

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

**Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος**

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών σπουδών: Αειφόρος Αγροτική
Παραγωγή και Διαχείριση Περιβάλλοντος**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ



**Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΚΟΝΗΣ ΑΠΟΞΗΡΑΜΕΝΗΣ ΤΣΟΥΚΝΙΔΑΣ ΣΤΑ
ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΨΩΜΙΟΥ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΠΑΛΟΥΚΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

ΒΟΛΟΣ 2019

**Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΚΟΝΗΣ ΑΠΟΞΗΡΑΜΕΝΗΣ ΤΣΟΥΚΝΙΔΑΣ ΣΤΑ
ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΨΩΜΙΟΥ**

ΠΑΛΟΥΚΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

Τριμελής επιτροπή:

- Γιαννούλη Περσεφόνη, Επίκουρος Καθηγήτρια Τεχνολογίας και Ελέγχου Ποιότητας Τροφίμων Φυτικής Προέλευσης, στη σχολή Γεωπονικών Επιστημών στο τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του πανεπιστημίου Θεσσαλίας.
- Βέλλιος Ευάγγελος, Επίκουρος Καθηγητής Φυτοπαθολογίας και Σύγχρονων Μεθόδων Διαγνωστικής στη σχολή Γεωπονικών Επιστημών στο τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του πανεπιστημίου Θεσσαλίας.
- Καρκάνης Ανέστης, Επίκουρος Καθηγητής Ζιζανιολογίας στη σχολή Γεωπονικών Επιστημών στο τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Copyright © Παλούκη Βασιλική 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διατριβής, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

Η έγκριση της Μεταπτυχιακής Διατριβής Ειδίκευσης από το Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δε δηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

Πρόλογος

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην επιβλέπουσα καθηγήτρια κα. Περσεφόνη Γιαννούλη για την ευκαιρία που μου έδωσε να πραγματοποιήσω αυτή την πτυχιακή εργασία, την πολύτιμη καθοδήγηση, διαρκή υποστήριξη και άριστη συνεργασία τόσο κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων αλλά και κατά τη συγγραφή της μελέτης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Ευλαλία Κουφοστάθη για το ευχάριστο περιβάλλον του εργαστηρίου και τη πολύτιμη βοήθεια της για τη διεξαγωγή των πειραμάτων.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω και υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής τον κ. Βέλλιο Ευάγγελο και τον κ. Καρκάνη Ανέστη για την κρίση τους και τη συμβολή τους στην παρούσα μελέτη.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει μεγάλη εφαρμογή η προσθήκη φυσικών συντηρητικών στη βιομηχανία της αρτοποιίας, με σκοπό τη βελτίωση των ιδιοτήτων και της ποιότητας του ζυμαριού. Σε αυτή την ερευνητική εργασία μελετήθηκε η επίδραση της προσθήκης σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας στις λειτουργικές ιδιότητες και στην παρασκευή του ψωμιού.

Συγκεκριμένα παρασκευάστηκαν συνολικά 8 ψωμιά με συγκεντρώσεις 0%^{W/w}, 1%^{W/w}, 2%^{W/w}, 3%^{W/w}, 4%^{W/w}, 10%^{W/w}, 20%^{W/w} και 30%^{W/w} σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας. Στα δείγματα 1%^{W/w}, 2%^{W/w} και 3%^{W/w} ο όγκος, το χρώμα, η συγκέντρωση των σακχάρων και η σκληρότητα της ψίχας δεν παρουσίασαν σημαντικές μεταβολές σε σύγκριση με το ψωμί που δεν περιείχε τσουκνίδα. Ωστόσο, τα συνολικά φαινοτικά μειώθηκαν μετά την προσθήκη σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας. Στα δείγματα 10%^{W/w}, 20%^{W/w} και 30%^{W/w} παρατηρήθηκε εμφανής μείωση του όγκου που συνοδεύεται από αυξημένη σκληρότητα της ψίχας και σκουρόχρωμο χρώμα τόσο στη ψίχα, όσο και στην κρούστα. Τα συνολικά φαινοτικά αυξήθηκαν όπως ήταν αναμενόμενο αλλά επηρεάστηκαν οι λειτουργικές ιδιότητες του ψωμιού. Τα σάκχαρα παρουσίασαν μια αύξηση, με το δείγμα 10%^{W/w} να εμφανίζει τη μέγιστη τιμή και έπειτα μειώθηκε η συγκέντρωσή τους. Το δείγμα 4%^{W/w} είχε τα πιο επιθυμητά αποτελέσματα αφού δε σημείωσε σημαντικές αλλαγές στον όγκο, τη σκληρότητα της ψίχας και στο χρώμα της κρούστας και της ψίχας σε σχέση με το control, αλλά αύξησε σημαντικά την συγκέντρωση των αντιοξειδωτικών.

Λέξεις Κλειδιά: σκόνης τσουκνίδας, ποιοτικά χαρακτηριστικά ψωμιού, συνολικά φαινοτικά, όγκος.

Summary

During the last decades the use of additives in bread is very common especially in food industry in order to improve the quality characteristics of bread. In this research study the effect of dried nettle powder was investigated on the functional properties of bread and its production.

Eight (8) samples of breads were prepared in total with addition of dried nettle powder 0% w/w, 1%^{w/w}, 2%^{w/w}, 3%^{w/w}, 4%^{w/w}, 10%^{w/w}, 20%^{w/w} and 30%^{w/w}. In samples 1%^{w/w}, 2%^{w/w} and 3%^{w/w} the volume, the color, the concentration of sugars and the crumb hardness didn't show significant differences in comparison with bread without powder. However, the addition of nettle powder was reduced the total phenolic compounds. In samples 10%^{w/w}, 20%^{w/w} and 30%^{w/w}, the obvious reduction of volume is attended by high crumb hardness and dark crumb and crust color. Total phenolic compounds increased as expected but the functional properties of bread were affected. Sample 4%^{w/w} had the most positive quality characteristics, while this sample didn't show any important differences on bread volume, on crumb hardness and on crust and crumb color in comparison to control sample, but increased the final concentration of antioxidants.

Key words: nettle powder, bread quality characteristics, total phenolic compounds, volume.

Εγώ, η Παλούκη Βασιλική, είμαι ο συγγραφέας αυτής της Μ.Δ.Ε. Αυτή η Μ.Δ.Ε αντικατοπτρίζει την έρευνα που έγινε από εμένα και δεν έχει υποβληθεί (εξ ολοκλήρου ή μέρος της) σαν προπτυχιακή διατριβή ή Μ.Δ.Ε ή ως μέρος διδακτορικής διατριβής σε αυτό ή άλλο Προπτυχιακό ή Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Ιδρυμάτων Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης του εσωτερικού ή εξωτερικού. Όποια συνεργασία καθώς και το μέγεθος αυτής δηλώνονται επακριβώς στο αντίστοιχο πεδίο αυτής της διατριβής. Επίσης, έχω διαβάσει όλες τις βιβλιογραφικές αναφορές που παρατίθενται στο τέλος.

Ως επιβλέπουσα της έρευνας που περιγράφεται σε αυτή τη διατριβή, δηλώνω ότι όλοι οι όροι του Εσωτερικού Κανονισμού του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος έχουν τηρηθεί από την κα. Παλούκη Βασιλική.

Περιεχόμενα

| | |
|---|--------|
| Περίληψη..... | - 5 - |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | - 10 - |
| 1.1 Εισαγωγικά για το ψωμί..... | - 11 - |
| 1.2 Η ανάπτυξη δομής της ζύμης | - 12 - |
| 1.3 Το στάδιο της ζύμωσης..... | - 14 - |
| 1.3.1 Ο ρόλος της μαγιάς στο φούσκωμα του ψωμιού..... | - 15 - |
| 1.4 Η διαδικασία ψησίματος του ψωμιού | - 18 - |
| 1.5 Ο σχηματισμός της κρούστας στο ψωμί | - 20 - |
| 2. Εισαγωγικά για τη τσουκνίδα..... | - 22 - |
| 2.1 Συστατικά της τσουκνίδας..... | - 23 - |
| 2.2 Συστατικά στα τριχίδια των φύλλων | - 24 - |
| 2.3 Θεραπευτικές ιδιότητες | - 25 - |
| 2.4 Αντιφλεγμονώδης δράση | - 26 - |
| 2.5 Αντιοξειδωτική δράση..... | - 27 - |
| 2.6 Αντιμικροβιακές ιδιότητες | - 28 - |
| ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ..... | - 31 - |
| 3.1 Υλικά | - 31 - |
| 3.1.1 Συγκεντρώσεις αποξηραμένης τσουκνίδας. | - 31 - |
| 3.1.2 Παρασκευή ψωμιού..... | - 31 - |
| 3.2 Μέθοδοι | - 32 - |
| 3.2.1 Μέτρηση χρώματος | - 32 - |
| 3.2.2 Δομή | - 33 - |
| 3.2.3 Όγκος..... | - 34 - |
| 3.2.4 Πορώδες | - 34 - |
| 3.2.5 Σάκχαρα..... | - 34 - |
| 3.2.6 Αντιοξειδωτικά..... | - 35 - |
| ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ | - 36 - |
| 4.1 Αποτελέσματα χρώματος | - 36 - |
| 4.1.1 Αποτελέσματα χρώματος ψίχας. | - 36 - |
| 4.1.2 Αποτελέσματα χρώματος της κρούστας..... | - 39 - |
| 4.2 Αποτελέσματα όγκου των δειγμάτων. | - 43 - |
| 4.3 Αποτελέσματα για το πορώδες των δειγμάτων..... | - 45 - |

| | |
|--|--------|
| 4.4 Αποτελέσματα δομής..... | - 50 - |
| 4.5 Αποτελέσματα σακχάρων | - 53 - |
| 4.6 Αποτελέσματα αντιοξειδωτικών | - 55 - |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ..... | - 58 - |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | - 61 - |

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγικά για το ψωμί.

Το ψωμί αποτελεί βασική τροφή του ανθρώπου και σημαντική πηγή απαραίτητων θρεπτικών συστατικών για τη σωστή λειτουργία του οργανισμού (Dewettinck et al., 2008). Η ιστορία του ψωμιού ξεκινά από τους Σουμέριους στη Νότια Μεσοποταμία (6000 π.Χ) που παρασκεύαζαν ψωμί από αποξηραμένους, θρυμματισμένους σπόρους δημητριακών και το έψηναν σε καυτές στρόγγυλες πέτρες. Η τεχνική της αρτοποιίας τελειοποιήθηκε στην αρχαία Αίγυπτο (3000- 2000 π.Χ) όπου το ψωμί αποτέλεσε εκτός από τρόφιμο, δείκτης κοινωνικής στάθμης και μέσο αμοιβής της εργασίας. Οι αρχαίοι Έλληνες βελτίωσαν τη ποιότητα και τη γεύση του προσθέτοντας συστατικά όπως το σουσάμι, το μέλι και κομμάτια φρούτων (Ρορονα Τ. 2016).

Στον κόσμο παράγονται διάφοροι τύποι ψωμιού. Οι διάφοροι τύποι αλλά και η τεχνολογία που χρησιμοποιείται διαφέρει από χώρα σε χώρα λόγω των διαφορετικών παραδόσεων αλλά και ανάλογα τα μέσα τεχνολογίας που διαθέτει η καθεμία (Cauvain S.P. και Young L.S. 2006). Κριτήρια όπως, τα σιτηρά που αναπτύσσονται σε κάθε χώρα, οι διατροφικές συνήθειες, ο τρόπος ζωής αλλά και το οικονομικό υπόβαθρο, καθορίζουν τους τύπους ψωμιού που παρασκευάζονται.

Ο βασικός τρόπος παρασκευής ψωμιού περιλαμβάνει, τη προσθήκη νερού, αλευριού, μαγιάς και αλατιού. Με την ανάμιξη των παραπάνω συστατικών προκύπτει μια εύπλαστη και μαλακιά ζύμη που με την επίδραση της μαγιάς, διατηρεί το πορώδες και την ελαστικότητα της ακόμη και μετά το ψήσιμο (Bushuk, 1985).Μια καλή ζύμη, χαρακτηρίζεται από την ικανότητα της να συγκρατεί αέρα (διοξείδιο του άνθρακα) και να παρουσιάζει ελαστικότητα ώστε κατά τη διάρκεια του φουσκώματος και μετά στο ψήσιμο να μπορεί να διατηρεί την ελαστικότητά του (Cauvain, S.P. 2004). Τα βήματα που ακολουθούνται για την παραγωγή του ψωμιού είναι σημαντικά και όλα έχουν ως σκοπό την μετατροπή του αλευριού σε ένα εύγεστο και αποδεκτό τρόφιμο. Τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα εξής:

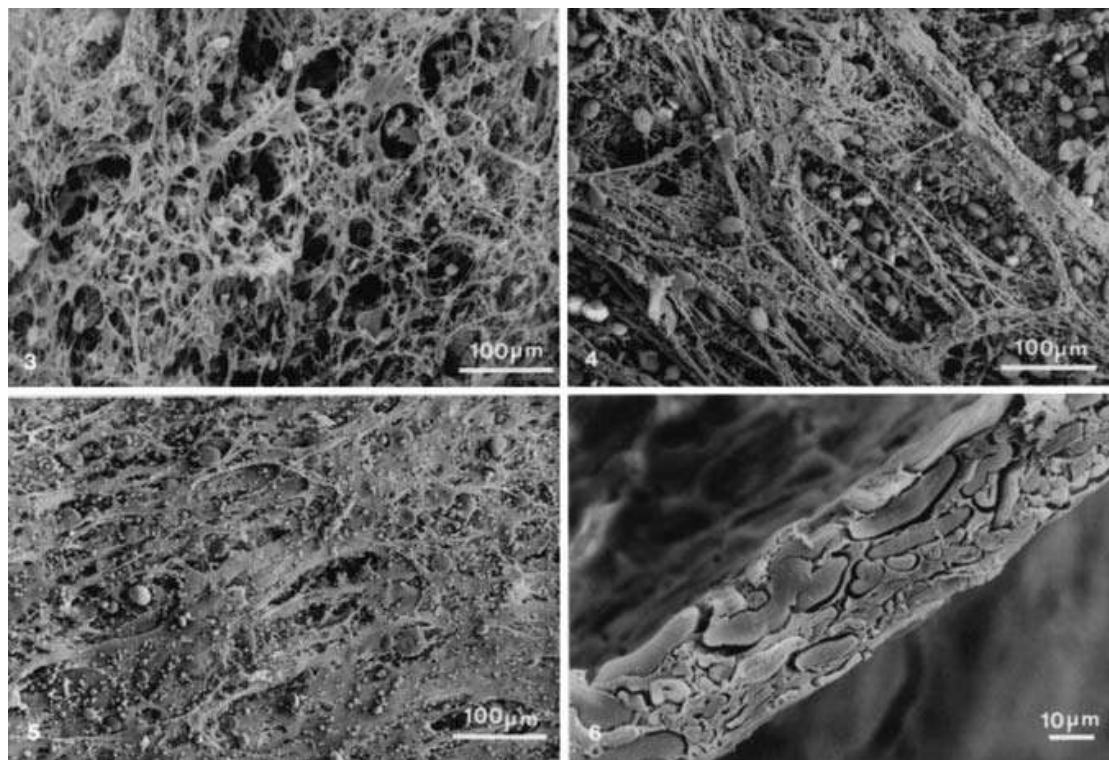
1. Η ανάμιξη του αλευριού (κυρίως αλεύρι σίτου) και νερού με μαγιά και αλάτι, αλλά και άλλων συστατικών σε κατάλληλες αναλογίες.

2. Η ανάπτυξη δικτύου γλουτένης στο ζυμάρι με την εφαρμογή ενέργειας κατά τη διάρκεια της ανάμιξης, μια διαδικασία που ονομάζεται ζύμωση.
3. Η ενσωμάτωση φυσαλίδων αέρα στη ζύμη κατά τη διάρκεια της ανάμιξης.
4. Η συνεχής ανάπτυξη του δικτύου γλουτένης με τη ζύμωση, με σκοπό την τροποποίηση των ρεολογικών ιδιοτήτων της ζύμης και τη βελτίωση της εκτατότητας του ζυμαριού που οφείλεται στην παρουσία φυσαλίδων από την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα κατά τη ζύμωση. Το στάδιο αυτό ονομάζεται ωρίμανση ή επώαση του ζυμαριού.
5. Η δημιουργία ή η τροποποίηση ενώσεων που αφορούν τη γεύση στη ζύμη.
6. Η ζύμωση και η εκτατότητα του ζυμαριού κατά τη διάρκεια της <ξεκούρασης> της ζύμης.
7. Ο σχηματισμός της τελικής δομής του ζυμαριού κατά τη διάρκεια του ψησίματος.

1.2 Η ανάπτυξη δομής της ζύμης

Όταν το αλεύρι και το νερό αναμειγνύονται μαζί σε αναλογία 3:1 και ζυμώνεται, σχηματίζεται μια ελαστική ζύμη που μπορεί να παγιδεύσει μέσα της αέρα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της ζύμωσης. Η ποσότητα του νερού που απορροφάται από το αλεύρι εξαρτάται από την ακεραιότητα των κόκκων αμύλου αλλά και την ποσότητα των πρωτεϊνών που είναι παρούσες (Kokawa et al., 2012). Υψηλό ποσοστό κατεστραμμένων κόκκων οδηγεί σε μεγαλύτερη απορρόφηση νερού. Η σημαντική ιδιότητα της ζύμης η ελαστικότητά της, οφείλεται στην πρωτεΐνη γλουτένη (Amend, & Belitz, 1990). Η ενυδατωμένη γλιαδίνη είναι κολλώδης και έχει την ικανότητα να επεκτείνεται, ενώ η γλουτενίνη είναι συνεκτική και πλαστική στην υφή της. Κατά το στάδιο της ενυδάτωσης, οι πρωτεΐνες της γλουτένης ξεδιπλώνονται και δεσμεύονται η μια με την άλλη, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται το δίκτυο γλουτένης μαζί με έναν αυξανόμενο αριθμό διασυνδέσεων μεταξύ των μορίων. Παρακάτω παρατίθενται οι εικόνες που απεικονίζουν την ανάπτυξη της γλουτένης στα διάφορα στάδια της ζύμωσης (εικόνα 1).

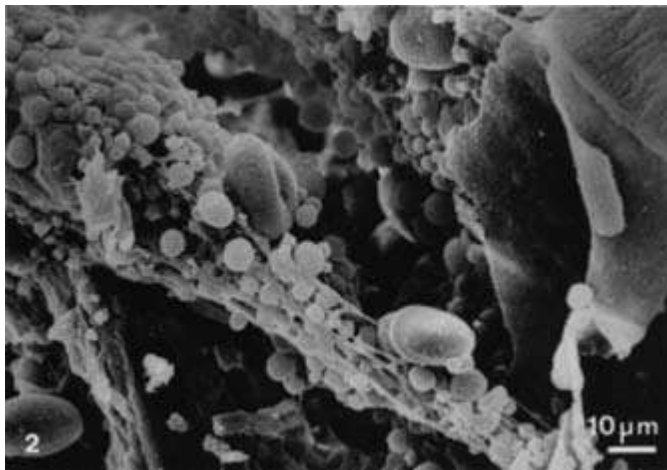
Στα πρώιμα στάδια της ζύμωσης, που αντιστοιχούν στην ενυδάτωση, τα ινίδια των ενυδατωμένων πρωτεϊνών προσκολλώνται το ένα με το άλλο σχηματίζοντας ένα δίκτυο με μακριές αλυσίδες (εικόνα 1.3). Η επίδραση της ανάμιξης τεντώνει τις αλυσίδες, τις λεπταίνει και τις οδηγεί σε τέτοια κατεύθυνση ώστε να αλληλεπιδρούν η μία με την άλλη (εικόνα 1.4). Όταν φτάνει στο μέγιστο σημείο αντίστασης (εικόνα 1.5) έχει μειωθεί αρκετά η διάμετρος των ινιδίων πρωτεϊνών και φαίνονται να αλληλεπιδρούν και από τις δύο πλευρές. Σε αυτό το στάδιο η γλουτένη είναι ικανή να σχηματίσει το λεπτό συνεχές στρώμα γλουτένης (Gao, L. et al., 1992).



Εικόνα 1: το δίκτυο γλουτένης σε διάφορα στάδια ανάμιξης. (3): στο αρχικό στάδιο της προσθήκης νερού στο αλεύρι. (4): το δίκτυο μετά από μερική ανάμιξη, (5) και (6): η ζύμη στο τελικό στάδιο της ανάμιξης (Amend 1995).

Στη συνέχεια, οι δισουλφιδικοί δεσμοί σπάνε και ξανασχηματίζονται (-S-S-) μέσα στα μόρια αλλά και μεταξύ των πρωτεϊνών κατά τη διάρκεια της ανάμιξης. Η γλουτένη δε σχηματίζεται ταυτόχρονα με την ανάμιξη του νερού με το αλεύρι, καθώς απαιτείται ενέργεια. Η ενέργεια αυτή παρέχεται από τη διαδικασία της

ανάμειξης με σκοπό να σπάνε και να σχηματίζονται οι δεσμοί στα μόρια γλουτένης. Σε αυτό το σημείο το ζυμάρι σφίγγει και γίνεται λείο και γυαλιστερό. Η γλουτένη τώρα αποτελείται από ένα στρώμα στο οποίο είναι ενσωματωμένοι οι κόκκοι αμύλου (εικόνα 2) (Williams and Pullen 1998). Ακόμη, τα ελεύθερα λιπίδια και τα γλυκολιπίδια ενσωματώνονται στο δίκτυο μέσω υδρόφοβων και υδρόφιλων δεσμών (Chung, 1986).



Εικόνα 2: απεικόνιση πρωτεϊνών και κόκκων αμύλου σε σωματίδια αλεύρου (Amend, 1995).

Άλλο σημαντικό σημείο για το σχηματισμό της ζύμης, αποτελεί η ενσωμάτωση αέρα και πιο συγκεκριμένα αζώτου. Αυτό σχηματίζει μη διαλυτές φυσαλίδες στο ζυμάρι, οι οποίες γίνονται το σημείο όπου ενσωματώνεται το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται στο στάδιο της ζύμωσης (Baker, 1941).

1.3 Το στάδιο της ζύμωσης

Κατά το στάδιο της ζύμωσης, συμβαίνουν πολλές διεργασίες ταυτόχρονα και προκειμένου να επιτευχθεί ένα ψωμί με επιθυμητά χαρακτηριστικά κάθε διαδικασία αξιοποιείται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Η μαγιά χρησιμοποιείται εδώ και χιλιάδες χρόνια για τη ζύμωση του ψωμιού. Χρησιμοποιούνται κυρίως καλλιέργειες του ζυμομύκητα *Saccharomyces cerevisiae* ως διογκωτικοί παράγοντες στη ζύμωση του ψωμιού.

Επιθυμητές ιδιότητες της μαγιάς

- Υψηλή παραγωγή CO₂ κατά τη διάρκεια της ζύμωσης λόγω του υψηλού ρυθμού γλυκόλυσης.
- Την ικανότητα χρήσης μαλτόζης όταν η ποσότητα γλυκόζης στο αλεύρι έχει μειωθεί.
- Η ικανότητα αποθήκευσης υψηλών συγκεντρώσεων τρεχαλόζης, η οποία προσδίδει αντοχή στην ψύξη και στις υψηλές συγκεντρώσεις σακχάρων και αλάτων.
- Ανοχή σε συντηρητικά του ψωμιού, όπως είναι το προπιονικό.

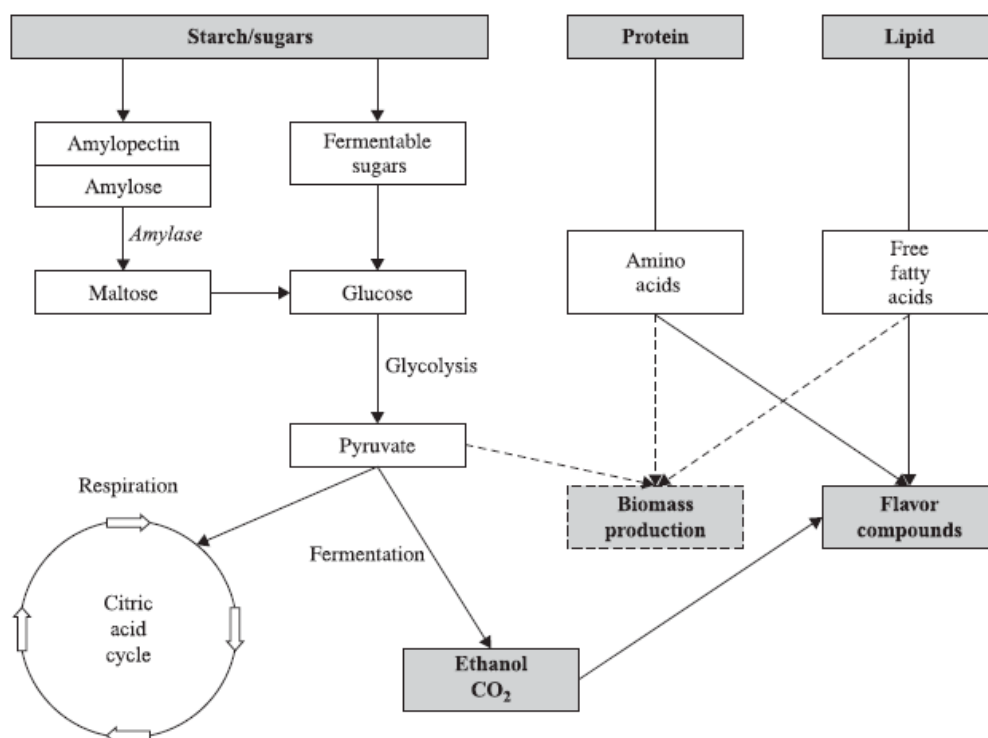
1.3.1 Ο ρόλος της μαγιάς στο φούσκωμα του ψωμιού.

Τα είδη ζυμομυκήτων που περιέχει η μαγιά έχουν την ικανότητα να φουσκώνουν το ψωμί, καθώς μετατρέπουν τα σάκχαρα σε αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα κάτω από αερόβιες και αναερόβιες συνθήκες (Hagman, 2013).

Στη ζύμη υπάρχουν τρεις πηγές σακχάρων: (α) τα φυσικά σάκχαρα που βρίσκονται στο αλεύρι (σουκρόζη, φρουκτόζη, γλυκόζη και μαλτόζη), (β) η σουκρόζη που προστίθεται από τους παρασκευαστές της ζύμης και (γ) η μαλτόζη που προκύπτει από τη διάσπαση του αμύλου. Η διάσπαση του αμύλου οφείλεται στη διαδικασία ανάμειξης, όπου το άμυλο διογκώνεται με νερό και υδρολύεται εύκολα από την α-αμυλάση (Delcour et al., 2010). Καθώς η μαλτόζη αποτελεί σημαντική πηγή άνθρακα, η ικανότητα ζύμωσης της μαλτόζης συνδέεται άμεσα με την απόδοση ζύμωσης (χρόνος και παραγωγή CO₂) του ζυμαριού.

Όταν η μαγιά προστίθεται στη ζύμη, οι συνθήκες επιτρέπουν τη συνέχεια των μεταβολικών διεργασιών που έχουν ξεκινήσει ήδη. Η μαγιά παράγεται κάτω από αερόβιες συνθήκες και για αυτό προσαρμόζεται γρήγορα σε αυτό το στάδιο μεταβολισμού. Στη συνέχεια οι συνθήκες γίνονται αναερόβιες καθώς το οξυγόνο που έχει ενσωματωθεί στη ζύμη εξαντλείται γρήγορα (Gancedo, 1998). Τα σάκχαρα μεταβολίζονται σε πυροσταφυλικό μέσω της γλυκόλυσης. Το πυροσταφυλικό στη συνέχεια αποκαρβοξυλιώνεται σε ακεταλδεΐδη ώστε να παραχθεί διοξείδιο του

άνθρακα και σχηματίζεται αιθανόλη από τη μείωση της ακεταλδεΐδης από το NADH₂ (εικόνα 3). Για κάθε μόριο γλυκόζης που μεταβολίζεται δύο μόρια παράγονται, αιθανόλης και διοξειδίου του άνθρακα. Αυτός ο τύπος μεταβολισμού είναι χαρακτηριστικός στον *S.cerevisiae* στη ζύμη λόγω της απουσίας οξυγόνου και της μη περιορισμένης παροχής σακχάρων (Maloney and Foy 2003).



Εικόνα 3: βιοχημικές μεταβολές κατά τη ζύμωση του ψωμιού από την προσθήκη μαγιάς (J. A. Narvhus et al., 2012).

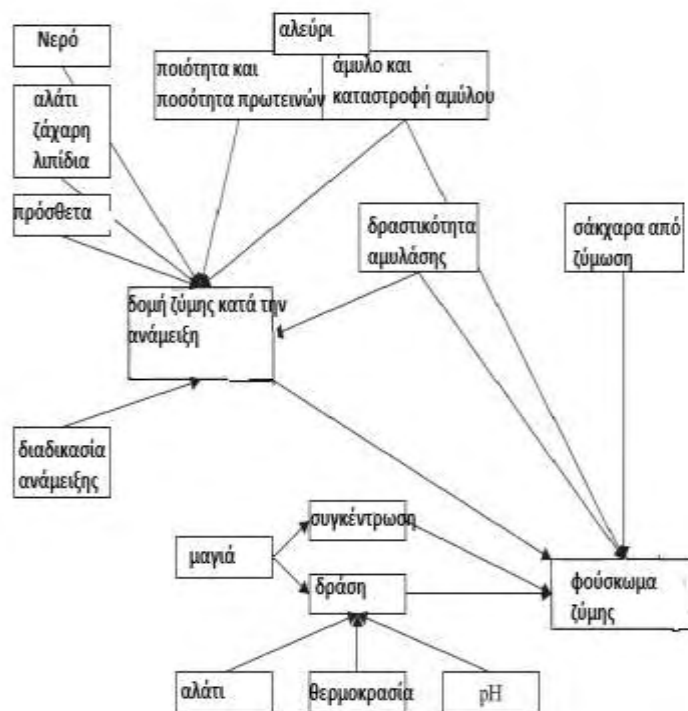
Η διαθέσιμη ποσότητα μαλτόζης είναι μια πολύπλοκη αλληλεπίδραση ανάμεσα στο κατεστραμμένο άμυλο, στα επίπεδα αμυλάσης στο αλεύρι και στην έκταση της διαδικασίας της ζύμωσης. Η μαλτόζη συσσωρεύεται στα πρώιμα στάδια της ζύμωσης καθώς παράγεται από την αμυλάση, αλλά δεν μεταβολίζεται από τη μαγιά γιατί η παρουσία γλυκόζης περιορίζει τη χρήση της.

Όταν καταναλώνονται τα σάκχαρα κατά τη ζύμωση, η μαγιά αδυνατεί να συνεχίσει τη ζύμωση και χρησιμοποιεί τον μεταβολισμό της μαλτόζης που παράγεται από την β- αμυλάση. Τα προϊόντα μεταβολισμού της μαγιάς στη ζύμωση ποικίλουν και εξαρτώνται από το pH. Η τιμή του pH στο ψωμί είναι συνήθως κάτω από 6.0 και

πάνω από τέτοιες τιμές παράγονται και άλλα τελικά προϊόντα εκτός από αιθανόλη και CO₂ όπως ηλεκτρικό, οξικό οξύ και γλυκερόλη (Stolz P et al., 1993). Ακόμη, ο *S.cerevisiae* αποδομεί πρωτεΐνες και λιπίδια με αποτέλεσμα να παράγονται και ενώσεις που προσδίδουν γεύση.

Η προσθήκη μαγιάς στη ζύμωση συνεισφέρει επίσης στο άρωμα και στη γεύση του ψωμιού (Stear 1990). Οι Zehentbauer και Grosch (1998) έδειξαν ότι το ποσοστό μαγιάς, ο χρόνος και η θερμοκρασία ζύμωσης επηρεάζουν το άρωμα και τη ψίχα της μπαγκέτας και ταυτοποίησαν γευστικές ενώσεις όπως το 2-acetyl-1-pyrroline, το methyl propanal, το 2- 3-methylbutanal και το 1-octene-3- ol.

Η παραγωγή αιθανόλης και CO₂ είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη της επιθυμητής δομής της ψίχας (εικόνα 4). Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης μερικό ποσοστό του CO₂ χάνεται στην ατμόσφαιρα, αλλά το περισσότερο αποθηκεύεται σε φυσαλίδες αέρα και ενσωματώνεται στη ζύμη ή διαλύεται στην υδατική φάση της ζύμης. Η ποσότητα που μπορεί να διαλυθεί στην υδατική φάση εξαρτάται από τη θερμοκρασία και συμβαίνει κυρίως σε χαμηλή θερμοκρασία. Καθώς η υδατική φάση είναι κορεσμένη από CO₂, το CO₂ δεν μπορεί να διαφύγει από τις φυσαλίδες μέσω διάχυσης στη ζύμη με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο όγκος του ψωμιού. Καθώς συσσωρεύεται αέρας, οι ρεολογικές ιδιότητες του ψωμιού επιτρέπουν την εξάπλωσή του ώστε να ισοσταθμίσει την πίεση που ασκεί. Η αιθανόλη αντιδρά με τη γλουτένη ώστε να μαλακώσει τη ζύμη και να επιτρέψει την εκτατότητά της. Επιπρόσθετα, η ζύμη πρέπει να έχει τις απαραίτητες φυσικές ιδιότητες ώστε να αντιστέκεται στους όποιους χειρισμούς και να επιτρέπει την συγκράτηση αέρα με σκοπό να επιτευχθεί η βέλτιστη δομή του τελικού προϊόντος (Stear 1990).



Εικόνα 4: σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν το φούσκωμα του ψωμιού.

1.4 Η διαδικασία ψησίματος του ψωμιού

Καθώς το ψωμί υφίσταται το στάδιο του φουσκώματος και τοποθετείται στο φούρνο ψησίματος στην εξωτερική επιφάνεια του ψωμιού αρχίζει να σχηματίζεται η κρούστα. Δημιουργείται μια κλίμακα θερμοκρασιών, η οποία αναπτύσσεται λόγω της μεταφοράς θερμότητας από τη φόρμα ψησίματος στο ψωμί, και όταν το ψωμί αποκτήσει τις επιθυμητές ιδιότητες τότε η θερμότητα από το φούρνο και η φάση φουσκώματος του ψωμιού συγχρονίζονται. Εκτός από την εξωτερική κρούστα, κανένα άλλο μέρος του ψωμιού δεν στεγνώνει (Wählby and Skjöldebrand, 2002). Για αυτό το λόγο αν και η θερμοκρασία ψησίματος γίνεται στους 200° C, η θερμοκρασία στο εσωτερικό του ψωμιού δεν ξεπερνά τους 100° C. Στο πρώτο στάδιο αύξησης της θερμοκρασίας αυξάνεται η δραστηκότητα της μαγιάς και η παραγωγή CO₂. Την ίδια στιγμή, μειώνεται η διαλυτότητα του CO₂, η αιθανόλη και το νερό

εξατμίζονται και αυξάνεται ο όγκος των φυσαλίδων αέρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου της ζύμης (Moore, J. et al., 2009).

Καθώς η θερμοκρασία συνεχίζει να αυξάνεται στο εσωτερικό του ψωμιού, συμβαίνουν αλλαγές. Τα ένζυμα της μαγιάς αρχίζουν να αδρανοποιούνται στους 65° C. Οι αμυλάσες της ζύμης είναι δραστικές μέχρι τους 65 με 70° C και αρχίζει να αυξάνεται η ποσότητα των διαλυτών υδατανθράκων. Η ζελατινοποίηση του αμύλου συμβαίνει στους 55–65° C, και το νερό που απαιτείται παρέχεται από το δίκτυο γλουτένης το οποίο γίνεται πιο άκαμπτο και παχύρευστο μέχρι η θερμοκρασία να φτάσει σε επίπεδα όπου ξεκινά η πήξη των πρωτεϊνών (Morris 1990). Σε αυτό το στάδιο η δομή της ζύμης έχει αλλάξει και έχει γίνει πιο άκαμπτη λόγω της μετουσίωσης των πρωτεϊνών και της ζελατινοποίησης του αμύλου. Αυτές οι αλλαγές συμβαίνουν πρώτα κοντά στο σημείο της κρούστας και διαδοχικά στη ψίχα καθώς μεταφέρεται θερμότητα προς το εσωτερικό.

Προς το τέλος του ψησίματος, η θερμοκρασία είναι λίγο υψηλότερη από 100° C. Το χρώμα της κρούστας γίνεται καφέ και αρωματικές ενώσεις όπως αλδεΐδες και κετόνες αρχίζουν να σχηματίζονται λόγω των αντιδράσεων Maillard (Vitali et al., 2009). Η παραγωγή ενώσεων που προσδίδουν γεύση γίνεται σε δυο στάδια. Πρώτα σχηματίζονται ενώσεις κατά το στάδιο της ζύμωσης και έπειτα κατά τη διάρκεια του ψησίματος μερικές από τις ενώσεις αντιδρούν μεταξύ τους ή με άλλα συστατικά του ψωμιού και σχηματίζουν άλλες γευστικές ενώσεις (Bianchi et al., 2008). Κάποιες από τις ενώσεις που παράγονται κατά το στάδιο της ζύμωσης μπορεί να χαθούν λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, αλλά αυτές που διατηρούνται διαχέονται στη ψίχα αφού κρυώσει το ψωμί. Με περαιτέρω αποθήκευση του ψωμιού οι περισσότερες ενώσεις μειώνονται εξαιτίας του φαινομένου της εξάτμισης. Συνολικά έχουν βρεθεί πάνω από 200 διαφορετικές ενώσεις που προσδίδουν γεύση στο ψωμί (Ahrne, Andersson, Floberg, Rosen, & Lingnert, 2007).

1.5 Ο σχηματισμός της κρούστας στο ψωμί

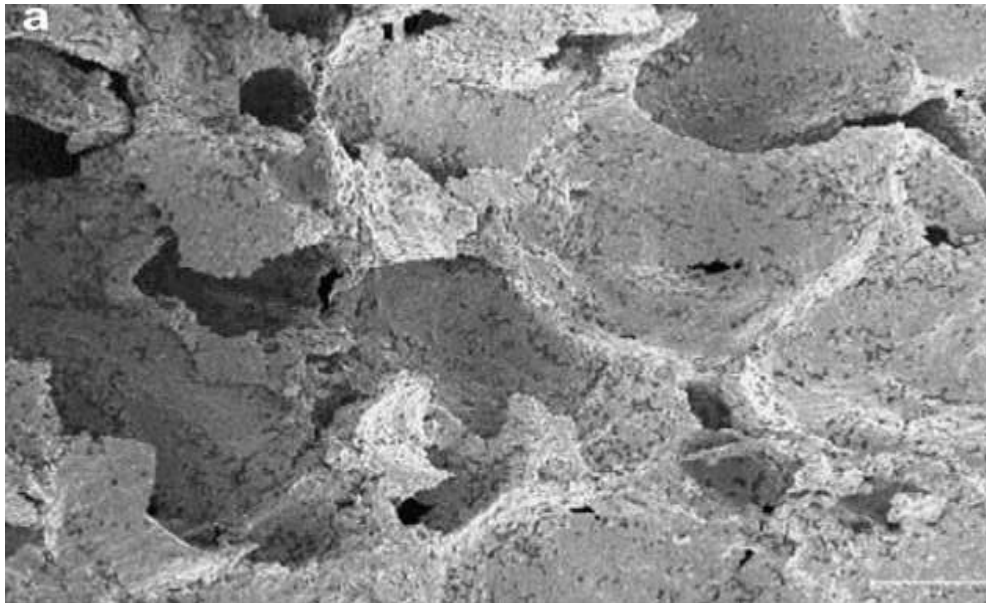
Η ψίχα και η κρούστα σχηματίζονται από την ζύμη, αλλά οι ιδιότητές τους διαφέρουν σύμφωνα με τις συνθήκες θερμότητας και ελεύθερου νερού που επικρατούν στη συγκεκριμένη φάση. Καθώς το ψωμί τοποθετείται στο φούρνο, το νερό εξατμίζεται πολύ γρήγορα από τα επιφανειακά στρώματα, μειώνοντας έτσι τα ποσοστά νερού σε σχέση με αυτά στο εσωτερικό του ψωμιού. Η συνολική απώλεια νερού από την κρούστα συνδέεται με την απώλεια του συνολικού βάρους. Η κατανομή του νερού ανάμεσα στη ψίχα και στη κρούστα ακόμη συνεισφέρει και στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του ψωμιού καθώς το καθιστά πιο ελκυστικό ως τελικό προϊόν (Attenburrow, Goodband, Taylor, & Lillford, 1989).

Η τραγανότητα του ψωμιού σχετίζεται επίσης με τη χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία και την ενεργότητα του νερού, όταν το άμυλο και το δίκτυο γλουτένης είναι σε κατάσταση που ευνοούν τη ρήξη των κυτταρικών τοιχωμάτων (Stokes & Donald, 2000). Η χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό της κρούστας επηρεάζει τις ρεολογικές αλλαγές που συμβαίνουν στο δίκτυο γλουτένης και κυρίως την ανάπτυξη των κυττάρων κατά το ψήσιμο.

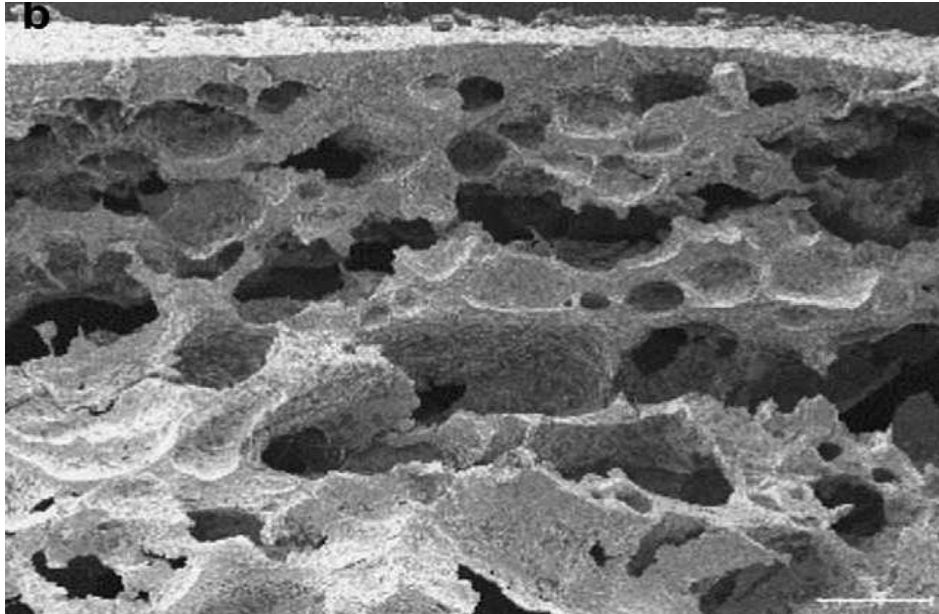
Οι μηχανισμοί που συνεισφέρουν στο σχηματισμό της κρούστας είναι η θερμοκρασία, η περιεκτικότητα του νερού και βιοχημικές αντιδράσεις όπως η ζελατινοποίηση του αμύλου, η πήξη της γλουτένης και οι αντιδράσεις Maillard (Vanin et al., 2009).

Η θερμοκρασία στην επιφάνεια του ψωμιού φτάνει γρήγορα τους 100° C και μετά προσεγγίζει με πιο αργό ρυθμό τη θερμοκρασία του φούρνου. Η γρήγορη αύξηση που παρατηρείται επιτυγχάνεται με τη χαμηλή θερμική αγωγιμότητα στον πυρήνα της ζύμης και από την υψηλή ακτινοβολία που προέρχεται από τα τοιχώματα του φούρνου (Baik, 2000). Όταν η θερμοκρασία στην επιφάνεια ξεπερνά τους 100° C, αυτό συμβαίνει λόγω της διαφοράς στη σύσταση νερού μεταξύ επιφάνειας και ψίχας. Το νερό εξατμίζεται στην επιφάνεια πιο γρήγορα από ότι συμβαίνει στο εσωτερικό του ψωμιού. Ακόμη, εξαιτίας του μηχανισμού εξάτμισης- συμπίκνωσης και διάχυσης, η περιεκτικότητα σε νερό στον πυρήνα του ψωμιού παραμένει σταθερή (Trystram, 2012).

Η περιεκτικότητα σε νερό στη ψίχα παραμένει σχεδόν σταθερή σε σύγκριση με την αρχική περιεκτικότητα, ενώ στην κρούστα η περιεκτικότητα σε νερό μειώνεται (Bassal, Vasseur, and Lebert, 1993). Η μεταφορά θερμότητας θεωρείται η κινητήριος δύναμη για την εξάτμιση του νερού και μπορεί να επιτευχθεί αυξάνοντας τη θερμοκρασία του φούρνου (Wahlby and Skjoldebrand, 2002). Ακόμη η σχέση θερμότητας υγρασίας επηρεάζει τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου. Στα επιφανειακά στρώματα της κρούστας οι κόκκοι αμύλου που βρίσκονται εκεί ζελατινοποιούνται λόγω της μείωσης της περιεκτικότητας σε νερό και το γρηγορότερο ρυθμό μεταφοράς θερμότητας. Αυτό επηρεάζει τις ρεολογικές ιδιότητες της ζύμης κατά τη διάρκεια του ψησίματος και την ανάπτυξη των κυττάρων της κρούστας (Biliaderis, C. 1980). Παρακάτω παρατίθενται οι εικόνες 5 και 6 όπου παρατηρείται η δομή της ψίχας και της κρούστας σε ψημένο ψωμί .



Εικόνα 5: μικροδομή ψίχας ψημένου ψωμιού (πηγή εικόνας Datta et al. 2006).



Εικόνα 6: δομή κρούστας ψημένου ψωμιού (πηγή εικόνας Datta et al. 2006).

2. Εισαγωγικά για τη τσουκνίδα

Η τσουκνίδα (*Urtica dioica*) ανήκει στην οικογένεια των άγριων φυτών Urticaceae και το όνομα της προέρχεται από την λατινική λέξη «urege» που σημαίνει τσίμπημα και πιο συγκεκριμένα από το uro, που σημαίνει να καίγεται με τριβή (Fiol et al., 2016, Bourgeois et al., 2016). Πρόκειται για πολυετές ποώδες φυτό με ύψος που φτάνει τα 2 m.. Σήμερα μπορεί να βρεθεί σε εύκρατες κλιματολογικές ζώνες της Ευρώπης (περισσότερο στη βόρεια από ότι στην νότια Ευρώπη), στη βόρεια Αφρική, στην Ασία και στη βόρεια και νότια Αμερική. (Ait Haj Said et al., 2015).

Τα φύλλα και ο βλαστός της καλύπτονται από τριχίδια τα οποία είναι υπεύθυνα για το τσίμπημα και για την αίσθηση κνησμού (Bisht S et al., 2012). Ο βλαστός της αποτελείται από πράσινα φύλλα και άνθη. Το φυτό αποτελείται από αρσενικά ή θηλυκά άνθη σε διαφορετικές περιόδους άνθισης και από αυτό προκύπτει και το όνομα του φυτού dioica (Wagner H et al., 1989). Αναπτύσσεται κυρίως σε έδαφος που είναι πλούσιο σε άζωτο και η περίοδος άνθισης του είναι μεταξύ των μηνών Ιουνίου και Σεπτεμβρίου.



Εικόνα 7: (a)ολόκληρο το φυτό , (b) άνθη τσουκνίδας (c) τριχίδια τσουκνίδας (d) ρίζα τσουκνίδα (e) φύλλα τσουκνίδας (Jan et al., 2017).

2.1 Συστατικά της τσουκνίδας.

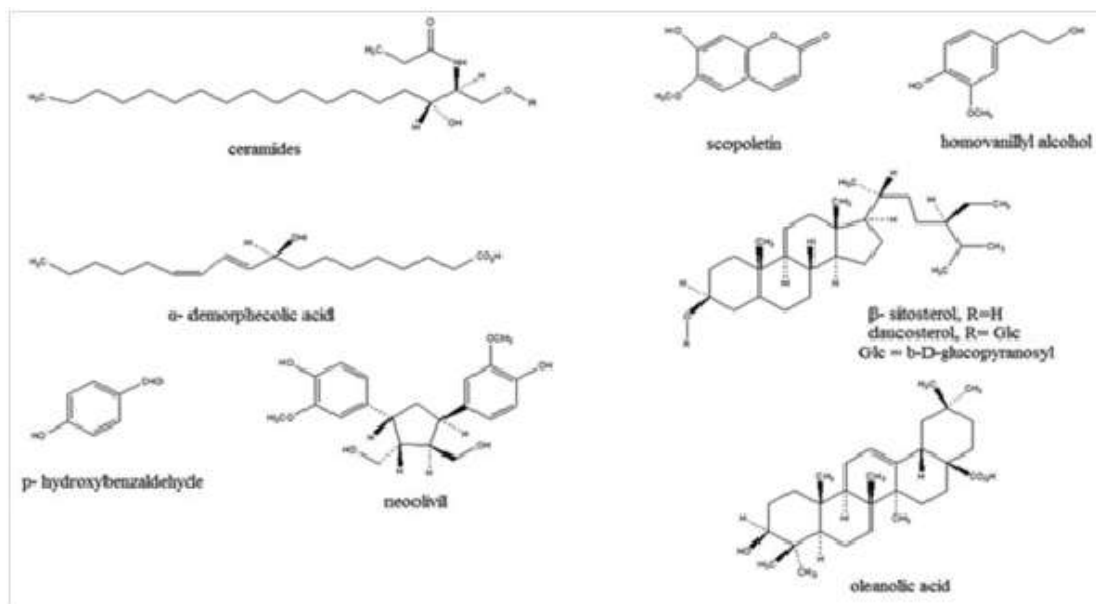
Τα φύλλα τσουκνίδας περιέχουν μια μεγάλη ποικιλία χημικών συστατικών. Οι πιο σημαντικές ενώσεις που είναι υπεύθυνες για την καυστική δράση των τριχιδίων των φύλλων είναι η ακετυλοχολίνη, η ισταμίνη, η 5- υδροξυτρυπταμίνη και μικρές ποσότητες λευκοτριένιων (Czarnetzki et al., 1990). Σύμφωνα με τους Bombardelli and Morazzoni, (1997), Ellnain-Wojtaszek et al., (1986), Kudritsata et al., (1986), Rafajlowska et al., (2001) και Wetherilt, (1992) επιβεβαιώνεται και η παρουσία άλλων ενώσεων όπως των φλαβονοειδών, λιπαρών οξέων, τερπενίων, πρωτεϊνών, βιταμινών και μεταλλικών στοιχείων. Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας (1) με τα συστατικά που περιλαμβάνει η τσουκνίδα.

| | |
|--------------------|---|
| Φλαβονοειδή | καιμπφερόλη, η κερκετίνη, η ισοραμνετίνη, η 3 – ρουτινοσίδη και η 3 – γλυκοσίδη (Bucar et al., 2006; Ellnain-Wojtaszek et al., 1986). Πατουλίνη (Saeed et al., 1995). Αστραγαλίνη, ρουτίνη (Ellnain- Wojtaszek M et al., 1986). |
| Φαινολικές ενώσεις | σικιμικό οξύ, καφεϊκό οξύ και εστέρες όπως το χλωρογενικό οξύ, κουμαρίνη και σκοπολετίνη (Wichtl and Schefer- Korting, 1994). |
| Αιθέρια έλαια | εστέρες σε ποσοστό 14,7 %, ελεύθερες αλκοόλες (2%), κετόνες 38,5 % και αλδεΐδες (Frank et al., 1998; Naves and Ardizio, 1955) |
| Λιπαρά οξέα | παλμιτικό οξύ, το στεαρικό οξύ, το ολεϊκό οξύ, το λινολεϊκό και το λινολενικό οξύ (Rafajlovska et al. 2001) |
| Καροτένια | β- καροτένιο, υδροξυ-β- καροτένιο (Bertok, 1956; Frank et al., 1998). Βιολαξανθίνη και λουτεΐνη (Kudritsata et al., 1986, Rohricht 2007). |
| Άλλα συστατικά | Βιταμίνη Β, C, Κ (Wetherilt H, 1992), ασβέστιο, κάλιο, φώσφορο, μαγνήσιο, ψευδάργυρο (Afolayan and Jimoh, 2009). |

Πίνακας 1: Συστατικά που περιέχονται στη τσουκνίδα.

2.2 Συστατικά στα τριχίδια των φύλλων

Στα τριχίδια των φύλλων *U. Dioica* έχει βρεθεί υψηλό ποσοστό 5-υδροξυτρυπταμίνης (σεροτονίνη) (Collier and Chesher, 1956; Vialli et al., 1973), ισταμίνης (Vialli et al., 1973) και ακετυλοχολίνης (Barlow and Dixon, 1973). Η ισταμίνη και η ακετυλοχολίνη είναι οι δυο νευροδιαβιβαστές που είναι υπεύθυνοι για την αίσθηση του τσιμπήματος. Μαζί με την ισταμίνη που έχει αντιφλεγμονώδη δράση, τα τριχίδια των φύλλων περιέχουν και υψηλά ποσοστά σε λευκοτριένια B4 και C4 που συνδέονται με την αίσθηση κνησμού (Czarnetzki et al., 1990). Οι Frank et al. (1998) επιβεβαίωσαν τη παρουσία ισταμίνης στα τριχίδια των φύλλων στην *U. urens* (5 ng per hair), της ακετυλοχολίνης (53 ng per hair), των λευκοτριένιων B4 (0.15 pg per hair) και C4 (0.3 pg per hair).



Εικόνα 8: δομή χημικών συστατικών της τσουκνίδας (Joshi et al., 2014).

2.3 Θεραπευτικές ιδιότητες

Είναι γνωστό εδώ και χρόνια ότι η τσουκνίδα έχει εφαρμογές στην ιατρική καθώς έχει αντιοξειδωτικές, αντιμικροβιακές και αναλγητικές ιδιότητες (Gulcin *et al.* 2004; Szabo *et al.* 2006). Ο Ιπποκράτης (460–377 BC) χρησιμοποίησε την τσουκνίδα σε 61 θεραπείες του (Urton, 2013). Η σοφή φράση του, < Φάρμακό σας ας γίνει η τροφή σας και η τροφή σας γίνει φάρμακό σας >, έχει ενσωματωθεί στην έννοια του παραδοσιακού φαγητού και η τσουκνίδα αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα.

Τα φύλλα και η ρίζα του φυτού χρησιμοποιούνται και τα δυο για θεραπείες διάφορων φύσεως παθήσεων. Τα φύλλα ενδείκνυνται για ρευματικές παθήσεις για λοιμώξεις του ουροποιητικού συστήματος και για τη θεραπεία αλλεργιών. Η ρίζα χρησιμοποιείται κυρίως για τη θεραπεία σε καλοήγη υπερπλασία του προστάτη. Αναφορές δείχνουν την σημαντικότητα της στη θεραπεία της αναιμίας (Leporatti and Corradi, 2001; Pinelli et al., 2008), της αρθρίτιδας και του εκζέματος (Orčić et al., 2014; Pinelli et al., 2008) καθώς και για προβλήματα που σχετίζονται με τους νεφρούς όσο αναφορά κύστες και μείωση του ουρικού οξέος (Di Virgilio et al., 2015).

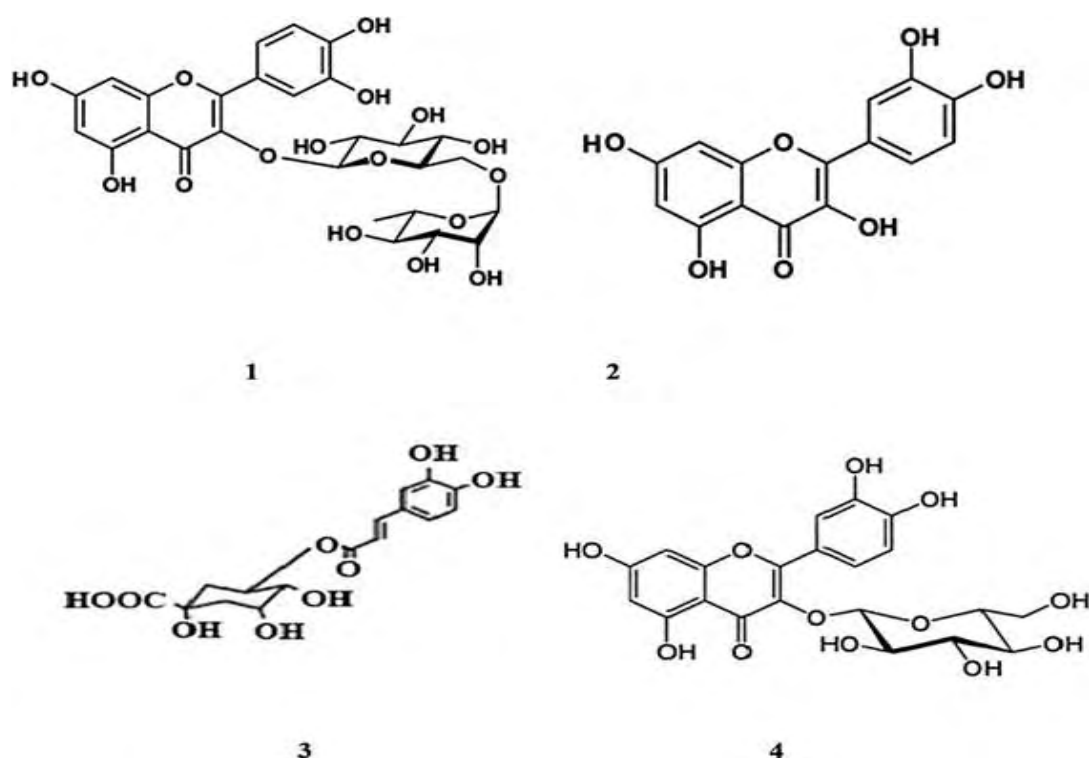
2.4 Αντιφλεγμονώδης δράση

Η φλεγμονή αποτελεί μια φυσική άμυνα του οργανισμού, και αποτελεί μια απαραίτητη απάντηση του ανοσοποιητικού συστήματος καθώς βοηθάει το σώμα να ανταπεξέλθει κατά τη διάρκεια τραυματισμών και να διατηρήσει την ομοιόσταση του σε αντίξοες συνθήκες (Vishal.V et al., 2014). Η θεραπεία για τη φλεγμονή περιέχει διαφορετικές προσεγγίσεις στις οποίες σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν μια σειρά από θεραπευτικά βότανα (Cipolla G et al., 2002, Peesa JP et al., 2016). Η αντιφλεγμονώδης δράση της τσουκνίδας οφείλεται στην ανασταλτική επίδραση του NF- κ B, που ανήκει στην οικογένεια μεταγραφικών παραγόντων που είναι υπεύθυνοι για την επαγωγή της έκφρασης γονιδίων που σχετίζονται με τη φλεγμονώδη δράση (P.A. Baeuerle et al., 1994).

Η μελέτη σε εκχύλισμα τσουκνίδας έδειξε αναστολή παραγόντων που προάγουν φλεγμονή και προκαλούν τα συμπτώματα των εποχικών αλλεργιών. Σε αυτά περιλαμβάνονται αναστολή της τρυπτάσης των σιτευτικών κυττάρων, εμποδίζοντας την αποκοκκίωση και την επακόλουθη απελευθέρωση πρόδρομων παραγόντων της φλεγμονής που προκαλούν συμπτώματα αλλεργίας με υψηλό πυρετό, φτέρνισμα, ρινική συμφόρηση και φαγούρα. Ακόμη τα δραστικά συστατικά στο εκχύλισμα τσουκνίδας αναστέλλουν ένζυμα όπως Hematopoietic Prostaglandin D2 synthase (HPGDS), Cyclooxygenase-1 (COX-1) και Cyclooxygenase-2 (COX-2) και έτσι αναστέλλεται και η παραγωγή προσταγλανδίνης (B. Roschek et al., 2009). Ακόμη, η αντιφλεγμονώδης δράση της τσουκνίδας έχει βρεθεί ότι οφείλεται στην παρουσία της κερκετίνης. Η δράση αυτή οφείλεται στην αντιφλεγμονώδη και στην αντιοξειδωτική δράση της κερκετίνης στη φλεγμονή παράγοντας ένζυμα όπως η κυκλοοξυγενάση, η λιποξυγενάση, αλλά και στην αναστολή των παραγόντων φλεγμονής περιλαμβάνοντας τα λευκοτριένια και τις προσταγλανδίνες (E. Koch et al., 1995).

2.5 Αντιοξειδωτική δράση

Τα αντιοξειδωτικά αποτελούν παράγοντες που δεσμεύουν τις ελεύθερες ρίζες στον οργανισμό και εμποδίζουν την καταστροφική δράση τους. Οι ελεύθερες ρίζες σχετίζονται με παθολόγεια αλλά και με ασθένειες όπως ο καρκίνος, ο διαβήτης, καρδιαγγειακές παθήσεις, αυτοάνοσα νοσήματα και νευροεκφυλιστικές ασθένειες (Ratnam et al., 2006). Η πιο σημαντική και πιο χαρακτηριστική ιδιότητα της τσουκνίδας είναι η αντιοξειδωτική της δράση που σχετίζεται με την υψηλή περιεκτικότητα της σε πολυφαινόλες. Η παρουσία ουσιών όπως η κερκετίνη, η ρουτίνη και το ασκορβικό οξύ ενισχύουν την αντιοξειδωτική της δράση. Έχει βρεθεί ότι υδατικό εκχύλισμα του φυτού έχει σημαντική δράση στην καταστροφή των ελεύθερων ριζών, στην καταστροφή ανιόντων υπεροξειδίου και στη δραστηριότητα χηλικών παραγόντων (Gulcin I et al., 2004). Ακόμη η αντιοξειδωτική δράση παρουσιάζει άμεση συσχέτιση με τη συγκέντρωση των φαινολικών οξέων που περιέχονται στο εκχύλισμα από φύλλα τσουκνίδας. Η κύρια αντιοξειδωτική δράση της κερκετίνης ενισχύεται με την παρουσία και άλλων ενώσεων όπως φλαβονοειδών (καμφερόλη) και λιγνινών (Capucine Bourgeois et al., 2016).



Εικόνα 9: Δραστικές ενώσεις της τσουκνίδας που παρουσιάζουν αντιοξειδωτική δράση 1: ρουτίνη, 2: κερκετίνη, 3: 5-O-caffeoylquinic acid, 4: ισοκερκετίνη

2.6 Αντιμικροβιακές ιδιότητες

Έχουν μελετηθεί μέχρι σήμερα διαφορετικά μέρη του φυτού σε διάφορα είδη τσουκνίδας και έχει καθοριστεί η αντιμικροβιακή της δραστηριότητα (Rafajlovska, V et al., 2001). Οι διαφορές στη δραστηριότητα που παρουσιάζουν τα διάφορα είδη σχετίζονται με τη τοποθεσία του φυτού, τις κλιματολογικές συνθήκες, καθώς και από τις διαφορετικές τεχνικές για την παραγωγή εκχυλίσματος (Dorota Kregiel et al., 2018). Σύμφωνα με τους Kukrić et al (2012), το εκχύλισμα τσουκνίδας έχει ανασταλτική δράση σε διάφορα Gram- θετικά και Gram-αρνητικά βακτήρια όπως στα *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus plantarum*, *Pseudomonas aeruginosa* και *Escherichia coli* . Οι Mahmoudi et al (2014), δημοσίευσαν ότι όλοι οι μικροοργανισμοί που μελετήθηκαν, Gram-αρνητικά και Gram-θετικά βακτήρια , καθώς και ο ζυμομύκητας *Candida albicans*, παρουσίασαν ευαισθησία σε εκχύλισμα τσουκνίδας. Πιο πρόσφατες μελέτες έδειξαν την ανασταλτική δράση του εκχυλίσματος *U. Dioica* έναντι στην αύξηση οξικού οξέος βακτηρίων που ανήκουν στο γένος *Asaia*, που βρίσκεται στα αναψυκτικά (Antolak, H et al., 2017). Από την άλλη πλευρά, οι Shale et al.(1999) δημοσίευσαν ότι τα βακτήρια *E. coli* και *P. aeruginosa* ήταν ανθεκτικά σε εκχυλίσματα αιθανόλης και μεθανόλης από μέρη του φυτού όπως ο βλαστός και τα φύλλα της *U. Dioica*.

Η σημαντική αύξηση του πληθυσμού τη τελευταία δεκαετία, όσο αναφορά την κατανάλωση τροφίμων, έχει παρακινήσει τη βιομηχανία τροφίμων να βρουν εναλλακτικές λύσεις έναντι των συνθετικών πρόσθετων ουσιών με σκοπό να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις των καταναλωτών και να εξασφαλίσουν την ποιότητα, τη γεύση και το άρωμα των τροφίμων (Motarjemi et al., 2014). Χάρη στην εξέλιξη της τεχνολογίας τροφίμων, υπάρχει αυτή τη στιγμή ένα μεγάλο φάσμα πρόσθετων ουσιών, πάνω από 2500 ουσίες διαφορετικού τύπου που χρησιμοποιούνται στα τρόφιμα ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητές αλλαγές (Branen et al., 2001).

Αντιμικροβιακοί και αντιοξειδωτικοί παράγοντες αποτελούν τα πιο συνηθισμένα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται με σκοπό τη συντήρηση των τροφίμων για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (Carocho et al., 2014).

Παρόλο τη συνεχή και αυξανόμενη ζήτηση ελέγχου και νομοθετικών πλαισίων που έχουν καθιερωθεί, μερικές μελέτες συνεχίζουν τον έλεγχο της τοξικότητας των συνθετικών πρόσθετων ως προς την υγεία του ανθρώπου αλλά και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους που μπορούν να αυξήσουν τη τοξικότητα (Viator et al., 2015). Όλα τα πρόσθετα τροφίμων υφίστανται συνεχή αξιολόγηση με σκοπό την ελαχιστοποίηση οποιασδήποτε ανεπιθύμητης ενέργειας στην υγεία.

Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, φυσικά εκχυλίσματα παρουσιάζονται ως εναλλακτική λύση παρέχοντας αξία στα τελικά προϊόντα λόγω των δραστικών ικανοτήτων τους (Caleja et al., 2016a). Φυσικά συντηρητικά βρίσκονται στη πλειοψηφία των φυτών, σε μύκητες, μικροοργανισμούς αλλά ακόμη και σε ζωικούς ιστούς (Carocho et al., 2015a). Οι ενώσεις αυτού του τύπου έχουν κεντρίσει το ενδιαφέρον της βιομηχανίας τροφίμων για την άμεση εφαρμογή τους ή σε συνεργασία με άλλα φυσικά ή χημικά πρόσθετα. Η πιο σημαντική δράση τους είναι η αντιοξειδωτική και η αντιμικροβιακή τους ιδιότητα (Carocho et al., 2014). Εκτός από τα παραπάνω που αναφέρθηκαν, τα φυσικά συντηρητικά ελκύουν τους καταναλωτές που προσέχουν όλο και περισσότερο την υγεία του και στρέφονται τα τελευταία χρόνια σε πιο υγιεινά και λιγότερο επεξεργασμένα τρόφιμα (Caleja et al., 2016b).

Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει μεγάλη εφαρμογή η προσθήκη διαφόρων ουσιών στη βιομηχανία της αρτοποιίας, με σκοπό τη βελτίωση των ιδιοτήτων του ζυμαριού, την ποιότητα του φρέσκου ψωμιού και τη συντήρηση του για περισσότερο χρονικό διάστημα (Rosell et al., 2001). Η προσθήκη ρεβιθιού τροποποίησε τις ρεολογικές ιδιότητες της ζύμης αυξάνοντας το χρόνο ανάπτυξης της ζύμης και τη σταθερότητα της (Ahmed M. Saad et al., 2015). Ο βασιλικός βελτίωσε τη θρεπτική αξία του ψωμιού, αλλά και τη διάρκεια αποθήκευσης του, καθιστώντας το ψωμί ελκυστικό τόσο στη γεύση όσο και στη μαλακότητά του (R. Rezapour et al., 2016). Η αντικατάσταση ποσότητας αλευριού με αλεύρι που περιέχει συγκεκριμένη ποσότητα κάνναβης είχε ως τελικό προϊόν ψωμί με υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και πολυφαινόλες (Anna Mikulec et al., 2019). Επίσης, η προσθήκη σκόνης μανιταριού στο ψωμί εκτός από βελτίωση των ρεολογικών χαρακτηριστικών του ψωμιού, είχε ως

αποτέλεσμα ένα τελικό προϊόν ελκυστικό για τους καταναλωτές (Xikun Lu et al., 2018).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας στην παρασκευή και στις λειτουργικές ιδιότητες του ψωμιού.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Υλικά

Για την εκτέλεση του πειραματικού μέρους, όσο αναφορά την παρασκευή του ψωμιού χρησιμοποιήθηκαν τα εξής υλικά:

- 640 g αλεύρι εμπορίου (για όλες τις χρήσεις).
- 25 g αλάτι. Θαλασσινό ιωδιούχο αλάτι του εμπορίου
- 19,5 g ζάχαρη
- 7 g ξηρή
- 400 mL νερό
- τσουκνίδα αποξηραμένη.

Χρησιμοποιήθηκαν αλουμινένια σκεύη -περιέκτες τα οποία χρησιμοποιούνται στην αρτοποιία και στην ζαχαροπλαστική.

3.1.1 Συγκεντρώσεις αποξηραμένης τσουκνίδας.

Συνολικά παρασκευάστηκαν 8 ζύμες εκ των οποίων οι 7 με διαφορετική αναλογία σε σκόνη αποξηραμένης τσουκνίδας: 1%, 2%, 3%,4%, 10%, 20% και 30%. Το control δεν περιείχε καθόλου σκόνη αποξηραμένης τσουκνίδας. Η άλεση της αποξηραμένης τσουκνίδας έγινε στο εργαστήριο με blader. Τα φύλλα αποξηραμένης τσουκνίδας τοποθετήθηκαν σε blader για 2 min, ώστε να επιτευχθεί ο ίδιος βαθμός άλεσης για όλα τα φύλλα και να μετατραπεί σε σκόνη.

3.1.2 Παρασκευή ψωμιού

Συνολικά παρήχθησαν 16 ψωμιά. Όλα τα συστατικά για την παρασκευή των ζυμών τοποθετήθηκαν σε κάδο αρτοποιαστή, ο οποίος ρυθμίστηκε σε πρόγραμμα ζύμωσης χωρίς ψήσιμο. Το πρόγραμμα διαρκεί 1 ώρα και 25 λεπτά. Αφού ετοιμάστηκε η ζύμη, τοποθετήθηκε 500 g ζύμης στις αλουμινένιες φόρμες. Εν συνεχεία, η φόρμα τοποθετείται στον επωαστήρα στους 37° C για 40 min ώστε να επιτευχθεί το φούσκωμα της ζύμης. Στη συνέχεια, ψήθηκε στους 180° C για 40 min αμέσως μετά την έξοδό τους από τον επωαστήρα. Μετά το ψήσιμό τους, τα ψωμιά

αφαιρούνται από τα φορμάκια ώστε να αεριστούν σωστά, χωρίς να σχηματιστεί νερό από την επαφή τους με το σκεύος. Τέλος τυλίχθηκαν με ζελατίνη για να αποφευχθεί η αύξησης της υγρασίας και τοποθετήθηκαν σε δροσερό μέρος μέχρι να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις. Για κάθε διαφορετική συγκέντρωση σκόνης τσουκνίδας έγιναν δυο επαναλήψεις.

3.2 Μέθοδοι

3.2.1 Μέτρηση χρώματος

Το χρώμα της κόρας και της ψίχας των δειγμάτων ψωμιού με τσουκνίδα μετρήθηκε με τη βοήθεια του χρωματόμετρου < Miniscan XE Plus >, το οποίο αποδίδει τις τιμές των χρωματικών παραμέτρων L^* , a^* , b^* βάσει του συστήματος CIELab. Η μέτρηση έγινε σε κάθε δείγμα και πραγματοποιήθηκε τριπλή μέτρηση για το καθένα.

Η τιμή του χρώματος προκύπτει με βάση τη σχέση (1) ή (2). Το L^* (Lightness) εκφράζει τη φωτεινότητα του δείγματος και παίρνει τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό). Οι τιμές των a^* , b^* είναι οι ορθογώνιες συντεταγμένες του χρώματος πάνω στο επίπεδο διατομής του χρώματος, κάθετο στον άξονα άσπρου, μαύρου. Αν ένα δείγμα έχει μηδενική τιμή για τα a^* , b^* πρέπει να βρίσκεται πάνω στον άξονα μαύρου –άσπρου. Η θετική τιμή για το a^* υποδεικνύει κόκκινο χρώμα, ενώ η αρνητική τιμή πράσινο χρώμα. Η θετική τιμή για το b^* αποδεικνύει κίτρινο χρώμα, ενώ η αρνητική τιμή μπλε χρώμα (Papadakis E.S. and Yam L.K. 2000).



Εικόνα 10: χρωματόμετρο Miniscan XE Plus.

3.2.2 Δομή

Οι μετρήσεις σκληρότητας πραγματοποιήθηκαν με τη συσκευή αναλυτή δομής Computer Controlled Electronic Tester (TC1000). Η συσκευή έχει σχεδιαστεί και ρυθμίζεται να ελέγχεται από ηλεκτρονικό υπολογιστή και μετρά τη συμπίεση των δειγμάτων. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και η κάθε φέτα ήταν ύψους 1 cm. Η ταχύτητα καθόδου του εμβόλου ήταν 100 mm/s. Η διάμετρος του εμβόλου ήταν 2,8 cm και η μέγιστη παραμόρφωση 75%. Η σκληρότητα εκφράστηκε σε N. τα δείγματα μετρήθηκαν την ίδια μέρα αφού κόπηκαν όλα σε φέτες του 1 cm.

3.2.3 Όγκος

Κάθε ψωμί αφού ζυγίστηκε ξεχωριστά, μετρήθηκε ο όγκος υπολογίζοντας τις διαστάσεις του (ύψος, μήκος και πλάτος). Πραγματοποιήθηκαν τρεις συνολικά μετρήσεις για το κάθε ψωμί. Ο ειδικός όγκος υπολογίστηκε διαιρώντας τον όγκο του κάθε ψωμιού με το βάρος του. Το βάρος κάθε δείγματος μετρήθηκε σε ζυγό ακριβείας.

3.2.4 Πορώδες

Για τη μέτρηση του πορώδες χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα digital image analysis. Τα ψωμιά αφού κόπηκαν στη μέση, στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε φέτα διαστάσεων 1 cm με σκοπό τη μέτρηση του πορώδες. Αφού μετρήθηκαν οι διαστάσεις των πόρων μέσω του προγράμματος σε mm, υπολογίστηκε ο μέσος όρος για το κάθε δείγμα.

3.2.5 Σάκχαρα

Η μέτρηση των σακχάρων έγινε χρησιμοποιώντας το ψηφιακό διαθλασίμετρο MA871 mrc (εικόνα 11). Είναι ένα οπτικό όργανο που χρησιμοποιεί τη μέτρηση του δείκτη διάθλασης για τον προσδιορισμό της κλίμακας Brix % των σακχάρων. Για την μέτρηση του κάθε δείγματος προετοιμάστηκε διάλυμα απιονισμένου νερού 25 mL με 5 g ψίχας από το κάθε ψωμί. Ακολούθησε πολτοποίηση για μερικά λεπτά και στη συνέχεια μετρήθηκαν τα δείγματα. Συνολικά έγιναν τέσσερις μετρήσεις για το κάθε δείγμα.



Εικόνα 11: Διαθλασίμετρο για την μέτρηση των σακχάρων

4.2.6 Αντιοξειδωτικά

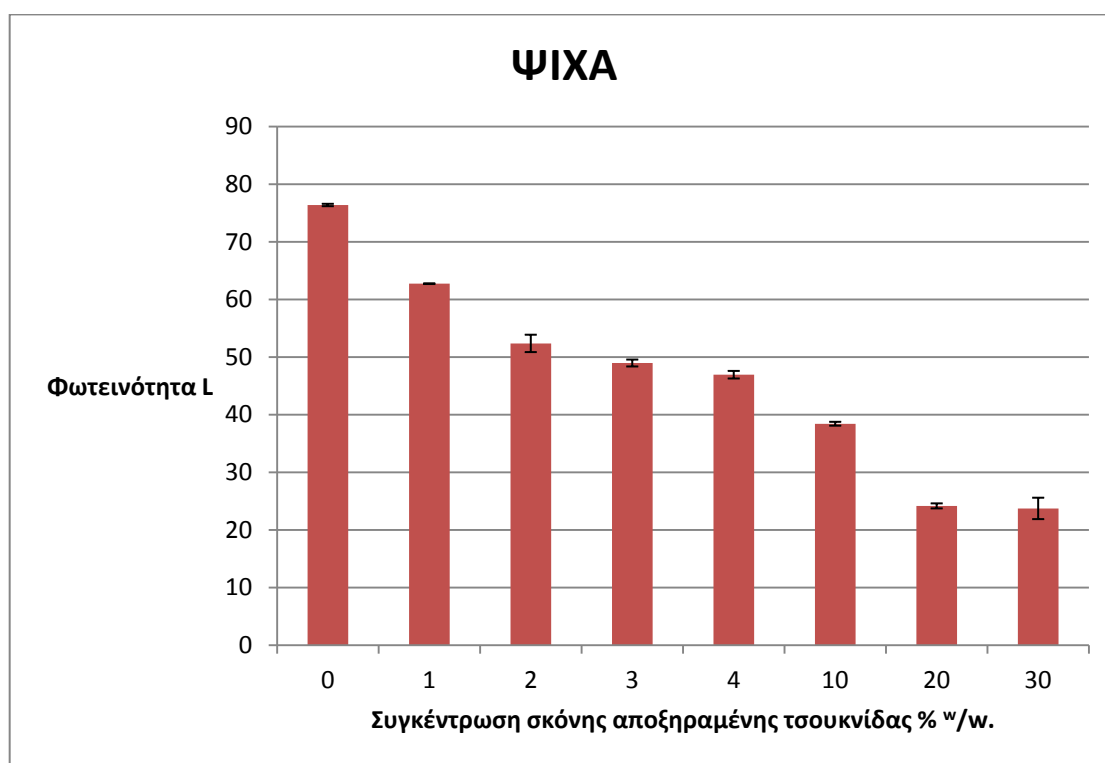
Η συνολική περιεκτικότητα σε φαινολικά εκτιμήθηκε χρησιμοποιώντας το αντιδραστήριο Folin- Ciocalteu ακολουθώντας την εξής διαδικασία σύμφωνα με τους Zhang et al., (2018). Τα δείγματα ετοιμάστηκαν με συγκέντρωση 0,05 g/mL χρησιμοποιώντας διάλυμα μεθανόλης / νερό (1:1 v/v) και η ανάδευση τους για μία ώρα. Στη συνέχεια ακολούθησε διήθηση με διηθητικό χαρτί. Έπειτα, προστέθηκαν 1,5 mL ανθρακικό νάτριο, 0,5 mL Folin και 0,1 mL από το εκχύλισμα που προετοιμάστηκε. Προστέθηκε τελικά αποσταγμένο νερό μέχρι ο τελικός όγκος να φτάσει τα 10 mL. Το μίγμα παρέμεινε σε θερμοκρασία δωματίου στο σκοτάδι για 2 ώρες και ακολούθησε η απορρόφησή του στα 750 nm. Ως τυφλό χρησιμοποιήθηκε νερό.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Αποτελέσματα χρώματος

4.1.1 Αποτελέσματα χρώματος ψίχας.

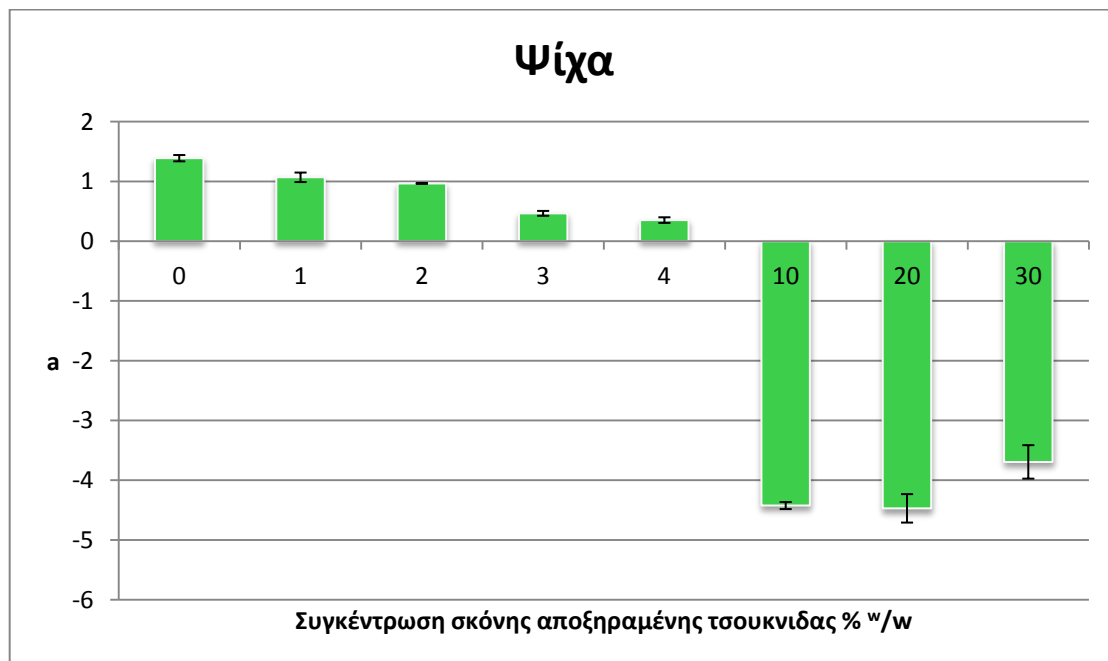
Τα αποτελέσματα του χρώματος της ψίχας για τα ψωμιά με διαφορετικές συγκεντρώσεις σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας παρατίθενται στο διάγραμμα 1. Η τιμή L αναφέρεται στη φωτεινότητα του δείγματος, η τιμή a στην ερυθρότητα (για θετικές τιμές) και στο πράσινο χρώμα (για αρνητικές τιμές) και η τιμή b στο κίτρινο χρώμα (για θετικές τιμές) και στο μπλε χρώμα (αρνητικές τιμές).



Διάγραμμα 1: Αποτελέσματα μέτρησης του χρώματος της ψίχας σε ψωμιά με διαφορετικές συγκεντρώσεις σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας. Φωτεινότητα L.

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων υπολογίστηκε ο συντελεστής σημαντικότητας p-value. Η σύγκριση με το control (δείγμα 0% w/w) έδειξε ότι οι τιμές του χρώματος διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ($p < 0,05$) μετά την προσθήκη σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας με αποτέλεσμα η προσθήκη της να επηρεάζει το

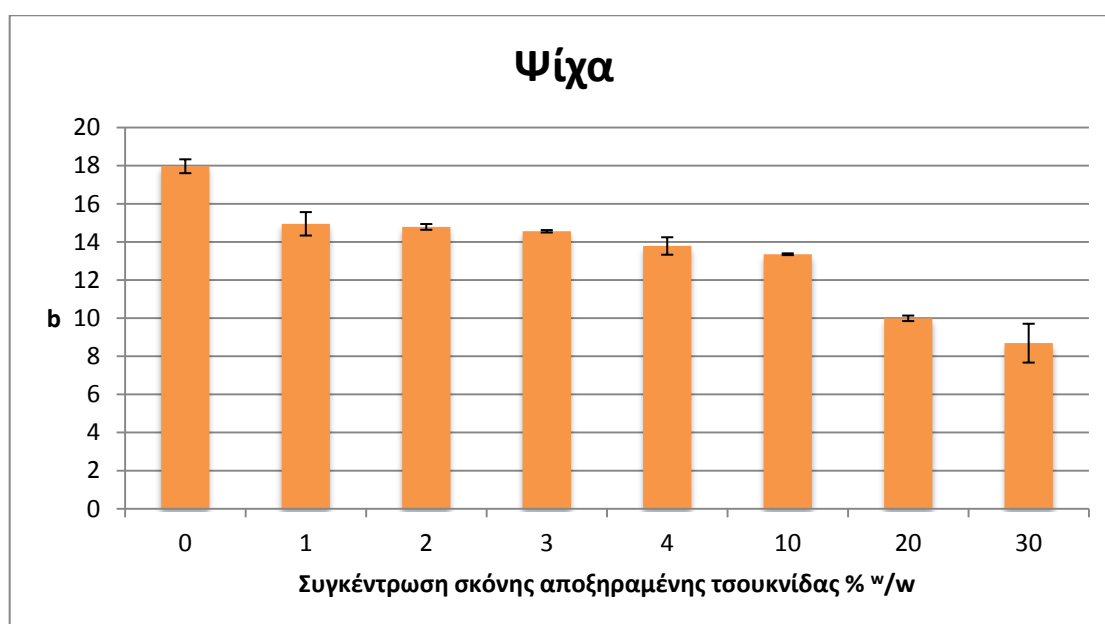
χρώμα ακόμη και σε μικρή συγκέντρωση. Το δείγμα 3%^{w/w} δεν παρουσίασε σημαντική στατιστική διαφορά με τα δείγματα 2%^{w/w} και 4%^{w/w} ($p>0,05$). Το ίδιο ισχύει και για τα δείγματα 20%^{w/w} και 30%^{w/w} τα οποία δεν παρουσίασαν και αυτά σημαντική διαφορά. Οι αλλαγές στο χρώμα είναι αναμενόμενες καθώς το χρώμα της ψίχας μεταβάλλεται με την προσθήκη σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας λόγω του πράσινου χρώματος της χλωροφύλλης. Επίσης, κατά την αύξηση της θερμοκρασίας η χλωροφύλλη διασπάται, απελευθερώνεται το μαγνήσιο με αποτέλεσμα το σχηματισμό φαιοφυτινης και την εμφάνιση πιο σκούρου χρώματος (Wan 2007). Επομένως όσο αυξάνεται η συγκέντρωση της τσουκνίδας μειώνεται η φωτεινότητα, η τιμή L. Ένας παράγοντας που επηρεάζει το χρώμα της ψίχας είναι οι πόροι που σχηματίζονται και πιο συγκεκριμένα η σκιά που δημιουργούν οι πόροι (Knez, M et al, 1979). Τα δείγματα με 10%^{w/w}, 20%^{w/w} και 30%^{w/w} δεν είναι τόσο πορώδη καθώς η συγκέντρωση γλουτένης στο αλεύρι που χρησιμοποιείται είναι μικρότερη και οι φυσαλίδες αέρα δεν μπορούν να κρατηθούν στη ζύμη. Επομένως περισσότερη συγκέντρωση σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας, σημαίνει και μειωμένη γλουτένη στο αλεύρι, άρα και λιγότεροι πόροι και πιο σκούρο χρώμα. Στη συνέχεια παρατίθενται οι τιμές χρώματος a και b για τη ψίχα.



Διάγραμμα 2: Αποτελέσματα μέτρησης του χρώματος σε ψωμιά με διαφορετικές συγκεντρώσεις σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας. Τιμή a.

Στο διάγραμμα 2 παρατηρούνται οι τιμές χρώματος a. Υπολογίστηκε η τιμή p για τη σύγκριση όλων των δειγμάτων και έδειξε σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Το δείγμα 0%^{w/w} που αποτελεί το control διαφέρει σημαντικά με όλα τα δείγματα ($p < 0,05$) που σημαίνει ότι η προσθήκη και ελάχιστη συγκέντρωση σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας επηρέασε σημαντικά τη τιμή a του χρώματος. Το δείγμα 1%^{w/w} σε σύγκριση με το 2%^{w/w} δεν παρουσίασε σημαντική στατιστική διαφορά, όπως επίσης και μεταξύ των δειγμάτων 3%^{w/w} και 4%^{w/w} ($p > 0,05$). Επίσης, το γεγονός αυτό παρατηρείται και στις υψηλές συγκεντρώσεις σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας, καθώς από 10%^{w/w} και άνω, δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά μεταξύ των δειγμάτων.

Από το διάγραμμα 2 φαίνεται ότι μειώνεται η ερυθρότητα όσο αυξάνεται η προσθήκη σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας, δηλαδή το χρώμα τείνει προς το πράσινο. Οι αρνητικές τιμές που αφορούν το πράσινο χρώμα, παρατηρείται στα δείγματα 10%^{w/w}, 20%^{w/w} και 30%^{w/w} καθώς έχουμε μεγάλη συγκέντρωση σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας σε σχέση με τα άλλα δείγματα. Η απομάκρυνση του Mg της χλωροφύλλης οδήγησε στο σχηματισμό φαιοφυτίνης (καστανοπράσινο χρώμα). Επομένως διαφέρουν σημαντικά με όλα τα δείγματα ($p < 0,05$), ενώ μεταξύ τους δεν εμφανίζουν σημαντική διαφορά ($p > 0,05$).

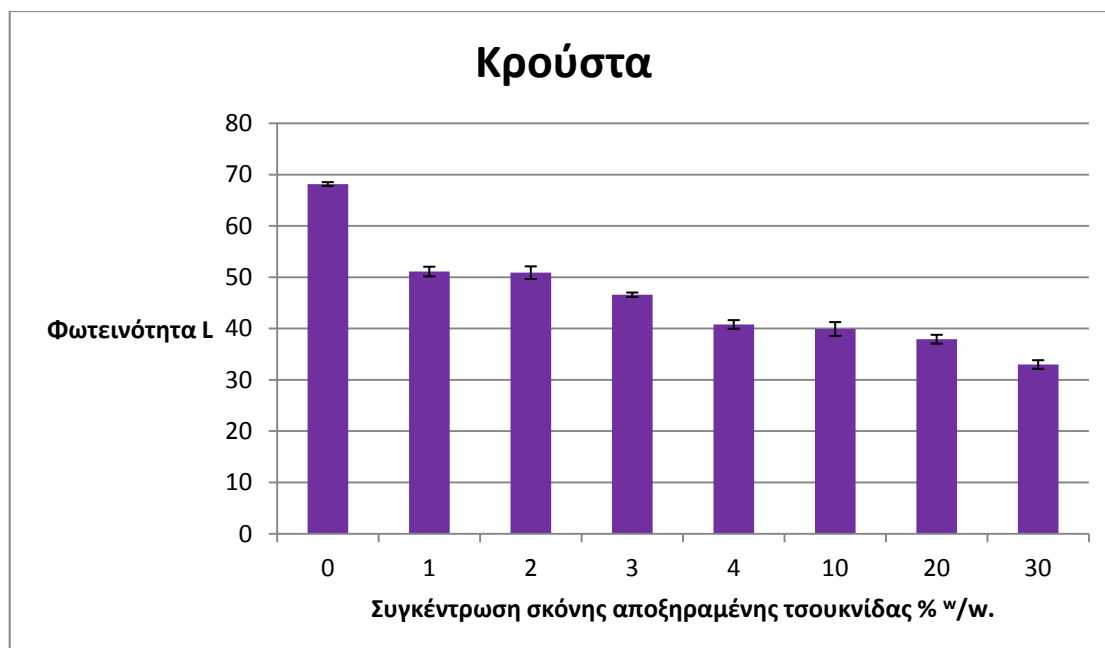


Διάγραμμα 3: Αποτελέσματα μέτρησης του χρώματος της ψίχας σε ψωμιά με διαφορετικές συγκεντρώσεις σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας. Τιμή b.

Στο διάγραμμα 3 παρατηρούμε τις τιμές b που αφορούν το κιτρινωπό χρώμα οι θετικές τιμές και το μπλε χρώμα οι αρνητικές τιμές. Όλα τα δείγματα διαφέρουν σε σύγκριση με control το οποίο δεν περιέχει καθόλου τσουκνίδα ($p < 0,05$). Ωστόσο, τα δείγματα με 1% ^{w/w}, 2% ^{w/w}, 3% ^{w/w}, 4% ^{w/w} και 10% ^{w/w} δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ($p > 0,05$). Το ίδιο ισχύει και για τα δείγματα 10% ^{w/w}, 20% ^{w/w} και 30% ^{w/w}.

4.1.2 Αποτελέσματα χρώματος της κρούστας

Το χρώμα της κρούστας του ψωμιού αποτελεί σημαντικό κριτήριο επιλογής για τους καταναλωτές (McWatters et al., 2004; Hathorn et al., 2007). Οι καταναλωτές αντιλαμβάνονται τα ψωμιά ως μαύρο ή άσπρο και ανάλογα έχουν τις προτιμήσεις τους. Για παράδειγμα, οι Hathorn et al., (2007) παρατήρησαν ότι οι καταναλωτές περίμεναν το ψωμί σικάλεως να έχει σκούρο χρώμα και θα απέρριπταν ένα ψωμί σικάλης με ανοιχτό χρώμα. Οι τιμές L του χρώματος που αφορούν την κρούστα του ψωμιού παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η προσθήκη τσουκνίδας, μειώνεται η φωτεινότητα της κρούστας (διάγραμμα 4).



Διάγραμμα 4 : Αποτελέσματα μέτρησης του χρώματος της κρούστας σε ψωμιά με διαφορετικές συγκεντρώσεις σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας. Τιμές φωτεινότητας L.

Σύγκριση μεταξύ όλων των δειγμάτων με το δείγμα 0% ^{w/w} που δεν περιέχει καθόλου σκόνη αποξηραμένης τσουκνίδας έδειξε σημαντική στατιστική διαφορά σε όλα τα δείγματα ($p < 0,05$). Το δείγμα 1% ^{w/w} δε διαφέρει σημαντικά με το δείγμα 2% ^{w/w}. Επίσης η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι το δείγμα με προσθήκη σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας 4% ^{w/w} δε διαφέρει σημαντικά με τα δείγματα 10% και 20% ^{w/w} ($p > 0,05$). Το ίδιο ισχύει και για τα δείγματα 10% ^{w/w} και 20% ^{w/w}.

Σύμφωνα με τους Purlis και Salvadori (2009) οι πιο λείες επιφάνειες ανακλούν πιο εύκολα το φως και αυξάνουν τη φωτεινότητα, δηλαδή τη τιμή L σε σύγκριση με τραχείες επιφάνειες όπως συμβαίνει στα ψωμιά με συγκεντρώσεις 20% ^{w/w} και 30% ^{w/w} τα οποία εμφανίζουν τις πιο χαμηλές τιμές φωτεινότητας. Η σκουρόχρωμη εμφάνιση της κρούστας των ψωμιών με υψηλότερη συγκέντρωση σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας σχετίζεται με τον μεγαλύτερο αριθμό των αντιδράσεων Maillard που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια του ψησίματος λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη που περιέχει η τσουκνίδα. Σύμφωνα με τους Bhaskar Mani Adhikari et al., (2015), η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη σε αλεσμένο σιτάρι, κριθάρι και τσουκνίδα είναι 10,6%, 11,8% και 33,8% αντίστοιχα. Επομένως, ένα υψηλό ποσοστό πρωτεΐνης έχει ως αποτέλεσμα και υψηλότερη συγκέντρωση αμινοξέων. Επιπρόσθετα η τσουκνίδα εμφανίζει και ένα πιο καλύτερο

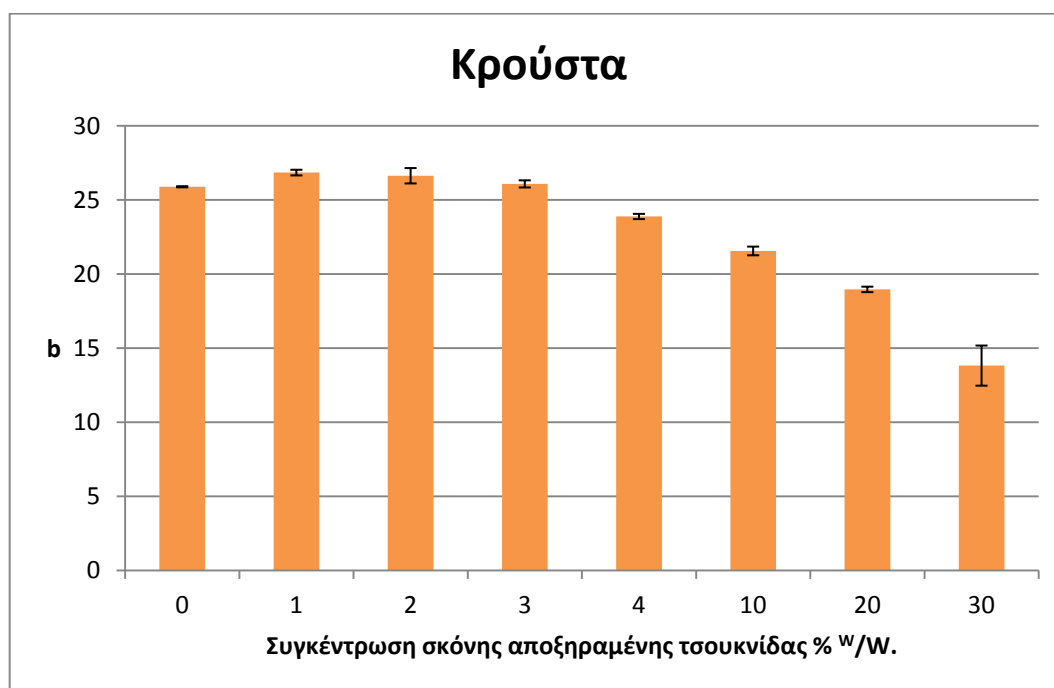
προφίλ αμινοξέων σε σύγκριση με άλλα φυτά του είδους (Rutto et al., 2013). Οι χαμηλότερες τιμές L που παρατηρούνται στην κρούστα στα ψωμιά 20% ^{w/w} και 30% ^{w/w} είναι αναμενόμενες λόγω της καραμελοποίησης και του μαυρίσματος από τις αντιδράσεις Maillard που επηρεάζονται από την κατανομή του νερού και από την από την αντίδραση των σακχάρων με τα αμινοξέα (Kent & Evers, 1994).



Διάγραμμα 5 : Αποτελέσματα μέτρησης του χρώματος της κρούστας σε ψωμιά με διαφορετικές συγκεντρώσεις σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας. Τιμές a.

Στο διάγραμμα 5 παρατηρούνται τιμές a για την κρούστα των ψωμιών. Όλα τα δείγματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας διαφέρουν σημαντικά με το 0% ^{w/w} ($p < 0,05$). Μεταξύ των συγκεντρώσεων 2% ^{w/w}, 3% ^{w/w} και 4% ^{w/w} δεν παρουσιάστηκε σημαντική στατιστική διαφορά. Τα δείγματα 20% ^{w/w} και 30% ^{w/w} εμφανίζουν τις πιο χαμηλές τιμές, 2,31 και -0,96 αντίστοιχα καθώς περιέχουν μεγαλύτερη συγκέντρωση σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας από τα υπόλοιπα δείγματα. Παρακάτω στο διάγραμμα 6 διακρίνονται οι τιμές για τη τιμή b του χρώματος.

Η σύγκριση των δειγμάτων 1% ^{w/w}, 2% ^{w/w} και 3% ^{w/w} με το 0% ^{w/w} (control) δεν έδειξε σημαντική διαφορά ($p>0,05$), όπως και μεταξύ τους. Επομένως η προσθήκη μικρής συγκέντρωσης σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας δεν επηρέασε σημαντικά τη τιμή *b* που εκφράζει το κίτρινο χρώμα. Ωστόσο, το control διαφέρει στατιστικά σημαντικά με τα υπόλοιπα δείγματα 4%, 10%, 20% και 30% ^{w/w} ($p<0,05$), δηλαδή όσο αυξάνεται η συγκέντρωση σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας, μειώνεται η τιμή *b* του χρώματος. Σύμφωνα με αναφορές, η τιμή *L* αποτελεί την πιο αξιόπιστη παράμετρο για να περιγράψει το χρώμα στις περιοχές της κρούστας και της ψίχας (Shittu et al., 2007; Purlis and Salvadori, 2007; Ibanoglu, 2002).



Διάγραμμα 6 : Αποτελέσματα μέτρησης του χρώματος της κρούστας σε ψωμιά με διαφορετικές συγκεντρώσεις σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας. Τιμές *b*.

4.2 Αποτελέσματα όγκου των δειγμάτων.

Ο όγκος του ψωμιού θεωρείται η πιο σημαντική παράμετρος για την αξιολόγηση της ποιότητας του ψωμιού (Kasprzak and Rzedzicki, 2010). Ο υψηλός όγκος ψωμιού σχετίζεται με πιο μαλακιά υφή και υψηλό πορώδες ενώ η μεγάλη πυκνότητα του ψωμιού σχετίζεται με πιο συμπαγή και σκληρή υφή (Ram Yamsaengsung et al., 2010).

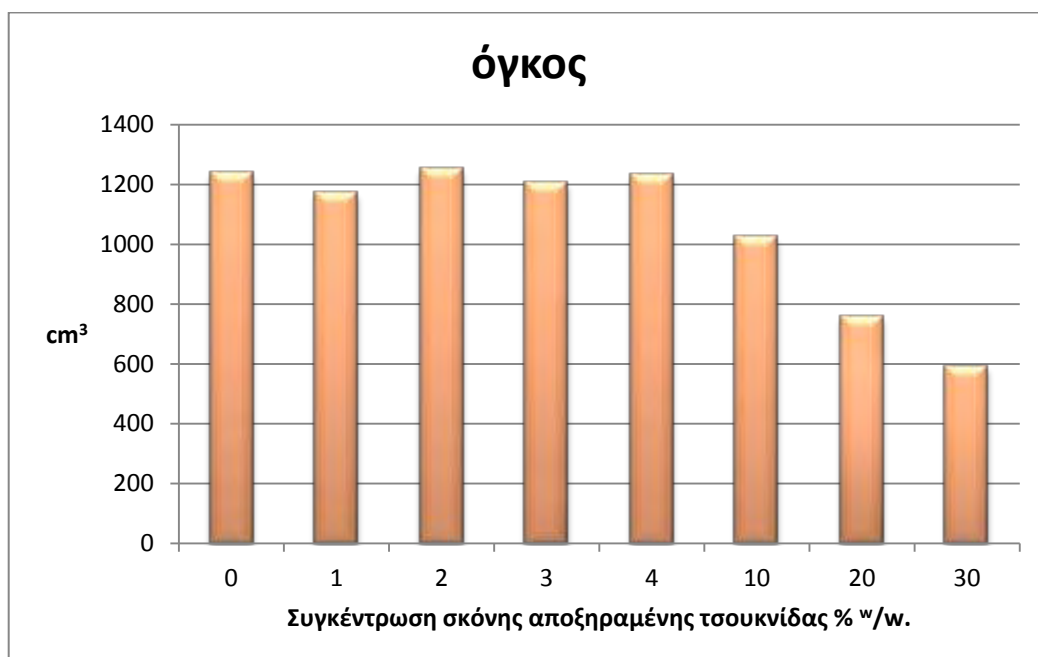
Τα αποτελέσματα του όγκου φαίνονται στο διάγραμμα 7. Στα δείγματα με συγκέντρωση τσουκνίδας 1%^{W/w}, 2%^{W/w}, 3%^{W/w} και 4%^{W/w} δεν παρατηρείται διαφορά στον όγκο. Στη σύγκριση των δειγμάτων τόσο μεταξύ τους όσο και με το control δεν έδειξε κάποια σημαντική στατιστική διαφορά ($p > 0,05$). Ωστόσο, στα δείγματα με συγκέντρωση αποξηραμένης τσουκνίδας 10%^{W/w}, 20%^{W/w} και 30%^{W/w} παρατηρείται η εμφανής μείωση του όγκου. Η προσθήκη μεγαλύτερης συγκέντρωσης τσουκνίδας επηρέασε σημαντικά τον όγκο ($p < 0,05$). Η μείωση αυτή οφείλεται στην αλλαγή που υφίσταται το ψωμί σε γλουτένη μετά από αντικατάσταση του αλευριού με τσουκνίδα, καθώς δεν έχει τόσο υψηλό περιεχόμενο σε κυτταρίνη, η οποία μειώνει την ικανότητα της συγκράτησης αέρα κατά τη ζύμωση (Gavurnikova et al., 2011; Sullivan, O'Flaherty, Brunton, Arendt, & Gallagher, 2011). Τα υψηλά ποσοστά κυτταρίνης που περιέχει η τσουκνίδα σε σύγκριση με το αλεύρι, συναγωνίζονται για την απορρόφηση νερού κατά τη διάρκεια παρασκευής του ψωμιού με αποτέλεσμα να παραμένει λιγότερο νερό για την ανάπτυξη του δικτύου αμύλου - γλουτένης και έτσι να μην αναπτύσσεται σωστά (Kaack, Pedersen, & Laerke, 2006).

Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν και οι Miculec et al., (2019), όπου η αντικατάσταση μέρους του αλευριού με κάνναβη είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου. Επίσης οι R.Rezapour et al.,(2016) παρατήρησαν ότι η προσθήκη σκόνης βασιλικού μείωσε σημαντικά τον όγκο του ψωμιού όσο αυξανόταν η συγκέντρωση του βασιλικού.

Ακόμη, σημαντικός παράγοντας στον όγκο του ψωμιού είναι και η περιεκτικότητα σε λιπίδια. Πιο συγκεκριμένα, είναι πιθανό να αναπτύσσονται μονοστρώματα λιπιδίων ενδιάμεσα των κυττάρων αέρα και σαν αποτέλεσμα

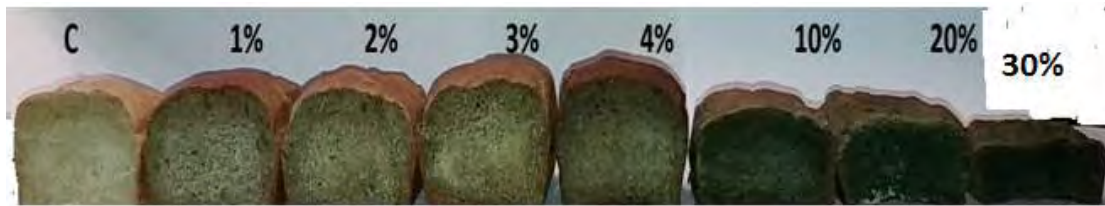
μειώνεται η ικανότητα της ζύμης να συγκρατεί αέρα (Maktouf et al.,2016). Η προσθήκη σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας διατάραξε την αφρώδη δομή της ζύμης και μείωσε την ικανότητά της να συγκρατεί αέρα κατά τη διάρκεια της ζύμωσης με αποτέλεσμα να οδηγεί σε μείωση του όγκου (Mosharraf et al., 2009; Polaki et al., 2010; Majzoobi et al., 2012).

Επίσης το υψηλό ποσοστό σε τανίνες που περιέχει η τσουκνίδα και αποτελούν σημαντικά αντιοξειδωτικά επηρεάζει τη δραστηριότητα της μαγιάς και μειώνει την παραγωγή CO₂ (Mildner- Szkudlarz et al., 2011).



Διάγραμμα 7: Όγκος για τα ψωμιά με συγκεντρώσεις σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας 1%, 2%, 3%, 4%, 10%, 20% και 30% w/w.

Στη παρακάτω εικόνα (12) διακρίνονται η εμφανής διαφορά στον όγκο που παρουσιάζουν τα δείγματα.



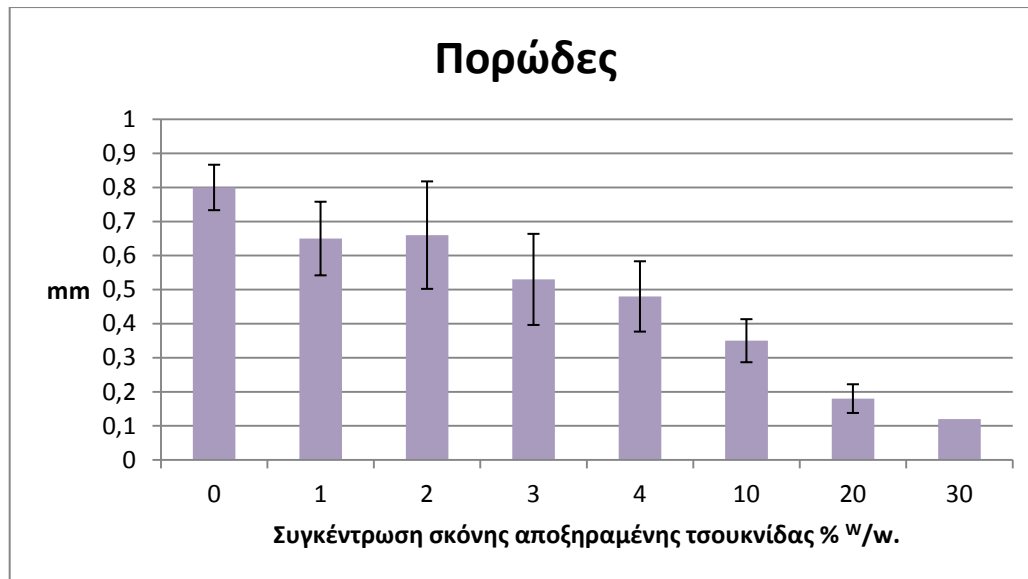
Εικόνα 12: απεικόνιση του όγκου των δειγμάτων με διαφορετικές συγκεντρώσεις σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας.

Επιπρόσθετα, η συγκέντρωση σε φαινολικές ενώσεις στη τσουκνίδα είναι υψηλή. Η προσθήκη τους στο ψωμί προκαλεί την αλληλεπίδρασή τους με τις ομάδες θειόλης της γλουτένης και εξασθενούν το δίκτυο γλουτένης, επηρεάζοντας έτσι τον όγκο του ψωμιού (Xu et al., 2019). Οι Han και Koh (2011) παρατήρησαν ότι η προσθήκη φαινολικών ενώσεων στο ψωμί όπως το καφεϊκό οξύ, το χλωρογενικό οξύ και το γαλλικό οξύ, μείωσε σημαντικά τον όγκο του ψωμιού.

4.3 Αποτελέσματα για το πορώδες των δειγμάτων.

Ένα κρίσιμο σημείο στην παρασκευή ψωμιού είναι η δημιουργία φυσαλίδων αέρα στη ψίχα του ψωμιού. Διάφορα είδη ψωμιού χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα χαρακτηριστική δομή. Αυτό επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση φυσαλίδων αέρα στη ζύμη κατά τη διάρκεια της ζύμωσης και την μετατροπή τους σε κύτταρα αέρα στη ψίχα κατά τη διαδικασία του ψησίματος (E.Chiotellis and G.M.Campebell 2003).

Στο διάγραμμα 8 φαίνεται το πορώδες σε ψωμιά με διαφορετικές συγκεντρώσεις. Τα στατιστικά αποτελέσματα έδειξαν ότι όλα τα ψωμιά με τσουκνίδα διαφέρουν σε σύγκριση με το control ($p < 0,05$).

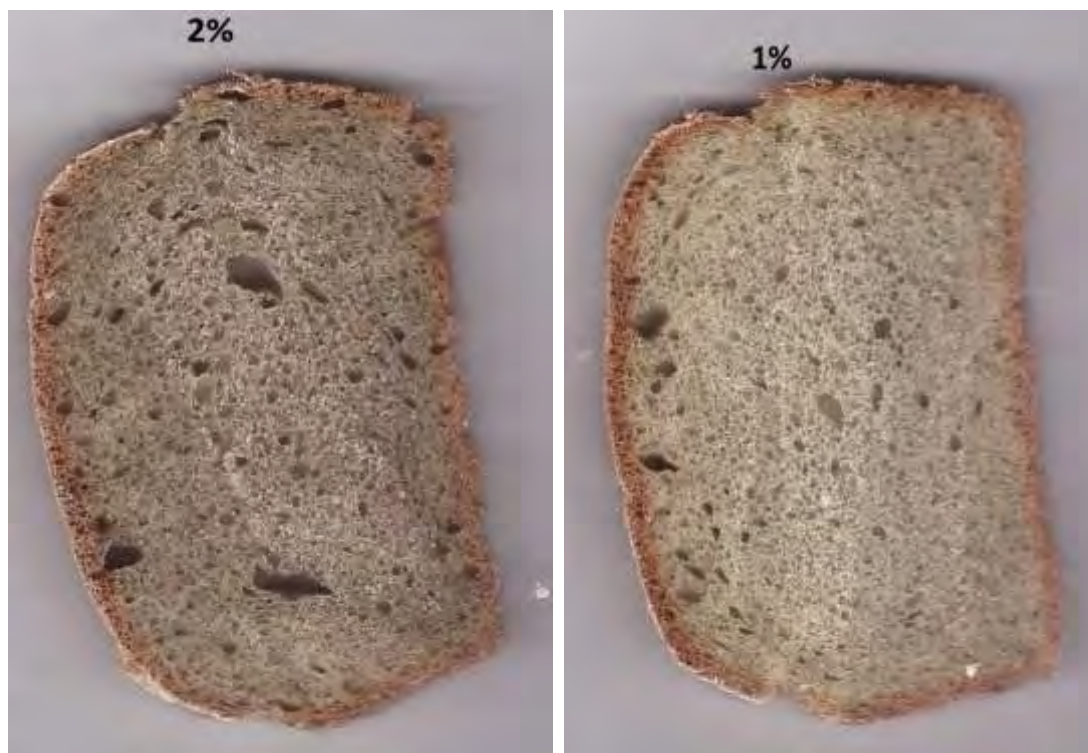


Διάγραμμα 8: Απεικόνιση του πορώδες για τα ψωμιά με διαφορετικές συγκεντρώσεις σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας.

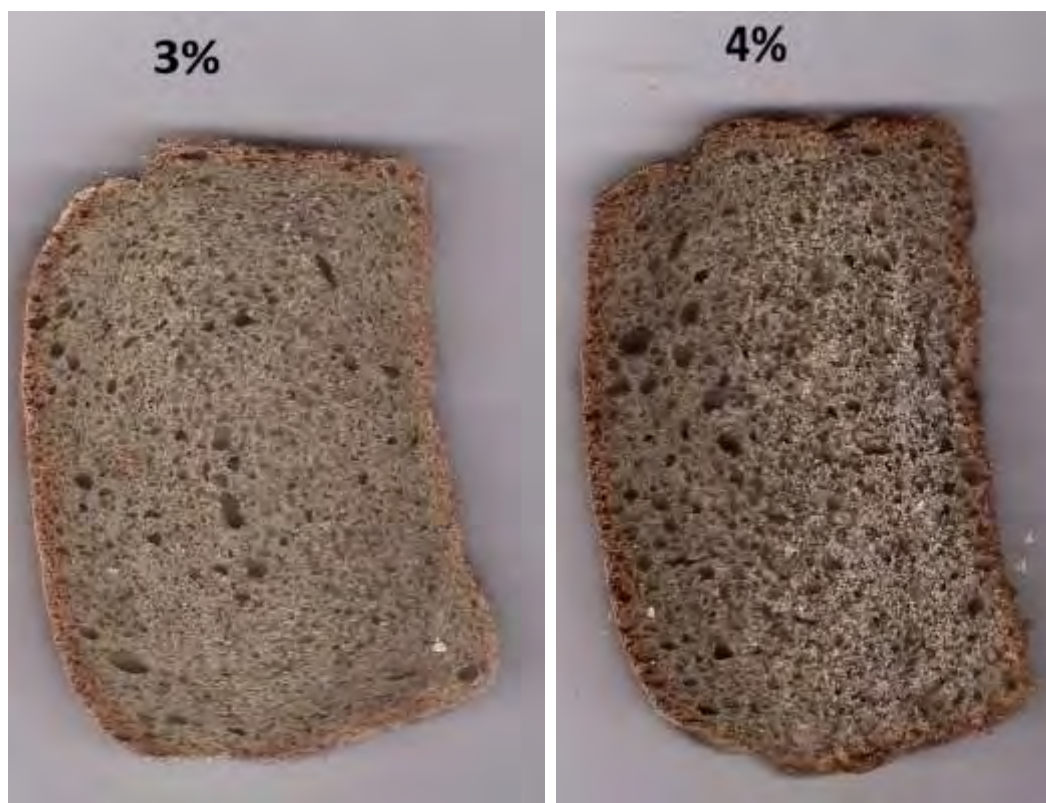
Στα δείγματα 1%^{W/w} και 2%^{W/w} και 3%^{W/w} δεν παρατηρήθηκε σημαντική στατιστική διαφορά στο πορώδες ($p > 0,05$). Η προσθήκη της αποξηραμένης τσουκνίδας σε αυτά τα δείγματα μείωσε το πορώδες σε σύγκριση με το control, αλλά μεταξύ των δειγμάτων δεν υπάρχει σημαντική διαφορά. Στη συνέχεια του διαγράμματος παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η συγκέντρωση τσουκνίδας (συγκεκριμένα στα δείγματα 4%^{W/w}, 10%^{W/w}, 20%^{W/w} και 30%^{W/w}) μειώνεται ο αριθμός των φυσαλίδων που παρατηρούνται στις φέτες. Η μεγαλύτερη μείωση του πορώδες παρατηρείται στα δείγματα 20%^{W/w} και 30%^{W/w} όπου οι πόροι δεν έχουν σχηματιστεί σχεδόν καθόλου (εικόνα 17). Οι παρακάτω εικόνες δείχνουν το πορώδες της φέτας από κάθε ψωμί με διαφορετική συγκέντρωση σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας



Εικόνα13 : απεικόνιση πορώδες σε φέτα 1 cm. Δείγμα control.



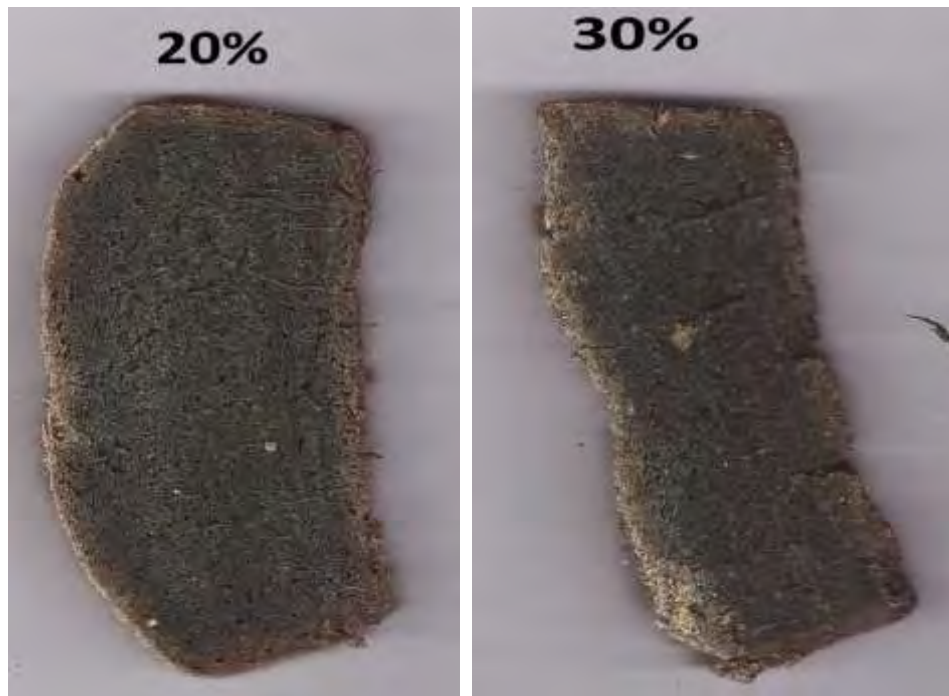
Εικόνα14 : φέτα 1 cm, με συγκεντρώσεις τσουκνίδας 1%^{w/w} και 2%^{w/w}.



Εικόνα 15: πορώδες φέτας 1 cm με συγκεντρώσεις σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας 3%^{w/w} και 4%^{w/w}.



Εικόνα 16 : πορώδες φέτας 1 cm με συγκέντρωση σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας 10%^{w/w}.



Εικόνα 17: πορώδες φέτας 1 cm με συγκέντρωσεις σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας 20%^{w/w} και 30%^{w/w}.

Η ίδια τάση με τη μείωση του όγκου παρατηρείται και στη παρουσία των φυσαλίδων. Όσο αυξάνεται η προσθήκη τσουκνίδας, μειώνεται και ο όγκος. Υπάρχει μια αλληλεπίδραση ανάμεσα στη διόγκωση των κυττάρων και στον όγκο του ψωμιού. Η μείωση της διόγκωσης των κυττάρων αέρα λόγω της πίεσης του CO₂ οδηγεί σε πιο συμπαγή δομή με αποτέλεσμα να έχουμε και μείωση στον όγκο του ψωμιού (Totosauset al., 2013).

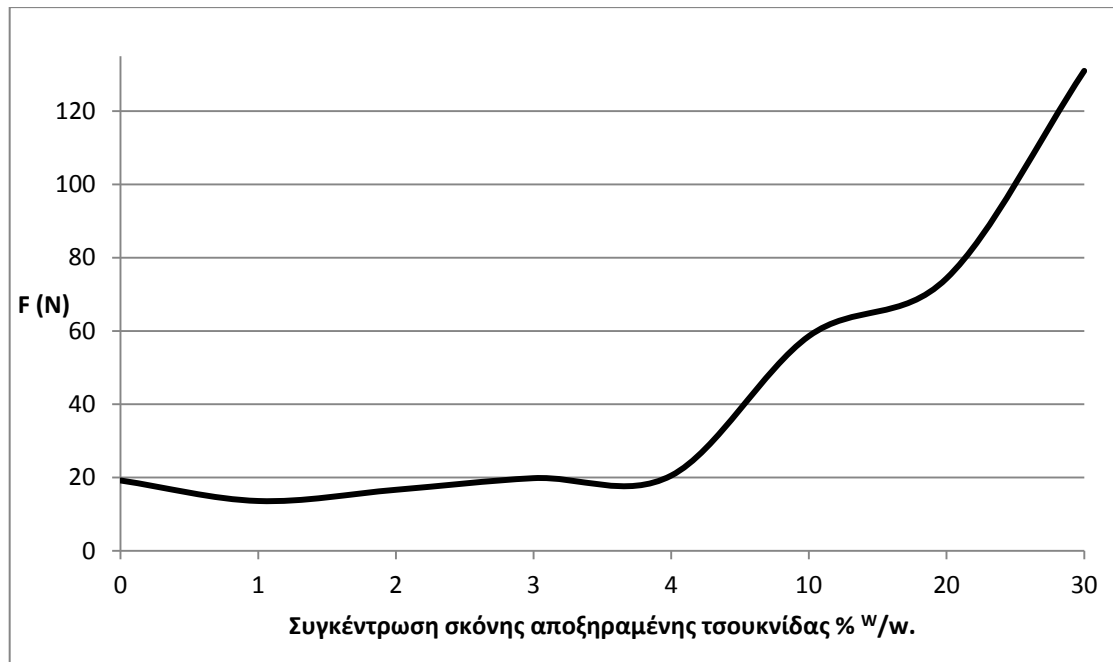
Το ψωμί ως μαλακό στερεό περιλαμβάνει δύο φάσεις: μια υγρή φάση (αέρας) και μια στερεή φάση (κυτταρικό τοίχωμα). Στη ψίχα του ψωμιού είναι εμφανές ότι η στερεή φάση είναι απόλυτα συνδεδεμένη με τον όγκο και η φύση της σχέσης τους καθορίζει τη δομή και τις μηχανικές ιδιότητες του ψωμιού (Scanlon and Zghal 2001). Η ρευστότητα στη δημιουργία του δικτύου γλουτένης που σχηματίζεται από το υψηλό ποσοστό πρωτεϊνών που περιέχει η τσουκνίδα οδηγεί σε μείωση της διόγκωσης των κυττάρων από την πίεση του αέρα κατά τη διάρκεια της ζύμωσης και του ψησίματος, δημιουργώντας πιο συμπαγή δομή ψίχας. Το φαινόμενο αυτό οδηγεί σε μειωμένο όγκο και βάρος (σχετίζεται με πιο σκληρή και λιγότερο συνεκτική ζύμη και πιο σκληρή υφή του ψωμιού). Τα μεγαλύτερα κύτταρα στο control, καθώς και στα

δείγματα 1%^W/w, 2%^W/w, 3%^W/w και 4%^W/w οφείλονται στην ελαστικότητα της γλουτένης που επιτρέπει τη διόγκωση των κυττάρων από τη πίεση του αέρα κατά τη διάρκεια της ζύμωσης και του ψησίματος, καθώς η ζύμη είναι πιο ελαστική.

Το περιεχόμενο της ζύμης σε κυτταρίνη αυξήθηκε με την προσθήκη της τσουκνίδας επομένως λιγότερο ποσοστό νερού είναι διαθέσιμο για τη βέλτιστη ανάπτυξη δομή της γλουτένης. Η ζύμη δεν μπορεί να παγιδεύσει τα μόρια αέρα τα οποία συνενώνονται για να σχηματίσουν κύτταρα μεγάλης διαμέτρου. Για αυτό στα ψωμιά 10%^W/w, 20%^W/w και 30%^W/w παρατηρείται η μείωση του πορώδους (εικόνα 16).

4.4 Αποτελέσματα δομής

Εκτός από την εμφάνιση, η υφή του ψωμιού θεωρείται πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό. Η ανάλυση της υφής αποτελεί εργαλείο μέτρησης της σκληρότητας του ψίχας και χρησιμοποιείται και σαν δείκτης για το μπαγιάτεμα του ψωμιού καθώς σχετίζεται αρνητικά με την ποιότητα του ψωμιού (Wang, Zhou, & Isabelle, 2007).



Διάγραμμα 10: Δύναμη Fmax σε διαφορετικές συγκεντρώσεις σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι τα δείγματα 1%^{w/w}, 2%^{w/w}, 3%^{w/w} και 4%^{w/w} δεν διαφέρουν σημαντικά σε σχέση με το control ($p > 0,05$), ενώ τα δείγματα 10%, 20% και 30%^{w/w} διαφέρουν σημαντικά ($p < 0,05$). Παρατηρείται ότι με την προσθήκη της σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας σε μικρή ποσότητα, δεν επηρεάζεται σημαντικά η δομή του ψωμιού. Στο διάγραμμα παρατηρείται η ευθεία γραμμή για τα δείγματα 1%^{w/w}, 2%^{w/w}, 3%^{w/w} και 4%^{w/w}, ενώ για τα υπόλοιπα δείγματα η γραμμή έχει ανοδική τάση. Η μεγαλύτερη αντικατάσταση αλευριού από σκόνη αποξηραμένης τσουκνίδας, 30%^{w/w}, όπως παρατηρείται στο διάγραμμα 10, οδηγεί στην παρασκευή ψωμιού με πιο σκληρή υφή.

Επίσης η αντικατάσταση μεγάλου μέρους του αλευριού με σκόνη τσουκνίδας (δείγματα 10%^{w/w}, 20%^{w/w} και 30%^{w/w}) έχει ως αποτέλεσμα να εμποδίζει το σχηματισμό του δικτύου γλουτένης και να μην μπορεί να σχηματιστεί η ελαστική ζύμη κατά τη ζύμωση. Η ανάπτυξη του δικτύου γλουτένης είναι σημαντική για τη σωστή δομή της ψίχας. Η πυκνότητα της τελικής δομής της ψίχας επηρεάζεται σημαντικά και από τα δυο είδη πολυμερών της γλουτένης τη γλοιαδίνη και τη γλουτενίνη και τη σωστή ανάπτυξη των λειτουργιών κατά τη διαδικασία της ζύμωσης και του ψησίματος του ψωμιού (Zghal et al., 1999).

Γενικά, η προσθήκη τσουκνίδας οδήγησε σε αλλαγές στις βιοχημικές ιδιότητες των πρωτεϊνών του ψωμιού. Οι κολλώδεις ιδιότητες της ζύμης επηρεάστηκαν από την αλληλεπίδραση ανάμεσα στα πρόσθετα συστατικά και στη γλουτένη, αλλά και στην αλληλεπίδρασή τους με το νερό. Προηγούμενες μελέτες έδειξαν για παράδειγμα ότι η ενσωμάτωση σκόνης από λούπινο με αλεύρι για τη δημιουργία ζύμης είχε ως αποτέλεσμα τη διάλυση της γλουτένης εξαιτίας της αντικατάστασης πρωτεϊνών της γλουτένης με φυτικές πρωτεΐνες οι οποίες συμπεριφέρονταν διαφορετικά από τη γλουτένη κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες (Paraskevoudoulou et al., 2010).

Ακόμη, οι φαινολικές ενώσεις της τσουκνίδας αλληλεπιδρούν με τις πρωτεΐνες της γλουτένης, τη γλιαδίνη και τη γλουτενίνη οι οποίες είναι υπεύθυνες για το ιξώδες και την ελαστικότητα της ζύμης αντίστοιχα (Sivam et al., 2010). Οι υπομονάδες της γλιαδίνης και της γλουτενίνης αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω δισουλφιδικών δεσμών και η αλλαγή στον αριθμό τους και στην κατανομή τους επηρεάζει την ελαστικότητα της γλουτένης (Shewry et al., 2002). Έρευνες έχουν δείξει ότι η γλουτένη αλληλεπιδρά με διάφορα φαινολικά οξέα όπως το καφεϊκό οξύ, το γαλλικό και το φερουλικό οξύ μέσω ομοιοπολικών δεσμών (Han & Koh, 2011a,b). Η προσθήκη των φαινολικών αλλάζει τη δευτεροταγή και τριτοταγή δομή των πρωτεϊνών της γλουτένης.

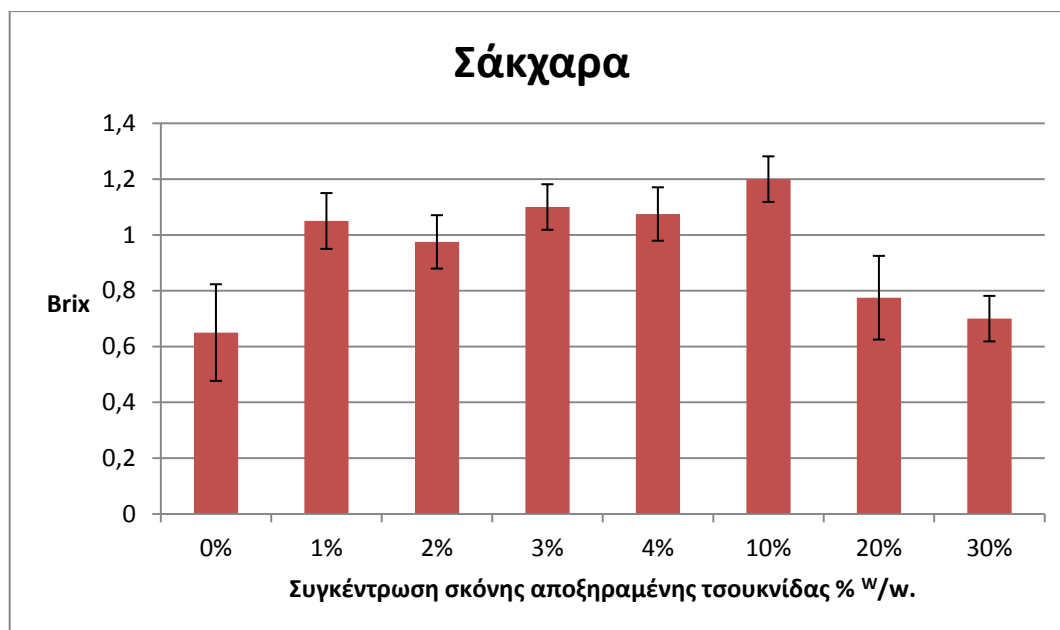
Επιπρόσθετα, οι φαινολικές ενώσεις που περιέχει η τσουκνίδα, ανταγωνίζονται με το άμυλο για νερό και σχηματίζουν μη ομοιοπολικούς δεσμούς αλλάζοντας έτσι το pH του συστήματος επιδρώντας με αυτό τον τρόπο στην απορρόφηση του νερού από τους κόκκους αμύλου και στη ζελατινοποίηση τους (Zhu et al., 2016). Έτσι, οι φαινολικές ενώσεις αντιδρούν με τις ελεύθερες ρίζες της γλουτένης κατά τη διάρκεια της ανάμιξης επηρεάζοντας την εκτατότητα της ζύμης και την υφή της (Shewry et al., 2003).

4.5 Αποτελέσματα σακχάρων

Οι υδατάνθρακες αποτελούν τη πιο σημαντική πηγή ενέργειας για τους ανθρώπους, καθώς υπολογίζεται ότι περιλαμβάνει το 45-70 % της συνολικής ενέργειας που προσλαμβάνεται (Lafiandra, Riccardi, & Shewry, 2014). Αυτό επιτυγχάνεται από την καθημερινή κατανάλωση του ψωμιού. Το άμυλο που αποτελεί το σημαντικότερο συστατικό του αλευριού βρίσκεται σε ποσοστό 70-75% (Goesaert, H, et al., 2005).

Παρακάτω στο διάγραμμα 11 απεικονίζεται η συγκέντρωση σε σάκχαρα όλων των δειγμάτων ψωμιού με διαφορετικές συγκεντρώσεις σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας. Τη χαμηλότερη συγκέντρωση σακχάρων εμφανίζει το control. Στη συνέχεια παρατηρείται μια αύξηση στη τιμή των σακχάρων καθώς προστίθεται τσουκνίδα, με τη μέγιστη τιμή να παρατηρείται στη συγκέντρωση 10% ^W/w. Στα δείγματα με συγκέντρωση 20%^W/w και 30%^W/w η περιεκτικότητα σε σάκχαρα μειώνεται.

Στα δείγματα 1%^W/w, 2%^W/w, 3%^W/w και 4%^W/w δεν παρατηρούμε σημαντική μεταβολή στα ολικά σάκχαρα. Η προσθήκη αποξηραμένης τσουκνίδας μέχρι τη συγκέντρωση 4%^W/w αυξάνει τα ολικά σάκχαρα γιατί και η ίδια περιέχει μεγάλη περιεκτικότητα σε σάκχαρα 37% ^W/w (Adhikari et al., 2016). Για αυτό το λόγο παρατηρείται και αυξημένη συγκέντρωση στα ψωμιά αυτά σε σύγκριση με το control.



Διάγραμμα 11: τιμές Brix για τα σάκχαρα σε ψωμιά με διαφορετικές συγκεντρώσεις σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας

Καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας και φτάνοντας στη συγκέντρωση 10%^{W/w} όπου παρατηρείται η μέγιστη τιμή, αρχίζει να μειώνεται σύμφωνα με το διάγραμμα 11 η συγκέντρωση σε σάκχαρα. Στα δείγματα 20%^{W/w} και 30%^{W/w} ίσως να ευνοούνται οι συνθήκες δράσης των ενζύμων και να διασπώνται οι υδατάνθρακες σε ελεύθερους μονοσακχαρίτες και δισακχαρίτες. Η τσουκνίδα, περιέχει και αυτή ένζυμα που δρουν θετικά και διασπούν τους υδατάνθρακες. Μερικά από τα ένζυμα που περιέχει η τσουκνίδα σύμφωνα με έρευνες είναι η πολυφαινολοξειδάση, η ιμπερτάση και οι αναστολείς της α και β- γλυκοσιδάσης (C.A. Simoes-Pires et al.,2009).

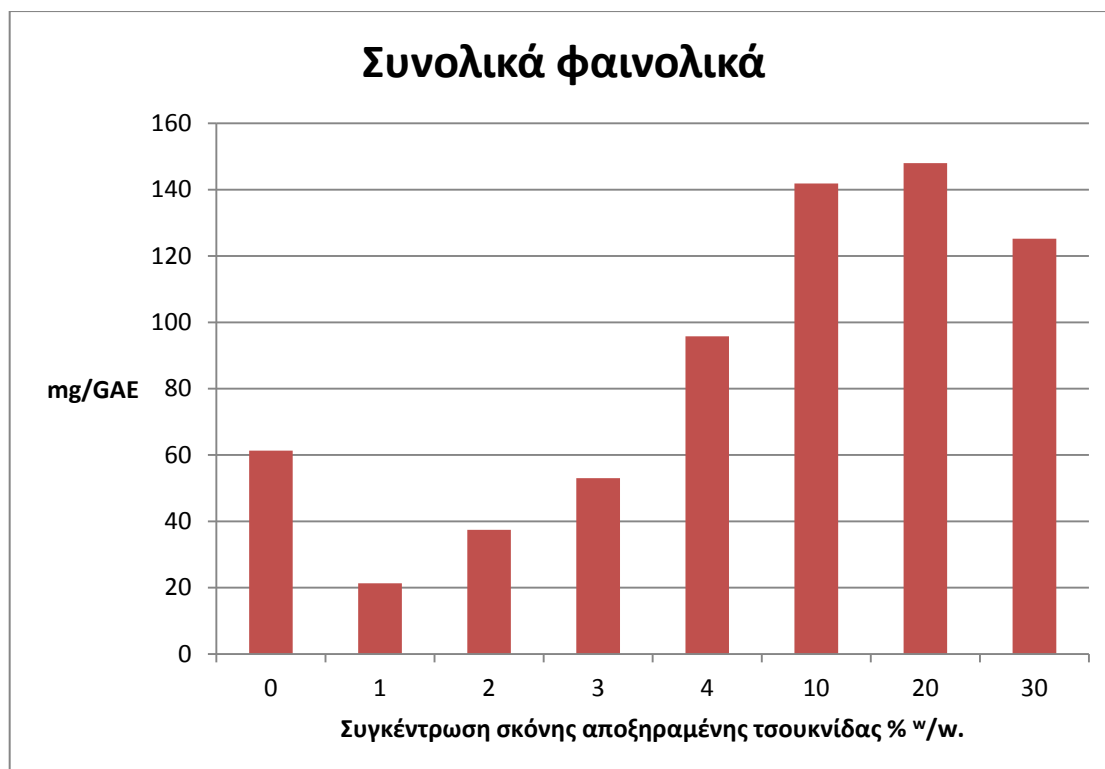
Ακόμη, η αυξανόμενη προσθήκη ιχνοστοιχείων κατά την αύξηση της συγκέντρωσης της σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας ίσως αν οδηγεί σε αλλαγές στη δομή των ενζύμων και συνεπώς στη δραστηρότητά τους. Η δραστηρότητα των ενζύμων αυξάνει με την αύξηση των ιόντων που περιέχει η τσουκνίδα μέχρι μια οριακή συγκέντρωση, όπως συμβαίνει στο διάγραμμα μέχρι το 10%^{W/w}. Πέραν της οριακής αυτής συγκέντρωσης, περίσσεια ιόντων μπορεί να έχει δράση απενεργοποιητική. Για αυτό παρατηρείται η μείωση στα σάκχαρα στα ψωμιά 20%^{W/w} και 30%^{W/w}.

4.6 Αποτελέσματα συνολικών φαινολικών.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχουν αρκετές έρευνες για τον εμπλουτισμό του ψωμιού με διάφορες φαινολικές ενώσεις όπως είναι τα φαινολικά οξέα (Han & Koh, 2011a,b; Koh & Ng, 2009; Labat, Morel, & Rouau, 2000; Nicks et al., 2013; Zhang et al., 2010), οι ταννίνες (Wang et al., 2015; Zhang et al., 2010), το εκχύλισμα πράσινου τσαγιού (Ananingsih & Zhou, 2012) και τα φύλλα κινόας (Peng et al., 2010; Świeca, Sęczyk, Gawlik-Dziki, & Dziki, 2014).

Οι φαινολικές ενώσεις εκτός από τα οφέλη που προσφέρουν στην υγεία, είναι ικανές να επάγουν και αλληλεπιδράσεις με τη ζύμη και διάφορα συστατικά του ψωμιού (γλουτένη, νερό, άμυλο) και σύμφωνα με έρευνες έχει βρεθεί ότι επηρεάζουν τις φυσικοχημικές και ρεολογικές ιδιότητες του ψωμιού.

Στο παρακάτω διάγραμμα (12), παρουσιάζονται τα συνολικά φαινολικά μετά την προσθήκη σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας.



Διάγραμμα 12: Συνολικά φαινολικά σε διαφορετικές συγκεντρώσεις σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας.

Το control το οποίο δεν περιέχει καθόλου σκόνη, βρέθηκε ότι διαφέρει στατιστικά σημαντικά με τα δείγματα 1%^{w/w}, 2%^{w/w}, 3%^{w/w} και 4%^{w/w}. ($p < 0,05$). Τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά από τα αναμενόμενα καθώς παρατηρήθηκε μια μείωση στη συγκέντρωση των φαινολικών για τα δείγματα 1%^{w/w}, 2%^{w/w} και 3%^{w/w} με αποτέλεσμα να εμφανίζουν μικρότερη συγκέντρωση από το 0% μετά την προσθήκη τσουκνίδας.

Οι Ozdal et al. (2013) δημοσίευσαν ότι τα φαινολικά και οι πρωτεΐνες δίνουν το έναυσμα για δυο τύπους αλληλεπιδράσεων, τους ομοιοπολικούς και μη ομοιοπολικούς δεσμούς. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις ίσως οδηγούν στην κατακρήμνιση των πρωτεϊνών με δυο τρόπους. Μερικά φαινολικά προσδένονται σε ένα μόριο πρωτεΐνης ή μια φαινολική ένωση μπορεί να προσδένεται σε διάφορες περιοχές της πρωτεΐνης ή στο μόριο της πρωτεΐνης. Η έρευνα των Rawel et al., (2005) έδειξε ότι οι μη ομοιοπολικοί δεσμοί των φαινολικών ενώσεων δεν παρουσιάζει επίδραση στη δευτεροταγή δομή των πρωτεϊνών αλλά επηρεάζει σημαντικά τη τριτοταγή τους δομή. Οι ομοιοπολικοί δεσμοί επηρεάζουν και τη δευτεροταγή και τη τριτοταγή δομή

(Kroll et al., 2003).

Η μείωση των συνολικών φαινολικών που παρατηρείται στα δείγματα 1% ^{w/w}, 2% ^{w/w} και 3% ^{w/w} ίσως προκαλείται από την παρεμπόδιση των δραστικών ομάδων των φαινολικών ενώσεων από συστατικά του ψωμιού. Αυτή η ιδέα υποστηρίζεται από τις μελέτες των Shahidi και Naczk (1995), Swieca, Gawlik-Dziki, Dziki, et al. (2013) και των Han και Koh (2011a, 2011b). Οι παραπάνω μελέτες έδειξαν ότι ο εμπλουτισμός του ψωμιού με ουσίες που είναι πλούσιες σε αντιοξειδωτικά μείωσε την αντιοξειδωτική ικανότητα λόγω των αλληλεπιδράσεων πρωτεϊνών με φαινολικών ενώσεων.

Άλλος παράγοντας αποτελεί η θερμότητα που υφίσταται το ψωμί κατά τη διαδικασία του ψησίματος. Η θερμότητα ίσως να επιταχύνει την καταστροφή των φαινολικών ενώσεων. Οι φαινολικές ενώσεις επίσης είναι ευαίσθητες στην έκθεση στο φως, στο οξυγόνο και στη θερμότητα που παρουσιάζονται κατά τη διαδικασία του ψησίματος (Han & Koh, 2011b). Επιπρόσθετα, τα παράγωγα των αντιδράσεων Maillard που σχηματίζονται επηρεάζουν την αντιοξειδωτική ικανότητα του ψωμιού (Gawlik-Dziki, Swieca, Sułkowski, et al., 2013; Han & Koh, 2011b; Sivam et al., 2010).

Η προσθήκη μεγαλύτερων συγκεντρώσεων σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας όπως στα δείγματα 10% ^{w/w}, 20% ^{w/w} και 30% ^{w/w} έδειξε σημαντική στατιστική διαφορά με το control ($p < 0,05$). Από την προσθήκη σκόνης τσουκνίδας 4% ^{w/w} και άνω παρουσιάζεται αύξηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας. Ο εμπλουτισμός του ψωμιού με υψηλές συγκεντρώσεις σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας οδήγησε σε αύξηση των συνολικών φαινολικών τα οποία με τη σειρά της οδηγούν σε σημαντικά οφέλη τον οργανισμό.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σε αυτή την ερευνητική εργασία μελετήθηκαν οι φυσικές ιδιότητες και η αντιοξειδωτική ικανότητα του ψωμιού μετά την προσθήκη διαφορετικών συγκεντρώσεων σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας. Χρησιμοποιήθηκαν οι συγκεντρώσεις 1% ^{w/w}, 2% ^{w/w}, 3% ^{w/w}, 4% ^{w/w}, 10% ^{w/w}, 20% ^{w/w} και 30% ^{w/w} και αναμίχθηκαν με τα υπόλοιπα συστατικά του ψωμιού ακολουθώντας την ίδια πειραματική διαδικασία. Τα συστατικά που περιέχει η τσουκνίδα συνέβαλλαν σε αλλαγές στα χαρακτηριστικά του ψωμιού και τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

- Τα ψωμιά με συγκέντρωση 1% ^{w/w}, 2% ^{w/w} και 3% ^{w/w} δεν παρουσίασαν σημαντικές αλλαγές ως προς τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ψωμιού σε σύγκριση με το control το οποίο δεν περιέχει καθόλου σκόνη αποξηραμένης τσουκνίδας. Όσο αναφορά το χρώμα της ψίχας η προσθήκη μικρής συγκέντρωσης σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας μείωσε ελάχιστα τη φωτεινότητα L λόγω της χλωροφύλλης της τσουκνίδας, χωρίς να επηρεαστεί σημαντικά σε σύγκριση με το control. Η φωτεινότητα της κρούστας των δειγμάτων επίσης μειώθηκε λίγο σε σχέση με το control. Ο όγκος και η δομή των δειγμάτων δεν σημείωσαν σημαντική διαφορά καθώς οι συγκεντρώσεις τσουκνίδας που προστέθηκαν είναι χαμηλές και δεν επηρέασαν το σχηματισμό του δικτύου γλουτένης. Τα επίπεδα σακχάρων αυξήθηκαν σε σύγκριση με το control καθώς η τσουκνίδα περιέχει υψηλό ποσοστό σε σάκχαρα, 37%. Όσο αναφορά τα αντιοξειδωτικά, παρατηρείται μείωση στη συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων, που σύμφωνα με τους Shahidi και Naczk (1995), Dziki, et al. (2013) και τους Han και Koh (2011a, 2011b), οφείλεται στην παρεμπόδιση των δραστικών ομάδων των φαινολικών ενώσεων από τα συστατικά του ψωμιού.
- Το ψωμί με συγκέντρωση 4% ^{w/w} παρουσίασε ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς η προσθήκη σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας σε αυτή τη συγκέντρωση οδήγησε σε ψωμί που πλησιάζει ποιοτικά εμπορικά είδη ψωμιού. Η φωτεινότητα L του χρώματος μειώθηκε σε σύγκριση με το control που δεν περιέχει καθόλου σκόνη αποξηραμένης τσουκνίδας. Η προσθήκη

συγκέντρωσης είναι τέτοια που δε διαφέρει σημαντικά από control και δεν εμφανίζει ψίχα με πράσινο χρώμα (θετική τιμή a). Το χρώμα της κρούστας μειώθηκε ως προς τη φωτεινότητα L, όπως συνέβη και στα δείγματα 1%^{w/w}, 2%^{w/w}, 3%^{w/w}. Σημαντικό χαρακτηριστικό αποτελεί ο όγκος, ο οποίος δεν μειώθηκε σε σχέση με το control, καθώς και η μαλακότητα της ψίχας που διατηρείται στα ίδια επίπεδα με τα υπόλοιπα δείγματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Το δείγμα 4%^{w/w} εμφάνισε υψηλά ποσοστά σακχάρων και αντιοξειδωτικών. Τα επίπεδα ελευθέρων σακχάρων είναι στις ίδιες τιμές με τα δείγματα 1%^{w/w}, 2%^{w/w} και 3%^{w/w}. Με την προσθήκη ποσότητας 4%^{w/w} και άνω παρατηρείται σημαντική αύξηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας, που έχει σημαντικά οφέλη στον οργανισμό.

- Στα ψωμιά με συγκέντρωση σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας 10%^{w/w}, 20%^{w/w} και 30%^{w/w} οι συγκεντρώσεις των αντιοξειδωτικών αυξήθηκε καθώς προστέθηκε υψηλή συγκέντρωση σκόνης τσουκνίδας που είναι πλούσια πηγή αντιοξειδωτικών ουσιών. Ωστόσο, ο όγκος μειώθηκε σε σύγκριση με το control, με τη μεγαλύτερη και εμφανή μείωση να παρατηρείται στα δείγματα 20%^{w/w} και 30%^{w/w}. Η αντικατάσταση μεγάλου ποσοστού της γλουτένης με σκόνη αποξηραμένη τσουκνίδας οδήγησε στη διακοπή της ανάπτυξης του δικτύου γλουτένης με αποτέλεσμα να μην μπορούν να σχηματιστούν οι πόροι και να μειώνεται ο όγκος. Ακόμη η υψηλή συγκέντρωση της τσουκνίδας σε φαινόλες οδήγησε στη σημαντική μείωση του όγκου λόγω της αλληλεπίδρασης των φαινολικών ενώσεων με τη γλουτένη του ψωμιού. Παράλληλα με τον όγκο παρατηρήθηκε και αύξηση της σκληρότητας της ψίχας. Οι κολλώδεις ιδιότητες της ζύμης επηρεάστηκαν από την αλληλεπίδραση ανάμεσα στα πρόσθετα συστατικά και στη γλουτένη, αλλά και στην αλληλεπίδρασή τους με το νερό. Η μέγιστη τιμή όσο αναφορά τη σκληρότητα παρατηρείται στα δείγματα 20%^{w/w} και 30%^{w/w}. Επιπρόσθετα, η φωτεινότητα L του χρώματος της ψίχας και της κρούστας μειώθηκε σημαντικά καθώς η διάσπαση της χλωροφύλλης σε φαιοφυτίνη οδήγησε στην απελευθέρωση του Mg που προσδίδει σκούρο χρώμα. Ακόμη λόγω της μη λείας επιφάνειας των δειγμάτων 10%, 20% και 30%^{w/w} δεν ανακλάται εύκολα το φως και μειώνεται η φωτεινότητα της κρούστας. Ακόμη η υψηλή συγκέντρωση της τσουκνίδας σε πρωτεΐνες, άρα και σε αμινοξέα

οδήγησε σε μεγαλύτερο αριθμό αντιδράσεων Maillard. Όσο αναφορά τις τιμές των σακχάρων, παρατηρούμε τη μέγιστη τιμή στο δείγμα 10%^{w/w} και πέραν της συγκέντρωση αυτής στα δείγματα 20%^{w/w} και 30%^{w/w} ίσως η περίσσεια ιόντων που περιέχει η τσουκνίδα να έχει ανασταλτική ενζυμική δράση.

Η παρούσα εργασία έδωσε χρήσιμες πληροφορίες όσον αφορά την επίδραση της προσθήκης σκόνης αποξηραμένης τσουκνίδας στις ιδιότητες του ψωμιού. Ένα προϊόν πλούσιο σε αντιοξειδωτικά και κοντά στα καθιερωμένα πλαίσια του καταναλωτή οδηγεί στην προτίμησή του. Οι αντιοξειδωτικές, αντιμικροβιακές και αναλγητικές ιδιότητες της τσουκνίδας την καθιστούν ένα θεραπευτικό πρόσθετο σε διάφορα τρόφιμα. Καθώς το ψωμί αποτελεί ένα καθημερινό τρόφιμο για τον καταναλωτή είναι ελκυστικό να είναι ταυτόχρονα και πλούσιο σε θρεπτικά. Οι χαμηλές συγκεντρώσεις (1%^{w/w}, 2%^{w/w} και 3%^{w/w}) έδωσαν ένα τελικό προϊόν που δε διαφέρει στις ιδιότητες με το ψωμί που δεν περιέχει καθόλου τσουκνίδα, αλλά χωρίς υψηλή συγκέντρωση σε αντιοξειδωτικά. Οι υψηλές συγκεντρώσεις (10%^{w/w}, 20%^{w/w} και 30%^{w/w}) επηρέασαν αρνητικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ψωμιού αλλά έδωσαν ένα υψηλό προφίλ αντιοξειδωτικής ικανότητας. Η συγκέντρωση 4%^{w/w} ίσως είναι η ιδανική καθώς προμηθεύει τα αντιοξειδωτικά στο προϊόν και δεν επηρεάζει τα χαρακτηριστικά του ψωμιού με αποτέλεσμα να γίνεται αποδεκτό από τον καταναλωτή.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Afolayan AJ and Jimoh FO. (2009). Nutritional quality of some wild leafy vegetables in South Africa. *Int J Food Sci Nutr* 60, 424–31.
- Ahmed M. Saad, Ragab A. Elmassry, Khaled M.M. Wahdan and Mohamed Fawzy Ramadan (2015). Chickpea (*Cicer arietinum*) steep liquor as a leavening agent effect on dough rheology and sensory properties of bread. *Acta Periodica Technologica* 46, 91-102.
- Ahrne, L., Andersson, C. G., Floberg, P., Rosen, J., & Lingnert, H. (2007). Effect of crust temperature and water content on acrylamide formation during baking of white bread: steam and falling temperature baking. *Lwt-Food Science and Technology* 40, 1708-1715.
- Ait Haj Said, A., Otmani, I. S. El, Derfoufi, S., & Benmoussa, A. (2015). Highlights on nutritional and therapeutic value of stinging nettle (*Urtica dioica*). *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* 7, 8–14.
- Amend, T. and Belitz, H.-D. (1990). The formation of dough and gluten – a study by scanning electron microscopy. *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung Forschungen* 190, 401–409.
- Ananingsih, V. K., & Zhou, W. (2012). Effects of green tea extract on large-deformation rheological properties of steamed bread dough and some quality attributes of steamed bread. *Food Research International* 50, 469-479.
- Andersen S, Wold J. (1978). Water-soluble glycoprotein from *Urtica dioica* leaves. *Phytochemistry* 17, 1875–1877.
- Antolak H, Czyzowska A, Kręgiel, D. (2017). Antibacterial and antiadhesive activities of extracts from edible plants against soft drink spoilage by *Asaia* spp. *Journal of Food Protect* 80, 25–34.
- Attenburrow, G.E., Goodband, R.M., Taylor, L.J., and Lillford, P.J. (1989). Structure, mechanics and texture of a food sponge. *Journal of Cereal Science* 9, 61-70.
- Baeuerle P.A., Henkel, T. (1994). Function and activation of NF- κ B in the immune system, *Annual Review of Immunology* 12, 141-179.

- Bassal, A., Vasseur, J., & Lebert, A. (1993). Measurement of water activity above 100 C. *Journal of Food Science*, 58, 449-452.
- Baik, O. D., Marcotte, M., & Castaigne, F. (2000). Cake baking in tunnel type multi-zone industrial ovens e Part I. Characterization of baking conditions. *Food Research International*, 33(7), 587-598.
- Baker, J.C. and Mize, M.D. (1941) The origin of the gas cell in bread dough. *Cereal Chemistry* 18, 19–34.
- Bernardin, J.E. and Kasarda, D.D. (1973) Hydrated protein fibrils from wheat endosperm. *Cereal Chemistry* 50, 529–36.
- Bianchi, F., Careri, M., Chiavaro, E., Musci, M., Vittadini, E. (2008). Gas chromatographic- mass spectrometric characterization of the Italian Protected Designation of Origin ‘Altamura’ bread volatile profile. *Food Chemistry* 110, 787-793.
- Biliaderis, C. G., Maurice, T. J., & Vose, J. R. (1980). Starch gelatinization phenomena studied by differential scanning calorimetry. *Journal of Food Science* 45, 1669-1674.
- Bisht, S., Bhandari, S., Bisht, N.S., (2012). *Urtica dioica* (L): an undervalued, economically important plant. *Agric. Sci.* 2, 250–252.
- Bombardelli E, Morazzoni P. (1997). *Urtica dioica* L. *Fitoterapia* 68, 387–402.
- Bourgeois, C., Leclerc, É.A., Corbin, C., Doussot, J., Serrano, V., Vanier, J.-R., Seigneuret, J.-M., Auguin, D., Pichon, C., Lainé, É., Hano, C. (2016). Nettle (*Urtica dioica* L.) as a source of antioxidant and anti-aging phytochemicals for cosmetic applications. *Comptes Rendus Chimie* 19, 1090-1100.
- Branen, A. L., Davidson, P. M., Salminen, S., & Thorngate, J. (2001). Food additives. New York: Taylor & Francis.
- Bucar F, Britzmann B, Streit B, Weigend M. (2006). LC-PDA-MS-profiles of phenolic compounds in extracts aerial parts of *Urtica* species. *Planta Medica*, 72, 1028.
- Bushuk, W. (1985) Flour proteins: Structure and functionality in dough and bread. *Cereal Foods World*, 30, 447–51.
- Caleja, C., Barros, L., Antonio, A. L., Caroch, M., Oliveira, M. B. P. P., & Ferreira, I. C. F. R. (2016b). Fortification of yogurts with different antioxidant

preservatives: A comparative study between natural and synthetic additives. *Food Chemistry*, 210, 262-268.

- Caleja, C., Ribeiro, A., Barros, L., Barreira, J. C. M., Antonio, A. L., Oliveira, M. B. P. P., et al. (2016a). Cottage cheeses functionalized with fennel and chamomile extracts: Comparative performance between free and microencapsulated forms. *Food Chemistry* 199, 720-726.
- Capucine Bourgeois, Emilie A. Leclerc, Cyrielle Corbin, Joel Doussot, Valerie Serrano, Jean-Raymond Vanier, Jean-Marc Seigneuret, Daniel Auguin, Chantal Pichon, Eric Lain and Christophe Hano (2016). Nettle (*Urtica dioica* L.) as a source of antioxidant and anti-aging phytochemicals for cosmetic applications. *C. R. Chimie* 19, 1090-1100.
- Carochó, M., Barreiro, M. F., Morales, P., & Ferreira, I. C. F. R. (2014). Adding molecules to food, pros and cons: A review of synthetic and natural food additives. *Food Science and Food Safety* 13, 377-399.
- Carochó, M., Morales, P., & Ferreira, I. C. F. R. (2015a). Natural food additives. *Food Science and Technology* 45, 284-295.
- Carochó, M., Barreiro, M. F., Morales, P., & Ferreira, I. C. F. R. (2014). Adding molecules to food, pros and cons: A review of synthetic and natural food additives. *Food Science and Food Safety* 13, 377-399.
- Cauvain, S.P. (2004) *Bread making: Improving quality*. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, UK.
- Cauvain, S.P. and Young, L.S. (2006) *The Chorleywood Bread Process*, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, UK.
- Chung, O.K. (1986) Lipid-protein interactions in wheat flour, dough, gluten, and protein fractions. *Cereal Foods World*, 31, 242-56.
- Cipolla G, Crema F, Sacco S, Moro E, de Ponti F, Frigo G. (2002) Nonsteroidal anti-inflammatory drugs and inflammatory bowel disease: Current perspectives. *Pharmacol Res* 46: 1-6.
- Collier HOJ, Cheshier GB. Identification of 5-hydroxytryptamine in the sting of the nettle (*Urtica dioica*) (1956). *Brit J Pharmacol* 11, 186-189.
- Czarnetzki BM, Thiele T, Rosenbach T. (1990) Immunoreactive leukotrienes in nettle plants (*Urtica urens*). *International Archives of Allergy and Immunology* 91, 43-46.

- Datta, A.K (2006). Heat transfer. Handbook o Food and Bioprocess Modeling Techniques. pp 85-143.
- Delcour, J. A., Bruneel, C., Derde, L. J., Gomand, S. V., Pareyt, B., Putseys, J.A., Lamberts, L. (2010). Fate of starch in food processing: From raw materials to final food products. *Annual Review of Food Science and Technology* 1, 87–111.
- Dewettinck, K., Van Bockstaele, F., Kóhne, B., Van de Walle, D., Courtens, T. M., & Gellynck, X. (2008). Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 243–257.
- Di Virgilio, N., Papazoglou, E.G., Jankauskiene, Z., Di Lonardo, S., Praczyk, M., Wielgusz, K., (2015). The potential of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) as a crop with multiple uses. *Ind. Crops Prod.* 68, 42–49.
- Dorota Kregiel ID, Ewelina Pawlikowska and Hubert Antolak (2018).*Urtica* spp.: Ordinary Plants with Extraordinary Properties, *Molecules* 1-21.
- Chiotellis. E and G.M. Campebell. (2003). Proving of bread dough I Modelling the Evolution of the Bubble Size Distribution. *Trans IChemE* 81, 45-78.
- Fiol, C., Prado, D., Mora, M., & Alava, J. I. (2016). Nettle cheese: Using nettle leaves (*Urtica dioica*) to coagulate milk in the fresh cheese making process. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 4, 19–24.
- Gancedo, J. M. (1998). Yeast carbon catabolite repression. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 62 , 334–361.
- Gao, L., Ng, P.K.W. and Bushuk, W. (1992) Structure of glutenin based on farinograph and electrophoretic results. *Cereal Chemistry* 69, 452–455.
- Gavurnikova, S., Havrlentova, M., Mendel, L., Čičova, I., Bielikova, M., & Kraic, J. (2011). Parameters of wheat flour, dough and bread fortified by buckwheat and millet flours. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)* 57, 144–153.
- Goesaert, H.; Brijs, W.S.; Veraverbeke, C.M.; Gerbruers, K.; Delcour, J.A (2005). Wheat flour constituents: how they impact quality, and how to impact their functionality. *Trends Food Sci. Technol.* 16, 12–30.

- Guil-Guerrero, J.L., Reboloso-Fuentes, M.M., Isasa, M.E.T., (2003). Fatty acids and carotenoids from Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.). *J. Food Compos* 16, 111–119.
- Gulcin I., Kufrevioglu O.I., Oktay, M. and Buyukokuroglu M.E. (2004). Antioxidant, antimicrobial, antiulcer and analgesic activities of nettle (*Urtica dioica*). *J. Ethnopharmacol.* 90, 205-215.
- Hagman, A., Säll, T., Compagno, C., & Piskur, J. (2013). Yeast Make accumulate-consume life strategy evolved as a multi-step process that predates the whole genome duplication. *PLoS One*, 8, 68-734.
- Han, H. M., & Koh, B.-K. (2011a). Effect of phenolic acids on the rheological properties and proteins of hard wheat flour dough and bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(13), 2495-2499.
- Hathorn, C.S., Biswas, M.A., Gichuhi, P.N. & Bovell- Benjamin, A.C. (2007). Comparison of chemical, physical, micro-structural, and microbial properties of breads supplemented with sweetpotato flour and high- gluten dough enhancers. *LWT- Food Science and Technology* 41, 803-815.
- Hosney, R.C. (1985). The mixing phenomenon. *Cereal Foods World*, 30, 453–7.
- Jan Khan Nadiya, Zarafshan, Singh Sukhcham (2017). Stinging nettle (*Urtica dioica*) a reservoir of nutrition and bioactive components with great functional potential. *Food Measure* 11, 423-433.
- Kasprzak M. and Rzedzicki Z., 2010. Effect of pea seed coat admixture on physical properties and chemical composition of bread. *Int. Agrophys.*, 24, 149-156.
- Kent, N.L., Evers A.D (1994). Bread made with gluten substitutes. *Technology of cereals*. Pergamon Press, Oxford.
- Knez, M. (1979). *Technology of bread production*; Državna Založba Slovenie: Ljubljana, Slovenia.
- Kokawa, M., Fujita, K., Sugiyama, J. et al. (2012). Quantification of the distributions of gluten, starch and air bubbles in dough at different mixing stages by fluorescence fingerprint imaging. *Journal of Cereal Science*, 55, 15–21.

- Kroll, J., Rawel, H. M., & Rohn, S. (2003). Reactions of plant phenolics with food proteins and enzymes under special consideration of covalent bonds. *Food Science and Technology Research*, 9, 205–218.
- Kudritsata SE, Filman GM, Zagorodskaya LM, Chikovanii DM. (1986). Carotenoids of *Urtica dioica*. *Khimiya Prirodnikh Soedinenii* 5, 640–6411.
- Kukric, Z.Z., Topalic-Trivunovic, L.N., Kukavica, B.M., Matoš, S.B., Pavicic, S.S., Boroja, M.M., Savic, A.V. (2012). Characterization of antioxidant and antimicrobial activities of nettle leaves (*Urtica dioica* L.). *Acta Periodica Technologica* 43, 257- 272.
- Kurtzman, C., Fell, J., & Boekhout, T. (2011). *The yeasts A taxonomic study* (5th ed.). Elsevier Science.
- Labat, E., Morel, M. H., & Rouau, X. (2000). Effects of laccase and ferulic acid on wheat flour doughs. *Cereal Chemistry*, 77(6), 823–828.
- Lafiandra, D., Riccardi, G., & Shewry, P. R. (2014). Improving cereal grain carbohydrates for diet and health. *Journal of Cereal Science*, 59, 312–326.
- Leporatti, M., Corradi, L., (2001). Ethnopharmacobotanical remarks on the province of Chieti town (Abruzzo, Central Italy). *J. Ethnopharmacol.* 74, 17–40.
- Mahmoudi, R., Amini, K., Fakhri, O., Alem, M. (2014). Aroma profile and antimicrobial properties of alcoholic and aqueous extracts from root, leaf and stalk of nettle (*Urtica dioica* L.). *J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci.* 4, 220–224.
- Maktouf, S., Jeddou, K. B., Moulis, C., Hajji, H., Remaud-Simeon, M., & Ellouz-Ghorbel, R. (2016). Evaluation of dough rheological properties and bread texture of pearl millet-wheat flour mix. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 2061–2066.
- Maloney DH, Foy JJ. (2003). Yeast Fermentations. In: K Kulp, K Lorenz (eds.). *Handbook of Dough Fermentations*. Marcel Dekker, New York.
- McWatters, K.H., Phillips, R.D., Walker, S.L., et al., (2004). Baking performance and consumer acceptability of raw and extruded cowpea flour breads. *Journal of Food Quality*, 27, 337-351.
- Mikulec Anna, Stanisław Kowalski, Renata Sabat, Lukasz Skoczylas, Małgorzata Tabaszewska, Anna Wywrocka-Gurgul (2019). Hemp flour as a

valuable component for enriching physicochemical and antioxidant properties of wheat bread. *LWT - Food Science and Technology* 102, 164–172.

- Mildner- Szkudlarz, Zawirska- Wojtasiak, Szwengiel, & Pacynski, (2011). Use of grape by- product as a source of dietary fibre and phenolic compounds in sourdough mixed rye bread. *International Journal of Food Science and Technology*. 46, 1485-1493.
- Millar, S.J., Bar L'Helgouac'h, C., Massin, C. et al. (2005) Flour quality and dough development interactions – the critical first steps in bread production, in *Using Cereals Science and Technology for the Benefit of Consumers* (eds S.P. Cauavin, S.E. Salmon and L.S. Young), Woodhead publishing Ltd, Cambridge, pp. 132–136.
- Moore, J., Luther, M., Cheng, Z. and Yu, L. (2009). Effects of baking conditions, dough fermentation, and bran particle size on antioxidant properties of whole-wheat pizza crusts. *J. Agric. Food Chem.* 57, 832–839.
- Morris VJ. (1990). Starch gelation and retrogradation. *Trends Food Sci Tech* 1, 2–6.
- Motarjemi, Y., Moy, G., & Todd, E. (2014). Encyclopedia of food safety (1st ed.).
- Nayak, B., Liu, R. H., & Tang, J. (2015). Effect of processing on phenolic antioxidants of fruits, vegetables, and grain. *Food Science and Nutrition* 55 (7), 887–918.
- Naves Y-R, Ardizio P. Title unavailable. *Perfumery Essent Oil Record* 1955, 46:79.
- Orčić, D., Francišković, M., Bekvalac, K., Svirčev, E., Beara, I., Lesjak, M., Mimica-Dukić, N., 2014. Quantitative determination of plant phenolics in *Urtica dioica* extracts by high-performance liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometric detection. *Food Chem.* 143, 48–53.
- Orth, R.A. and Bushuk, W. (1972) A comparative study of the proteins of wheats of diverse baking qualities. *Cereal Chemistry* 49, 268–75.
- Ozdal, T., Capanoglu, E., & Altay, F. (2013). A review on protein–phenolic interactions and associated changes. *Food Research International* 51, 954–970.

- Papadakis E.S. and Yam L.K. 2000, A Versatile Inexpensive Technique for Measuring Color of Foods, *Food Technology*, Vol. 54, No. 12.
- Paraskevopoulou, A., Provatidou, E., Tsotsiou, D., & Kiosseoglou, V. (2010). Dough rheology and baking performance of wheat flour– lupin protein isolate blends. *Food Research International*, 43, 1009–1016.
- Peesa JP, Yalavarthi PR, Rasheed A, Mandava VBR. (2016). A perspective review on role of novel NSAID prodrugs in the management of acute inflammation. *J Acute Dis* 5(5), 364-81.
- Peng, X., Ma, J., Cheng, K.-W., Jiang, Y., Chen, F., & Wang, M. (2010). The effects of grape seed extract fortification on the antioxidant activity and quality attributes of bread. *Food Chemistry* 119(1), 49–53.
- Popova T (2016) Bread remains in archaeological contexts. *Southeast Europe and Anatolia in Prehistory Essays in Honor of Vassil Nikolov on His 65th Anniversary*, eds Bacvarov K, Gleser R (Habelt, Bonn), pp 519–526.
- Pyler, E.J. (1988) *Baking Science and Technology*, Sosland Publishing Co., Kansas City, MO, Chapter 14.
- Rezapour R., B. Ghiassi Tarzi, S. Movahed (2016). The Effect of Adding Sweet Basil Seed Powder (*Ocimum basilicum* L.) on Rheological Properties and Staling of Baguette Bread. *Journal of Food Biosciences and Technology* 6, 41-46.
- Rafajlovska, V., Rizova, E., Djarmati, Z., Tesevic, V., Cvetkov, L., (2001). Contents of fatty acids in stinging nettle extracts (*Urtica dioica* L.) obtained by supercritical carbondioxide. *ACTA Pharm.* 51, 45–51.
- Ratnam DV, Ankola DD, Bhardwaj V, Sahana DK, Kumar MN. (2006). Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective. *Journal of Control Release* 113, 189-207.
- Riehemann K, Behnke B, Schulze-Osthoff K. (1999). Plant extracts from stinging nettle (*Urtica dioica*), an anti-rheumatic remedy, inhibit the pro-inflammatory transcription factor NF- κ B. *FEBS Lett* 94, 89-94.
- Roschek B., Fink, R.C, McMichael, M., Alberte, R.S. (2009). *Phytotherapy Research* 23, 920–926.
- Rosell, C., Rojas, J. & Benedito, M. (2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food hydrocolloids* 15, 75-81.

- Rutto, L. K., Y. Xu, E. Ramirez, and M. Brandt. (2013). Mineral properties and dietary values raw and processed Stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *Int. J. Food Sc.* 10, 11-15.
- Saeed A, El-Eraqy W, Ahmed Y. (1995). Flavonoids of *Urtica urens* L. and biological evaluation. *Egypt J Pharm* 36, 1–6.
- Scanlon, M.G. and Zghal, M.C. (2001). Bread properties and crumb structure. *Food Res. Intern.* 34, 841–864.
- Shale, T., Stirk, W., Van Standen, J. (1999). Screening of medicinal plants used in Lesotho for anti-bacterial and anti-inflammatory activity. *J. Ethnopharmacol* 67, 347–354
- Shewry, P. R., Halford, N. G., Belton, P. S., & Tatham, A. S. (2002). The structure and properties of gluten: An elastic protein from wheat grain. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 357, 133–142.
- Shewry, P., Gilbert, S., Savage, A., Tatham, A., Wan, Y.-F., Belton, P., and Halford, N. (2003). Sequence and properties of HMW subunit 1Bx20 from pasta wheat (*Triticum durum*) which is associated with poor end use properties. *Theoretical and Applied Genetics*, 106(4), 744–750.
- Sivam, A. S., Sun-Waterhouse, D., Quek, S., & Perera, C. O. (2010). Properties of bread dough with added fiber polysaccharides and phenolic antioxidants: A review. *Journal of Food Science*, 75(8), 163–174.
- Stear CA. 1990. *Handbook of Breadmaking Technology*. Barking, Elsevier Applied Science, United Kingdom.
- Stokes, D. J., & Donald, A. M. (2000). In situ mechanical testing of dry and hydrated breadcrumb in the environmental scanning electron microscope (ESEM). *Journal of Materials Science*, 35(3), 599-607.
- Stolz P et al. (1993). Utilization of maltose and glucose by lactobacilli isolated from sourdough. *FEMS Microbiol Lett* 109, 237–242.
- Świeca, M., Sęczyk, Ł., Gawlik-Dziki, U., & Dziki, D. (2014). Bread enriched with quinoa leaves – The influence of protein–phenolics interactions on the nutritional and antioxidant quality. *Food Chemistry* 162, 54–62.
- Totosaus, A., Lopez, H., & Guemes-Vera, N. (2013). Effect of Lupinus (*Lupinus albus*) and Jatropha (*Jatropha curcas*) Protein concentrates on wheat

dough texture and bread quality: Optimization by a D-optimal mixture design. *Journal of Texture Studies*, 44, 424–435.

- Trystram Gilles (2012). Modelling of food and food processes. *Journal of Food Engineering* 110, 269-277.
- Upton, R., (2013). Stinging nettles leaf (*Urtica dioica* L.): extraordinary vegetable medicine. *Journal of Herbal Medicine* 3, 9–38.
- Vanin, F.M., T. Lucas and G. Trystram (2009). Crust formation and its role during bread baking. *Trends in Food Science & Technology* 20, 333-343.
- Vialli DM, Barbetta F, Zanotti L, Mihalyi K. (1973). Estendibilita del concetto di sistema cellulare enterocromaffine ai vegetali. I. Inquadramento della questione e contributo alla conoscenza istochimica dei peli di *Urtica dioica* L. *Acta Histochemica*; 45, 270–80.
- Viator, C., Blitstein, J., Brophy, J. E., & Fraser, A. (2015). Preventing and controlling foodborne disease in commercial and institutional food service settings: A systematic review of published. *Intervention Studies Journal of Food Protection* 78, 446-156.
- Vishal V, Sharma GN, Mukesh G, Ranjan B. (2014). A review on some plants having anti-inflammatory activity. *Journal of Phytopharmacol* 3(3), 214-21.
- Vitali, D., Dragojevic, I. V. and Sebecic, B. (2009). Effects of incorporation of integral raw materials and dietary fibre on the selected nutritional and functional properties of biscuits. *Food Chemistry* 114, 1462–1469.
- Wahlby, U., & Skjoldebrand, C. (2002). Reheating characteristics of crust formed on buns, and crust formation. *Journal of Food Engineering*, 53(2), 177-184.
- Wagner H, Willer F, Kreher B. (1989). Biologically active compounds from the aqueous extract of *Urtica dioica*. *Planta Med.* 55(5), 452-454. [Article in German].
- Wagner, M. J., Lucas, T., Le Ray, D., & Trystram, G. (2007). Water transport in bread during baking. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1167-1173.
- Wan, X.C.(2007). Tea biochemistry. Beijing: China agriculture press.
- Wang, R,& Zhou, W.B., & Isabelle, M. (2007). Comparison study of the effect of green tea extract on the quality of bread by instrumental analysis and sensory evaluation. *Food research International*, 40, 470-479.

- Wetherilt H. (1992). Evaluation of *urtica* species as potential sources of important nutrients. *Dev Food Science* 29, 15-25.
- Williams T, Pullen G. (1998). Functional ingredients. In: SP Cauvain, LS Young (eds.). *Technology of Breadmaking*. Blackie Academic and Professional, London.
- Xikun Lu, Margaret A. Brennan, Luca Serventi, Charles S. Brennan (2018). Incorporation of mushroom powder into bread dough effects on dough rheology and bread properties *Cereal Chemistry* 95, 418–427.
- Xu Jingwen, Weiqun Wang, Yonghui Li (2019). Dough properties, bread quality and associated interactions with added phenolic compounds. *Journal of Functional Foods* 52, 629-639.
- Yamsaengsung Ram, Regine Schoenlechner & Emmerich Berghofer (2010). The effects of chickpea on the functional properties of white and whole wheat bread. *International Journal of Food and Technology* 45, 610-620.
- Zehentbauer G, Grosch W. (1998). Crust aroma of baguettes II. Dependence of the concentrations of key odorants on yeast level and dough processing. *J Cereal Science* 28, 93–96.
- Zghal, M. C., Scanlon, M. G., & Sapirstein, H. D. (1999). Prediction of bread crumb density by digital image analysis. *Cereal Chemistry* 76, 734–742.
- Zhang Jinli, Yan Ding, Haizhou Dong, Hanxue Hou, and Xiansheng Zhang (2018). Distribution of Phenolic Acids and Antioxidant Activities of Different Bran Fractions from Three Pigmented Wheat Varieties. *Journal of Chemistry*, pages 9.
- Zhang, Y.-J., Gan, R.-Y., Li, S., Zhou, Y., Li, A.-N., Xu, D.-P., & Li, H.-B. (2015). Antioxidant Phytochemicals for the Prevention and Treatment of Chronic Diseases. *Molecules*, 20(12), 21138–21156.