεταξύ των ψωμιών χωρίς γλουτένη, με το δείγμα 3(Σ) να υπερτερεί στη διατήρηση της υγρασίας του, στην ελαστικότητα και τη συνεκτικότητα, και το δείγμα 6(Κ) να χαρακτηρίζεται από ικανοποιητικό όγκο, άρωμα, γεύση και συνολική αποδεκτότητα. Η μεγαλύτερη αναλογία (2πλάσια) αμύλου καλαμποκιού στο δείγμα 3 ήταν ουσιώδης για την προσκολλητικότητα, μειώνοντας το θρυμματισμό του ψωμιού, με αποτέλεσμα ένα πιο συμπαγές και συνεκτικό ψωμί. Η μεγαλύτερη αναλογία (2πλάσια) αλεύρου καλαμποκιού στο δείγμα 6 προσέδωσε επαρκή όγκο και ικανοποιητική εμφάνιση. Η αναλογία αλεύρου ρυζιού παρέμεινε σταθερή (30%) και στα δύο δείγματα συμβάλλοντας στη δομή, την υφή της ψίχας, το χρώμα κόρας, και την

εμφάνιση (Lopez, 2004). Επίσης, η σχεδόν διπλάσια αναλογία αλεύρου σόγιας στο δείγμα 3, σε σχέση με το δείγμα 6, συνέβαλε στην καλύτερη δομή και σύσταση της ψίχας του, καθώς το αλεύρι σόγιας οδηγεί σε βελτιωμένη δομή ψίχας σύμφωνα με τους Sciarini *et al.*, (2010). Ωστόσο, το δείγμα 3 βαθμολογήθηκε χαμηλά για το χρώμα κόρας και ψίχας του, καθώς το οπτικό αποτέλεσμα ήταν ένα πάρα πολύ σκούρο, καφέ προς το μαύρο, χρώμα. Αυτό θα μπορούσε να βελτιωθεί με μια μικρή μείωση της ποσότητας αλεύρου σόγιας που χρησιμοποιήθηκε, ώστε από τη μία να διατηρούνται τα οφέλη της σόγιας στα δομικά χαρακτηριστικά του ψωμιού, και από την άλλη να περιορίζεται η αρνητική επίπτωση του χαρακτηριστικού και ισχυρού χρώματος της σόγιας, που υπερτερεί και δίνει αυτό το σκοτεινό χρώμα.

Οι αναλογίες αλεύρων που φάνηκε να μην αποδίδουν τα καλύτερα αποτελέσματα ήταν αυτές των δειγμάτων 2(E) και 5(P).

Το δείγμα 2 απέσπασε τη μικρότερη βαθμολογία για το άρωμα, την ευθρυπτότητα, τη σκληρότητα, αλλά και τη μικρότερη συνολική αποδεκτότητα και αρέσκεια. Επίσης εμφάνισε μεγάλη πτώση της υγρασίας του ήδη από τη δεύτερη μέρα αποθήκευσης, υποδεικνύοντας ελάχιστη διατηρησιμότητα. Το συγκεκριμένο μείγμα εμπορίου περιείχε καλαμπόκι, φαγόπυρο, χαρούπι, guar και δεξτρόζη. Επομένως, η χρήση παρόμοιου έτοιμου μείγματος αλεύρου χωρίς γλουτένη φαίνεται να μην είναι επαρκής να δώσει ένα ικανοποιητικό προϊόν σε επίπεδο οργανοληπτικής ποιότητας και τεχνικών χαρακτηριστικών. Η προσθήκη και άλλων υλικών, όπως αυγά, μαργαρίνη, πρωτεΐνη γάλακτος ή ακόμα κάποια υδροκολλοειδή ουσία, ίσως να βελτίωνε το αποτέλεσμα με χρήση του συγκεκριμένου μείγματος εμπορίου.

Το δείγμα 5(P) κρίθηκε αναποτελεσματικό ως προς την ελαστικότητα και τη γεύση. Ωστόσο, έχει παρατηρηθεί ότι ένα μείγμα αλεύρων, που αποτελείται από 45% ρυζάλευρο (σχεδόν όσο το δείγμα 5), και 35% αλεύρι αραβοσίτου παρουσιάζει καλά αποτελέσματα, δίνοντας ψωμί με ψίχα με ομοιόμορφα και καλά κατανεμημένα κύτταρα, και ευχάριστη γεύση και εμφάνιση (López *et al.*, 2004). Επομένως, στο δείγμα 5 θα μπορούσε να αυξηθεί το αλεύρι και το άμυλο καλαμποκιού που είναι μόνο 15% και 5% αντίστοιχα, και να μειωθεί το αλεύρι σόγιας (που είναι 30%) για καλύτερα αποτελέσματα.

3.6 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Θα μπορούσαν να διεξαχθούν περαιτέρω μελέτες για να βελτιστοποιηθούν οι συνθήκες επεξεργασίας των συνταγών, προκειμένου να αποκτηθούν οι καλύτερες επιδόσεις από αυτές τις συνταγές.

Μία κατεύθυνση ενδεχόμενης μελέτης για τη βελτιστοποίηση των προϊόντων είναι η χρήση νωπής, φρέσκιας μαγιάς με τη συμβολή της στον υψηλότερο ειδικό όγκο και την πιο λεπτή ψίχα, ή ο συνδυασμός αυτής με εργαστηριακά παρασκευασμένο προζύμι χωρίς γλουτένη, που μπορεί να οδηγήσει σε ενδιάμεσες τιμές ειδικού όγκου και μαλακότητας, και μειωμένη ευθρυπτότητα, όπως έχει προταθεί από τους Mariotti *et al* (2017). Επίσης οι Marti *et al.*, (2015) πρότειναν ότι η χρήση της νωπής μαγιάς μπορεί να είναι πιο αποτελεσματική στη μείωση του ρυθμού μπαγιατέματος του άρτου κατά την αποθήκευση για μέχρι και 7 ημέρες.

Άλλος τομέας ανάπτυξης παρουσιάζεται σχετικά με την περιεχόμενη διαιτητική ίνα των ψωμιών χωρίς γλουτένη, η οποία είναι χαμηλή. Αυτό το θέμα μπορεί να αντιμετωπιστεί σε μελλοντικές δοκιμές, όπου οι συνταγές χωρίς γλουτένη μπορούν να εμπλουτιστούν με ινουλίνη (πολυσακχαρίτης) (Bleis *et al.* 2016, Carra *et al.* 2013).

Επίσης, μια μικρή τροποποίηση των πρωτεϊνών των εκάστοτε αλεύρων χωρίς γλουτένη και των ινών τους με την προσθήκη ενζύμων κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης και της ενεργοποίησης της μαγιάς μπορεί να βελτιώσει τις υδρόφιλες ιδιότητές τους και, ως εκ τούτου, τον ειδικό όγκο του ψωμιού (Gujral & Rosell, 2004).

Μπορούν να αναπτυχθούν περαιτέρω οι τεχνολογίες για την ενίσχυση των ψωμιών χωρίς γλουτένη με πρωτεΐνη, με την προσθήκη γαλακτοκομικών προϊόντων υψηλού πρωτεϊνικού περιεχομένου, όπως αποβουτυρωμένο γάλα σε σκόνη και σκόνη αυγού, που έχουν δείξει ότι μπορούν ακόμα και να διπλασιάσουν το πρωτεϊνικό περιεχόμενο των ψωμιών (Gallagher *et al.*, 2003a). Οι Moore *et al.* (2004) ανέφεραν υψηλότερη συνεκτικότητα του μίγματος με υψηλό πρωτεϊνικό περιεχόμενο στις συνταγές χωρίς γλουτένη. Περαιτέρω μελέτες περιλαμβάνουν την επιλογή πρωτεϊνικής συμπλήρωσης με χρήση αλεύρου αμπελοφάσουλων και αμάρανθου, καθώς και τη βελτιστοποίηση των συνθηκών επεξεργασίας/ χειρισμού κατά την παραγωγή ψωμιών χωρίς γλουτένη (Edema *et al.*, 2005). Στο πλαίσιο αυτό, ενδείκνυται επίσης το ψωμί με αλεύρι ρεβιθιάς, καθώς έχει περισσότερη πρωτεΐνη, ανθεκτικό άμυλο και μεγαλύτερη ποσότητα φυτικής ίνας από το ψωμί σίτου (Utrilla-Coello *et al.*, 2007). Το σογιάλευρο χρησιμοποιείται επίσης για την αύξηση της

πρωτεΐνης και της βιολογικής αξίας του ψωμιού, καθώς είναι πλούσιο σε λυσίνη, ένα απαραίτητο αμινοξύ που περιέχεται σε ανεπαρκείς ποσότητες στο σιτάρι για την πλήρη αξιοποίησή της πρωτεΐνης του (Singh *et al.*, 2008). Η χρήση αλεύρου σόγιας, όπως έγινε και στην παρούσα μελέτη, συμβάλλει στην αύξηση του πρωτεϊνικού περιεχομένου του ψωμιού, ωστόσο μια αύξηση της περιεκτικότητας του αλεύρου σε πρωτεΐνη πάνω από 16,3%, με την προσθήκη πρωτεϊνών σόγιας έχει ισχυρή αρνητική επίδραση στην οργανοληπτική ποιότητα του ψωμιού (Novotni *et al.*, 2009).

Η πλήρως επιτυχημένη παρασκευή ψωμιού χωρίς γλουτένη που θα έχει όλες τις πρότυπες ιδιότητες του ψωμιού σίτου, χωρίς να διαφέρει από αυτό σε οργανοληπτικά, δομικά χαρακτηριστικά, χαρακτηριστικά υφής και θρεπτικές ιδιότητες, έχοντας παράλληλα την ίδια προτίμηση και αποδοχή από τον γενικό πληθυσμό, παραμένει ακόμα μία πρόκληση.

4. Βιβλιογραφία

1. AACC International. (2011). Method 44-15.02., Moisture: Air-Oven Methods. *Approved Methods of Analysis*, 11th Ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, U.S.A.
2. AACC International. (2011). Method 44-01.01., Calculation of Percent Moisture. *Approved Methods of Analysis*, 11th Ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, U.S.A.
3. AACC International. (2011). Method 55-50.01, Specific Volume. *Approved Methods of Analysis*, 11th Ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, U.S.A.
4. AACC International. (2011). Method 10-10.03, Optimized Straight-Dough Bread-Making Method. *Approved Methods of Analysis*, 11th Ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, U.S.A.
5. AACC International (1998). Method 10-05.01, Guidelines for Measurement of Volume by Rapeseed Displacement. *Approved laboratory methods*, 9th Ed. American Association of Cereal Chemists, Minesotta.
6. ADA, (2009). ADA's Celiac Disease Evidence Based Nutrition Practice Guideline and Brief.
7. AOAC. (1990). Method 935.36, Moisture content determination. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*.
8. Arendt, E.K., Morrissey, A., Moore, M.M., Bello, F. Gluten-free breads. In: *Gluten-Free Cereal Products and Beverages*. Ed. Arendt, E., Bello, F. Academic Press, 7:289–319, 2008.
9. Beleia, A., Miller, R.A., Hosney, R.C. (1996). Starch gelatinization in sugar solutions. *Starch-Stärke* 48:259-26.
10. Bize, M., Smith, B.M, Aramouni, F.M., Bean, S.R. (2017). The Effects of Egg and Diacetyl Tartaric Acid Esters of Monoglycerides Addition on Storage Stability, Texture, and Sensory Properties of Gluten-Free Sorghum Bread. *Journal of Food Science* 82(1):194-201.
11. Bleis, F., Chaunier, L., Montigaud, P., Della Valle, G. (2016). Destructuration mechanisms of bread enriched with fibers during mastication. *Food Research International* 80:1-11.

12. Botelho, F.M., Corrêa, P.C., Martins, M.A., Botelho Carvalho, S.C., Horta Oliveira, G.H. (2013). Effects of the mechanical damage on the water absorption process by corn kernel. *Food Science and Technology (Campinas)* 33(2):282-288.
13. Brites, C., Trigo, M., Santos, C., Collar, C., Rosell, C. (2010). Maize-based gluten-free bread: influence of processing parameters on sensory and instrumental quality. *Food Bioprocess Technology* 3(5):707-715.
14. Buresova, I., Kubinek, R. (2016). The Behavior of Amaranth, Chickpea, Millet, Corn, Quinoa, Buckwheat and Rice Doughs Under Shear Oscillatory and Uniaxial Elongational Tests Simulating Proving and Baking. *Journal of Texture Studies* 47(5):423-431.
15. Cappa, C., Lucisano, M., Mariotti, M. (2013). Influence of Psyllium, sugar beet fibre and water on gluten-free dough properties and bread quality. *Carbohydrate Polymers* 98:1657–1666.
16. Capriles, V.D., Areas, J.A.G. (2014). Novel Approaches in Gluten-Free Breadmaking: Interface between Food Science, Nutrition, and Health. *Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety, Institute of Food Technologists* 13:871-890.
17. Carini, E., Curti, E., Fattori, F., Paciulli, M., Vittadini, E. (2016). Staling of gluten-free breads: physico-chemical properties and ¹HNMR mobility. *European Food Research and Technology* 1–11.
18. Catassi, C., Fasano, A. Celiac disease. In: *Gluten-Free Cereal Products and Beverages*. Ed. Arendt, E., Bello, F. Academic Press, 1–27, 2008.
19. Cauvain, S.P., L. Young (Editors). (2006). *Baked Products: Science, Technology and Practice*. Wiley-Blackwell publishing. High Wycombe, UK.
20. Crockett, R., Ie, P., Vodovotz, Y. (2011). Effects of soy protein isolate and egg white solids on the physicochemical properties of gluten-free bread. *Food Chemistry* 129:84–91.
21. Demirkesen, I., Campanella, O.H., Sumnu, G., Sahin, S., Hamaker, B.R. (2014). A Study on Staling Characteristics of Gluten-Free Breads Prepared with Chestnut and Rice Flours. *Food Bioprocess Technology* 7:806–820.
22. Derde, L.J., Gomand, S.V., Courtin, C.M., Delcour, J.A. Moisture Distribution during Conventional or Electrical Resistance Oven Baking of Bread Dough and Subsequent Storage. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Ed. Hofmann, T.F. American Chemical Society Publications, Belgium, 62(27):6445–6453, 2014.
23. Donovan, J.W. (1977) A Study of the baking process by differential scanning calorimetry. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 28:571-578.

24. Duodu, K.G., Taylor, J.R.N. The quality of breads made with non-wheat flours. In: *Breadmaking, Improving Quality*. Ed. Cauvain, S.P. Woodhead Publishing, 754–782, 2012.
25. Edema, M.O., Sanni, L.O., Sanni, A.I. (2005). Evaluation of maize-soybean flour blends for sour maize bread production in Nigeria. *African Journal of Biotechnology* 4(9):911-918.
26. Elgeti, D., Nordlohne, S.D., Föste, M., Besl, M., Linden, M.H., Heinz, V., Jekle, M., Becker, T. (2014). Volume and texture improvement of gluten-free bread using quinoa white flour. *Journal of Cereal Science* 59:41-47.
27. Fu, J., Mulvaney, S.J., Cohen, C. (1997). Effect of added fat on the rheological properties of wheat flour doughs. *Cereal Chemistry* 74:304-311.
28. Gallagher, E., Gormley, T., Arendt, E. (2003a). Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *Journal of Food Engineering* 56(2-3):153-161.
29. Gallagher, E., Kunkel, A., Gormley, T.R., Arendt, E.K. (2003b). The effect of dairy and rice powder addition on loaf and crumb characteristics, and on shelf life (intermediate and long-term) of gluten-free breads stored in a modified atmosphere. *European Food Research and Technology* 218(1):44-48.
30. Gallagher, E., Gormley, T.R., Arendt, E.K. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science and Technology* 15(3-4):143-152.
31. Gao, J., Wong, J.X., Lim, J.C.S., Henry, J., Zhou, W. (2015). Influence of bread structure on human oral processing. *Journal of Food Engineering* 167:147-155.
32. Gujral, H., Rosell, C. (2004a). Functionality of rice flour modified with a microbial transglutaminase. *Journal of Cereal Science* 39(2):225-230.
33. Gujral, H., Rosell, C. (2004b). Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Research International* 37(1):75-81.
34. Hager, A., Wolter, A., Czerny, M., Bez, J., Zannini, E., Arendt, E. (2012). Investigation of product quality, sensory profile and ultrastructure of breads made from a range of commercial gluten-free flours compared to their wheat counterparts. *European Food Research and Technology* 235(2):333-344.
35. He, H., Hosney, R.C. (1991). Gas retention of different cereal flours. *Cereal Chemistry* 68(4):334-336.
36. Hlynka, I. (1962). Influence of temperature, speed of mixing, and salt on some rheological properties of dough in the farinograph. *Cereal Chemistry* 39:286-303.

37. Houben, A., Hochstotter, A., Becker, T. (2012). Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview. *European Food Research and Technology* 235:195–208.
38. Huebner, F.R., Bietz, J.A., Webb, B.D., Juliano, B.O. (1990). Rice cultivar identification by high- performance liquid chromatography of the endosperm proteins. *Cereal Chemistry* 67:129-135.
39. Huerta, K.M., Alves, J.S., Silva, A.F.C, Kubota, E.H, Rosa, C.S. (2016). Sensory response and physical characteristics of gluten-free and gum-free bread with chia flour. *Food Science and Technology* 36(1):15-18.
40. Kadan, R., Robinson, M., Thibodeaux, D., Pepperman, A. (2001). Texture and other physicochemical properties of whole rice bread. *Journal of Food Science: Food Chemistry and Toxicology* 66(7):940-944.
41. Lawton, J.W. (1992). Viscoelasticity of zein-starch doughs. *Cereal Chemistry* 69:351-355.
42. Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., Biliaderis, C. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering* 79(3):1033-47.
43. Linko, Y.Y., Javanainen, P., Linko, S. (1997). Biotechnology of bread baking. *Trends in Food Science and Technology* 8:339-343.
44. López, A.C.B., Pereira, A.J.G., Junqueira, R.G. (2004). Flour Mixture of Rice Flour, Corn and Cassava Starch in the Production of Gluten-Free White Bread. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 47(1):63-70.
45. Mariotti, M., Pagani, M.A., Lucisano, M. (2013). The role of buckwheat and HPMC on the breadmaking properties of some commercial gluten-free bread mixtures. *Food Hydrocolloids* 30(1):393-400.
46. Mariotti, M., Cappa, C., Picozzi, C. Tedesco, B., Fongaro, L., Lucisano, M. (2017). Compressed Yeast and Type I Gluten-Free Sourdough in Gluten-Free Breadmaking. *Food Bioprocess Technology* 1-11.
47. Marti, A., Bottega, G., Franzetti, L., Morandin, F., Quaglia, L., Pagani, M.A. (2015). From wheat sourdough to gluten-free sourdough: a non-conventional process for producing gluten-free bread. *Journal of Food Science and Technology* 50(5):1268-1274.
48. Matos, M.E., Rosell, C.M. (2013). Quality Indicators of Rice-Based Gluten-Free Bread-Like Products: Relationships Between Dough Rheology and Quality Characteristics. *Food Bioprocess Technology* 6:2331-2341.

49. McNaughton, C., Tessendorf, B.A., Von Holy, A. (1998). Antimicrobial efficacy of preservative combinations in South African brown bread. *Microbios* 93(376):169-178.
50. Mezaize, S., Chevallier, S., Le Bail, A., De Lamballerie, M. (2009). Optimization of gluten-free formulations for French-Style breads. *Journal of Food Science* 74(3):E140-E146.
51. Mohammadi, M., Sadeghnia, N., Azizi, M.H., Neyestani, T.R., Mortazavian, A.M. (2014). Development of gluten-free flat bread using hydrocolloids: Xanthan and CMC. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 20(4):1812-1818.
52. Moore, M.N., Schober, T.J., Dockery, P., Arendt, E.K. (2004). Textural comparisons of gluten-free and wheat-based doughs, batters, and breads. *Cereal Chemistry* 81(5):567-575.
53. Morimoto, N., Tabara, A., Seguchi, M. (2015). Effect of xanthan gum on improvement of bread height and specific volume upon baking with frozen and thawed dough. *Food Science and Technology Research* 21(3):309-316.
54. National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases (NIDDK), part of the National Institutes of Health (NIH), 2016.
55. Ndife, J., Abdulraheem, L.O., Zakari, U.M. (2011) Evaluation of the nutritional and sensory quality of functional breads produced from whole wheat and soya bean flour blends. *African Journal of Food Science* 5:466-472.
56. Novotni, D., Curic, D., Gabric, D., Cukelj, N., Curko, N. (2009). Production of high protein bread using extruded corn and soybean flour blend. *Italian Journal of Food Science* 21(2):123-133.
57. Onyango, C., Mutungi, C., Unbehend, G., Lindhauer, M.G. (2009b). Creep-recovery parameters of gluten-free dough and crumb properties of bread prepared from pregelatinised cassava starch, sorghum and selected proteins. *International Journal of Food Science and Technology* 44:2493-2499.
58. Pacyński, M., Wojtasiak, R.Z., Mildner-Szkodlarz, S. (2015). Improving the aroma of gluten-free bread. *LWT - Food Science and Technology* 63(1):706-713.
59. Pareyt, B., Finnie, S.M., Putseys, J.A., Delcour, J.A. (2011). Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality. *Journal of Cereal Science* 54(3):266-279.
60. Ribotta, P.D., Ausar, S., Morcillo, M., Pérez, G.T., Beltramo, D.M., León, A.E. (2004). Production of gluten free bread using soybean flour. *Journal of the Science of Food Agriculture* 84(14):1969–1974.

61. Sanchez, H., Osella, C., Torre, M. (2004). Use of response surface methodology to optimize gluten-free bread fortified with soy flour and dry milk. *Food Science and Technology International* 10(1):5-9.
62. Schober, T.J., Bean, S.R., Boyle, D.L., Park, S.H. (2008). Improved viscoelastic zein-starch doughs for leavened gluten-free breads: Their rheology and microstructure. *Journal of Cereal Science* 48(3):755-767.
63. Sciarini, L.S., Ribotta, P.D., Leon, A.E., Perez, G.T. (2010). Effect of hydrocolloids on gluten-free batter properties and bread quality. *International Journal of Food Science and Technology* 45:2306-2313.
64. Sciarini, L.S., Perez, G.T., Lamballerie, M., Leon, A.E., Ribotta, P.D. (2012a). Partial-baking process on gluten-free bread: impact of hydrocolloid addition. *Food and Bioprocess Technology* 5:1724-1732.
65. Shanthilal, J., Bhattacharya, S. (2015). Rheology of Rice Flour Dough with Gum Arabic: Small and Large-Deformation Studies, Sensory Assessment and Modeling. *Journal of Food Science* 80(8):E1735–E1745.
66. Shipman, M. (2014). The Difference Between Baking Soda and Baking Powder. *NC State University News*.
67. Shogren, R.L., Mohamed, A.A., Carriere, C.J. (2003). Sensory Analysis of Whole Wheat/Soy Flour Breads. *Journal of Food Science: Sensory and Nutritive Qualities of Food* 68(6):2141-2145.
68. Simsek, S., Ovando Martinez, M. (2016). Quality of Dough and Bread Prepared with Sea Salt or Sodium Chloride. *Journal of Food Process Engineering* 39(1):44–52.
69. Singh, P., Kumar, R., Sabapathy, S.N., Bawa, A.S. (2008). Functional and Edible Uses of Soy Protein Products. *Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety* 7(1):14-28.
70. Sivam, A.S., Sun-Waterhouse, D., Waterhouse, G.I.N. Functional breads enhanced with fruit-derived polyphenol antioxidants and dietary fibers. In: *Bread Consumption and Health*. Ed. Clerici P.S. Nova Science Publishers Inc, 1-43, 2011.
71. Ternovskoy, G., Kuznetsova, L., Shleikin, A., Martinovic, A., Oreshko, L. (2013). Application of sour dough in the production of gluten free bread . *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria* 12(4):355-358.
72. Thompson, J.M., Waites, W.M., Dodd, C.E.R. (1998). Detection of rope spoilage in bread caused by *Bacillus* species. *Journal of Applied Microbiology* 85(3):481-486.

73. Utrilla-Coello, R.G., Osorio-Díaz, P., Bello-Pérez, L.A. (2007). Alternative use of chickpea flour in breadmaking: Chemical composition and starch digestibility of bread. *Food Science and Technology International* 13(4):323-327.
74. Wolter, A., Hager, A.S., Zannini, E., Czerny, M., Arendt, E.K. (2014). Impact of sourdough fermented with *Lactobacillus plantarum* FST 1.7 on baking and sensory properties of gluten-free breads. *European Food Research and Technology* 239:1-12.
75. Yazar, G., Duvarci, O., Tavman, S., Kokini, J.L. (2017). Non-linear rheological behavior of gluten-free flour doughs and correlations of LAOS parameters with gluten-free bread properties. *Journal of Cereal Science* 74:28-36.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

A.1. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΨΩΜΙΟΥ

Οδηγίες: Για κάθε δείγμα που σας δίνεται αξιολογείτε το χαρακτηριστικό που σας ζητείται κάθε φορά. Σας δίνονται έξι δείγματα. Αρχικά, καταγράφετε τον κωδικό κάθε δείγματος στα έξι πρώτα κουτάκια (σε κάθε κουτάκι ένας κωδικός δείγματος) και στη συνέχεια με την βοήθεια της παρακάτω κλίμακας των 7 βαθμίδων βαθμολογείτε τα ζητούμενα χαρακτηριστικά για κάθε δείγμα. Σημειώστε τη βαθμολογία (από το 1 έως το 7) κάθε δείγματος για κάθε εξεταζόμενο χαρακτηριστικό στα ανάλογα κενά στα δεξιά της σελίδας, βάζοντας στο πρώτο κουτάκι τη βαθμολογία που αντιστοιχεί στο δείγμα που σημειώσατε πρώτο και ούτω κάθε εξής.

Κωδικός δείγματος					

1. Χαρακτηρίστε τα δείγματα αυτά αναφορικά με την **εμφάνισή** τους.

Ως εμφάνιση ορίζεται η πρώτη γενική εικόνα που παρουσιάζει το δείγμα.

1	2	3	4	5	6	7
Κακή			Μέτρια			Άριστη

Βαθμολογία δείγματος					

2. Χαρακτηρίστε τα δείγματα αυτά αναφορικά με το **χρώμα τη κόρας**.

1	2	3	4	5	6	7
Κακό			Μέτριο			Άριστο

Βαθμολογία δείγματος					

3. Χαρακτηρίστε τα δείγματα αυτά αναφορικά με το **χρώμα της ψίχας**.

1	2	3	4	5	6	7
Κακό			Μέτριο			Άριστο

Βαθμολογία δείγματος					

4. Χαρακτηρίστε τα δείγματα αυτά αναφορικά με την **ομοιομορφία χρωματισμού της κόρας**.

Ως ομοιομορφία χρωματισμού ορίζεται η ύπαρξη ίδιου χρώματος σε όλη την έκταση της κόρας.

1	2	3	4	5	6	7
Ελάχιστη			Μέτρια			Επιθυμητή

Βαθμολογία δείγματος					

5. Χαρακτηρίστε τα δείγματα αυτά αναφορικά με την **ομοιομορφία του πορώδους της ψίχας**.

Ως ομοιομορφία των πόρων ορίζεται η ύπαρξη μικρών, παρόμοιου μεγέθους και ομοιόμορφων κατανεμημένων τρυπών στην ψίχα.

1	2	3	4	5	6	7
Ελάχιστη			Μέτρια			Επιθυμητή

Βαθμολογία δείγματος					

6. Χαρακτηρίστε τα δείγματα αυτά αναφορικά με την **ελαστικότητα της ψίχας**.

Ως ελαστικότητα ορίζεται η αναπήδηση που κάνει το δείγμα μεταξύ δύο διαδοχικών δαγκωμάτων.

1	2	3	4	5	6	7
Ελάχιστη			Μέτρια			Επιθυμητή

Βαθμολογία δείγματος					

7. Χαρακτηρίστε τα δείγματα αυτά αναφορικά με την **ευθρυπτότητά** τους.

Ως ευθρυπτότητα ορίζεται η ευθραυστότητα του δείγματος στο πρώτο δάγκωμα.

1	2	3	4	5	6	7
Μεγάλη			Μέτρια			Επιθυμητή

Βαθμολογία δείγματος					

8. Χαρακτηρίστε τα δείγματα αυτά αναφορικά με το **άρωμα** τους.

1	2	3	4	5	6	7
Κακό			Μέτριο			Άριστο

Βαθμολογία δείγματος					

9. Χαρακτηρίστε τα δείγματα αυτά αναφορικά με τη **γεύση**.

1	2	3	4	5	6	7
Κακή			Μέτρια			Άριστη

Βαθμολογία δείγματος					

10. Χαρακτηρίστε τα δείγματα αυτά αναφορικά με τη **συνεκτικότητα της ψίχας**.

Ως συνεκτικότητα ορίζεται το πόσο συμπαγής εμφανίζεται να είναι η δομή του δείγματος κατά τη μάσηση.

1	2	3	4	5	6	7
Ελάχιστη			Μέτρια			Επιθυμητή

Βαθμολογία δείγματος					

11. Χαρακτηρίστε τα δείγματα αυτά αναφορικά με την **τραγανότητα της ψίχας**.

Ως τραγανότητα ορίζεται η αίσθηση της σκληρότητας στην επιφάνεια, ή του ξεροψημένου. Καθώς τρώγεται, το δείγμα θρυμματίζεται με χαρακτηριστικό θόρυβο στο στόμα.

1	2	3	4	5	6	7
Μεγάλη			Μέτρια			Επιθυμητή

Βαθμολογία δείγματος					

12. Χαρακτηρίστε τα δείγματα αυτά αναφορικά με τη **σκληρότητά** τους.

Ως σκληρότητα ορίζεται η δύναμη που απαιτείται ώστε τα δόντια (οι τραπεζίτες) να διαπεράσουν τελείως το δείγμα.

1	2	3	4	5	6	7
Μεγάλη			Μέτρια			Επιθυμητή

Βαθμολογία δείγματος					

13. Χαρακτηρίστε τα δείγματα αυτά αναφορικά με τη **δυσκολία μάσησης**.

Ως δυσκολία μάσησης ορίζεται το μέγεθος της προσπάθειας (ενέργειας) που πρέπει να καταβληθεί ώστε το δείγμα με τη μάσηση να πολτοποιηθεί προτού καταποθεί.

1	2	3	4	5	6	7
Μεγάλη			Μέτρια			Επιθυμητή

Βαθμολογία δείγματος					




14. Χαρακτηρίστε τα δείγματα αυτά αναφορικά με τη συνολική **αποδεκτότητά** τους.

1	2	3	4	5	6	7
Μικρή			Μέτρια			Μεγάλη

Βαθμολογία δείγματος					

Α.2. ΔΟΚΙΜΗ ΑΡΕΣΚΕΙΑΣ ΨΩΜΙΟΥ

Οδηγίες: Δοκιμάστε τα έξι δείγματα ψωμιού και προσπαθήστε να απαντήσετε πόσο πολύ σας αρέσει ή δεν σας αρέσει το καθένα. Αρχικά, καταγράψετε τον κωδικό κάθε δείγματος που σας δίνεται στα έξι πρώτα κουτάκια (σε κάθε κουτάκι ένας κωδικός δείγματος) και στη συνέχεια αξιολογείτε το κάθε δείγμα ανάλογα με το πόσο σας αρέσει ή όχι, μαρκάροντας για κάθε δείγμα το αντίστοιχο κουτάκι που ταιριάζει πιο πολύ στην προτίμησή σας.

			Κωδικοί δειγμάτων					
9		Μου αρέσει υπερβολικά						
8		Μου αρέσει πάρα πολύ						
7		Μου αρέσει μέτρια						
6		Μου αρέσει λίγο						
5		Ούτε μου αρέσει ούτε δε μου αρέσει (μου είναι αδιάφορο)						
4		Δε μου αρέσει λίγο						
3		Δε μου αρέσει μέτρια						
2		Δε μου αρέσει πάρα πολύ						
1		Δε μου αρέσει υπερβολικά						

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

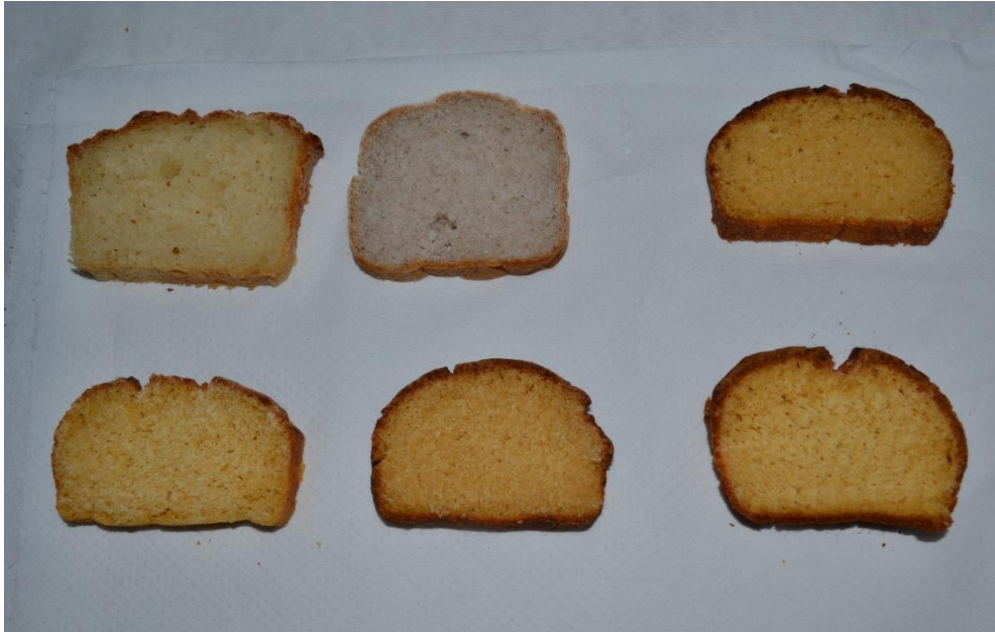
B.1. Φωτογραφίες από τη διαδικασία οργανοληπτικών δοκιμών

Εργαστήριο Παρασκευής Τροφίμων του Τμήματος Διατροφής και Διαιτολογίας

Στις αλουμινένιες θήκες βρίσκονται τα καρβέλια από όλα τα δείγματα, κομμένα σε φέτες. Στα πλαστικά πιάτα είναι τοποθετημένες οι φέτες από κάθε δείγμα, με σήμανση τριψήφιου αριθμού μπροστά τους, έτοιμα για να δοθούν στους δοκιμαστές προς αξιολόγηση.



Φέτες των 6 δειγμάτων που δόθηκαν στους δοκιμαστές, αντιπροσωπευτικές κάθε συνταγής. Απεικονίζονται από αριστερά προς δεξιά δείγμα 1(Μ), δείγμα 2(Ε), δείγμα 3(Σ), δείγμα 4(Ι), δείγμα 5(Ρ), δείγμα 6(Κ).



Β.2. Φωτογραφίες των καρβελιών που προέκυψαν από την αρτοποιήση.

Εργαστήριο Σιτηρών του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων



Β.3. Φωτογραφίες των χρησιμοποιούμενων οργάνων

Εργαστήριο Οργανικής Χημείας Τροφίμων του Τμήματος Διατροφής και Διαιτολογίας

Κλίβανος «Mettler»



Ζυγαριά ακριβείας OHAUS



Ξηραντήρας

