



Σχολή Επιστημών Τροφίμων  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων  
Εργαστήριο Χημείας Ανάλυσης και Σχεδιασμού Διεργασιών  
Επεξεργασίας Τροφίμων

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
**ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Διερεύνηση της παλαίωσης εψημένων  
παραδοσιακών προϊόντων γλυκού ζυμαριού  
(τσουρέκι) εμπλουτισμένων με άλευρο  
κάνναβης**

MSc Thesis

**Investigation of staling process of traditional rich dough  
baked products (tsoureki) enriched with hemp flour**



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/NAME OF STUDENT

Χριστίνα Χρηστίδη / Christina Christidi

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

Λάζου Ανδριάννα / Lazou Andriana

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2022





University of West Attica  
Faculty of Food Sciences  
Department of Food Science and Technology  
Laboratory of Chemistry, Analysis and Design of Food Processes

Master of Science  
**FOOD INNOVATION, QUALITY AND SAFETY**

MSc THESIS

**Investigation of staling process of traditional rich dough  
baked products (tsoureki) enriched with hemp flour**

CHRISTINA CHRISTIDI

Registration Number: 20030

e-mail: [fiqs20030@uniwa.gr](mailto:fiqs20030@uniwa.gr)

SUPERVISOR  
LAZOU ANDRIANA

AIGALEO 2022

Έγινε δεκτή

Ο Διευθυντής του ΠΜΣ: Ιωάννης Τσάκνης

Οι υπογράφωντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία (master thesis) με τίτλο **‘Διερεύνηση της παλαίωσης εψημένων παραδοσιακών προϊόντων γλυκού ζυμαριού (τσουρέκι) εμπλουτισμένων με άλευρο κάρναβης’** που παρουσιάσθηκε από τον ή την **ΧΡΗΣΤΙΔΗ ΧΡΙΣΤΙΝΑ**, υποψηφίου για τον μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών στην **ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ** και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

Ημερομηνία  
26/07/22

Όνομα επιβλέποντος  
Λάζου Ανδριάνα

Ημερομηνία  
26/07/22

Όνομα μέλους επιτροπής  
Στρατή Ειρήνη

Ημερομηνία  
26/07/22

Όνομα μέλους επιτροπής  
Λουγκοβόης Βλαδίμηρος

## Δήλωση συγγραφέα διπλωματικής εργασίας

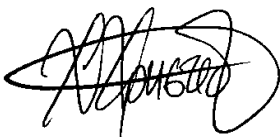
Η κάτωθι υπογεγραμμένη **Χρηστίδη Χριστίνα** του **Φοίβου**, με αριθμό μητρώου **20030** φοιτήτρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών **Καινοτομία, Ποιότητα και Ασφάλεια Τροφίμων** του Τμήματος **Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων** της Σχολής **Επιστημών Τροφίμων** του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι 26/07/23 έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.

Η Δηλούσα  
Χρηστίδη Χριστίνα

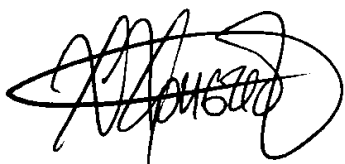


Επιβλέπουσα καθηγήτρια  
Λάζου Ανδριάννα

## **Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright**

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης. Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στην διπλωματική μου εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης Τίτλου Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων. Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η διπλωματική εργασία προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

Χρηστίδη Χριστίνα



## **Ευχαριστίες**

Η παρούσα μελέτη εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας, Ανάλυσης & Σχεδιασμού Διεργασιών Επεξεργασίας Τροφίμων, του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, υπό την επίβλεψη της Καθηγήτριας κα Ανδριάνας Λάζου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Στέλλα Πρωτονοταρίου μεταδιδακτορική ερευνήτρια από το Εργαστήριο Μηχανικής και Επεξεργασίας Τροφίμων, του τμήματος Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του ανθρώπου, του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών για την παραχώρηση του μύλου αλέσεως καθώς και τις εταιρίες Μύλοι Μάρρα Α.Ε. και την ΚΟΙΝΣΕΠ ΚΑΝΝΑΒΙΟ για την ευγενή χορηγία των πρώτων υλών. Ακόμη εκφράζω τις ευχαριστίες μου προς τον κ. Στέλιο Γιέτο της εταιρίας BioTech Scientifics για την βοήθεια του ως προς τη χρήση του λογισμικού Image Analysis Pro.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Ελένη Καραλιά, τη Μαρία Δρόσου και την Κυριακή Χατζημιχαήλ για τη βοήθεια και τη συνολική μας συνεργασία κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και την επεξεργασία αυτών στα πλαίσια εκπόνησης και των δικών τους πτυχιακών εργασιών, καθώς και την επιβλέπουσα καθηγήτρια Λάζου Ανδριάνα για την αμέριστη βοήθεια και καθοδήγηση της καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής.

## Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας έρευνας ήταν η διερεύνηση της παλαίωσης αρτοσκευάσματος πλουσίου ζυμαριού (τσουρέκι) εμπλουτισμένο με άλευρο κάνναβης παρασκευασμένο σε ποσοστά υποκατάστασης με το άλευρο σίτου 0%, 10%, 30%, 50% και αποθηκευμένο στους 25°C για 0, 1, 4, 7, 10, 14 ημέρες. Κύριος σκοπός ήταν η μελέτη των φυσικοχημικών (υγρασία, ενεργότητα ύδατος, απώλεια κατά τον κλιβανισμό), των δομικών (όγκος, ειδικός όγκος, διαφορά βάρους%), μηχανικών (σκληρότητα, συνεκτικότητα, ελαστικότητα, μασητικότητα, κολλητικότητα), γεωμετρικών και μορφολογικών ιδιοτήτων καθώς και η μελέτη του χρώματος κατά τη διάρκεια της αποθηκείωσης. Επίσης, μελετήθηκαν και οι θερμικές μεταπτώσεις των αρτοσκευασμάτων κατά τη διάρκεια της αποθηκείωσης. Από την μελέτη των μηχανικών ιδιοτήτων του τσουρεκιού προκύπτει ότι ο χρόνος αποθήκευσης επέφερε αύξηση στη σκληρότητα, τη μασητικότητα και την κολλητικότητα ενώ μείωσε τη συνεκτικότητα και την ελαστικότητα, όμως η μείωση της ελαστικότητας που παρατηρήθηκε δεν ήταν σταδιακή. Ακόμη, η προσθήκη αλεύρου κάνναβης αύξησε αντίστοιχα τη σκληρότητα, τη μασητικότητα και την κολλητικότητα ενώ μείωσε τη συνεκτικότητα και την ελαστικότητα. Το χρώμα της κόρας και της ψίχας του τσουρεκιού δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τον χρόνο αποθήκευσης αλλά κυρίως από την προσθήκη αλεύρου κάνναβης, καθώς με αύξηση του παρατηρήθηκε μείωση στη φωτεινότητα και αύξηση στη διαφορά χρώματος ΔΕ, τόσο της ψίχας όσο και της κόρας του τσουρεκιού. Στις φυσικοχημικές ιδιότητες παρατηρήθηκε ότι, ο χρόνος αποθήκευσης μείωσε την υγρασία και την ενεργότητα ύδατος αντίστοιχα, καθώς επίσης μειώθηκαν και λόγω της αύξησης του ποσοστού αλεύρου κάνναβης. Όσον αφορά τις δομικές ιδιότητες, ο χρόνος αποθήκευσης δεν επηρέασε τον όγκο και κατ'επέκταση τον ειδικό όγκο του τσουρεκιού αλλά παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση από την προσθήκη του αλεύρου κάνναβης και συγκεκριμένα με αύξηση του ποσοστού 30% και πάνω. Επιπλέον, ο χρόνος αποθήκευσης επηρέασε την % διαφορά βάρους των τσουρεκιών όπου αυξήθηκε με την πάροδο των ημερών. Από την ανάλυση εικόνας των γεωμετρικών και μορφολογικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων βρέθηκε ότι ο χρόνος αποθήκευσης δεν τα επηρέασε σημαντικά, ενώ αυτό που παρατηρήθηκε ήταν ότι το ύψος τους μειώθηκε με την αύξηση του ποσοστού αλεύρου κάνναβης. Τέλος, με χρήση θερμοδόμετρου διαφορικής σάρωσης μελετήθηκε η μεταβολή της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης κατά τη διάρκεια της αποθηκείωσης. Με την πάροδο των ημερών παρατηρήθηκε μια αυξητική τάση στην περιοχή υαλώδους



μεταπτώσεως κυρίως στα ποσοστά 0%, 10% και 50%. Η αύξηση του ποσοστού αλεύρου κάνναβης μείωσε τη θερμοκρασία υαλώδους μεταπτώσεως. Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, ο χρόνος αποθήκευσης αρτοσκευάσματος πλουσίου ζυμαριού εμπλουτισμένο με άλευρο κάνναβης επηρέασε σημαντικά κυρίως τις ιδιότητες υφής όπως και τις φυσικοχημικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

## **Abstract**

The object of the present research was the investigation of staling process of traditional rich dough baked products (tsoureki) enriched with hemp flour, prepared at substitution rates with wheat flour 0%, 10%, 30%, 50% and stored at 25°C for 0, 1, 4, 7, 10, 14 days. The main purpose was the study of the physicochemical (moisture, water activity, % baking loss), the structural (volume, specific volume, % weight difference), mechanical (hardness, cohesiveness, springiness, chewiness, gumminess), geometric and morphological properties as well as and the study of color during storage. Also, the thermal transitions of the baked goods during storage were studied. From the study of the mechanical properties of the traditional rich dough baked product (tsoureki), comes up that storage time resulted in an increase in hardness, chewiness and gumminess whereas decreased cohesiveness and springiness, although the observed decrease in springiness was not gradual. Furthermore, the addition of hemp flour increased respectively hardness, chewiness and gumminess whereas decreased cohesiveness and springiness. The color of the crust and the crumb of the traditional tsoureki was not significantly affected by the storage time but mainly by the addition of hemp flour, as with its increase a decrease in the brightness and an increase in the color difference  $\Delta E$ , of both the crumb and the crust, was observed. In the physicochemical properties it was observed that the storage time decreased the moisture and water activity respectively, and they also decreased due to the increase in the percentage of hemp flour. Regarding the structural properties, the storage time did not affect the volume and by extension the specific volume of the traditional tsoureki, but a significant effect was observed from the addition of hemp flour, specifically with an increase in the percentage of 30% and above. In addition, the storage time affected the % weight difference of the traditional tsoureki where it increased over the days. From the image analysis of the geometric and morphological characteristics of the samples, it was found that the storage time did not significantly affect them, while what was observed was that their height decreased with the increase in the percentage of hemp flour. Finally, using a differential scanning calorimeter, the change in glass transition temperature during storage was studied. Over the days, an increasing tendency was observed in the glass transition area mainly at the percentages of 0%, 10% and 50%. The increase in the percentage of hemp flour decreased the glass transition temperature. Based on the results of the present research, the storage time of rich dough baked products enriched with hemp

flour significantly affected mainly the textural properties as well as the physicochemical properties of the final product.

## Περιεχόμενα

Δήλωση συγγραφέα διπλωματικής εργασίας .....	5
Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright .....	6
Ευχαριστίες.....	7
Περίληψη.....	8
Abstract.....	10
1 Εισαγωγή.....	14
2 Θεωρητικό υπόβαθρο – Βιβλιογραφική ανασκόπηση .....	17
2.1 Κάνναβη .....	17
2.1.1 Γενικά .....	17
2.1.2 Οφέλη Κάνναβης- Θεραπευτική αξία .....	19
2.1.3 Εμπλουτισμός τροφίμων με σπόρους κάνναβης.....	22
2.2 Γλυκά αρτοσκευάσματα.....	24
2.2.1 Εισαγωγή.....	24
2.2.2 Γλυκά αρτοσκευάσματα πλούσιου ζυμαριού.....	25
2.2.3 Τσουρέκι.....	25
2.2.4 Συστατικά τσουρεκιού και λειτουργικές τους ιδιότητες .....	27
2.2.4.1 Αλεύρι .....	27
2.2.4.2 Ζάχαρη .....	30
2.2.4.3 Λιπαρά.....	32
2.2.4.4 Νερό .....	33
2.2.4.5 Αυγά .....	33
2.2.4.6 Ζύμη .....	34
2.2.4.7 Γάλα .....	35
2.2.4.8 Αλάτι .....	35
2.2.4.9 Μικρο-συστατικά .....	35
2.3 Παλαίωση των αρτοσκευασμάτων .....	36
2.3.1 Μηχανισμός παλαίωσης.....	37
2.3.2 Άλλοι παράγοντες που επιδρούν στην παλαίωση των αρτοσκευασμάτων .....	39
2.3.2.1 Θερμοκρασία αποθήκευσης .....	39
2.3.2.2 Μετακίνηση υγρασίας.....	40
2.3.2.3 Ανακατανομή υγρασίας από ψίχα σε κόρα .....	40
2.3.2.4 Επεξεργασία .....	40
2.3.3 Αντιμετώπιση της παλαίωσης στα αρτοσκευάσματα .....	41

2.3.4	Μέθοδοι μέτρησης του βαθμού παλαίωσης στα αρτοσκευάσματα.....	42
3	Πειραματικό μέρος- Υλικά και μέθοδοι.....	44
3.1	Σκοπός.....	44
3.2	Υλικά.....	44
3.3	Πειραματική διαδικασία.....	46
3.4	Προσδιορισμός των ιδιοτήτων .....	48
3.4.1	Φυσικοχημικές ιδιότητες .....	48
3.4.1.1	Προσδιορισμός υγρασίας .....	48
3.4.1.2	Προσδιορισμός ενεργότητας ύδατος ( $a_w$ ) .....	48
3.4.1.3	Προσδιορισμός μεταβολής βάρους κατά τον κλιβανισμό (baking loss).....	49
3.4.2	Προσδιορισμός χρώματος .....	49
3.4.3	Δομικές ιδιότητες.....	50
3.4.3.1	Φαινόμενος όγκος ( $V_a$ ):.....	50
3.4.3.2	Ειδικός όγκος ( $SV$ ):.....	51
3.4.4	Μηχανικές ιδιότητες (Ιδιότητες υφής) .....	51
3.5	Θερμική ανάλυση .....	53
3.5.1	Πειραματική διαδικασία θερμιδομετρίας διαφορικής σάρωσης DSC.....	53
3.6	Ανάλυση εικόνας αρτοσκευασμάτων.....	54
3.7	Στατιστική επεξεργασία.....	55
4	Αποτελέσματα και συζήτηση.....	56
4.1	Αποτελέσματα φυσικοχημικών ιδιοτήτων .....	56
4.2	Αποτελέσματα χρώματος.....	59
4.3	Αποτελέσματα δομικών ιδιοτήτων.....	62
4.4	Αποτελέσματα ιδιοτήτων υφής.....	65
4.5	Αποτελέσματα θερμιδομετρίας διαφορικής σάρωσης (DSC) .....	68
4.6	Αποτελέσματα ανάλυσης εικόνας.....	73
5	Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα .....	81
5.1	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα .....	82
6	Βιβλιογραφία.....	83

## 1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί μεγάλη ανάπτυξη στα αρτοσκευάσματα μιας και αποτελούν τρόφιμο καθημερινής κατανάλωσης από όλους μας. Οι σύγχρονες απαιτήσεις των καταναλωτών, οι οποίοι ενδιαφέρονται όλο και περισσότερο για την βελτίωση της διατροφής, της υγείας και της ευεξίας έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων αρτοποιίας, τα οποία παράγονται με υποκατάσταση παραδοσιακών αλεύρων με μη παραδοσιακά που περιέχουν βιο-δραστικές ενώσεις (Dini et al., 2012; Rosell, 2011). Ο εμπλουτισμός αυτός οδηγεί σε ένα προϊόν υψηλότερης διατροφικής αξίας το οποίο παρέχει στον καταναλωτή περισσότερα οφέλη τόσο για μια πιο ισορροπημένη διατροφή όσο και για την υγεία του. Παραδείγματα τέτοιων καινοτόμων προϊόντων είναι ο εμπλουτισμός αρτοσκευασμάτων με υψηλή περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες, αμινοξέα και βιοδραστικές ενώσεις τα οποία προέρχονται από αλεύρι ολικής αλέσεως ή ολόκληρους κόκκους δημητριακών ή ελαιούχων σπόρων (Miranda-Ramos et al., 2019). Επίσης, χαρακτηρίζονται ως λειτουργικά τρόφιμα λόγω των περιεχόμενων βιολογικών δραστικών ενώσεων οι οποίες σε καθορισμένες μη τοξικές ποσότητες παρέχουν αποδεδειγμένα κλινικό όφελος για την υγεία μειώνοντας τον κίνδυνο εμφάνισης διαφόρων ασθενειών (Frassinetti et al., 2018). Έτσι, η βιομηχανία τροφίμων έρχεται αντιμέτωπη με τις τρέχουσες προκλήσεις ώστε να καλύψει την προσδοκία των καταναλωτών που αναζητούν περισσότερα θρεπτικά τρόφιμα χωρίς πρόσθετα.

Μια εξαιρετική πηγή και φορέας θρεπτικών συστατικών είναι η κάνναβη. Συγκεκριμένα, "Cannabis sativa" σημαίνει χρήσιμη κάνναβη και είναι ίσως το πιο αμφιλεγόμενο φυτό παρά τις χιλιάδες χρήσεις και προϊόντα που έχει αρχίσει και προσφέρει (Attard et al., 2018). Οι πίτες ελαιόσπορου που παραμένουν μετά το λάδι ψυχρής έκθλιψης έχουν αναγνωριστεί ως μια από τις πιο πολύτιμες πηγές πρωτεϊνών. Επιπλέον, το γεγονός ότι περιέχουν πολλά λιπαρά οξέα και έχουν αντιοξειδωτικές ιδιότητες τους κάνει πολύτιμα συμπληρώματα διατροφής με θετικά οφέλη για την υγεία (Oreopoulou & Tzia, 2007; Parry et al., 2008). Ένα τέτοιο παραπροϊόν είναι και η ελαιόπιτα κάνναβης, η οποία προέρχεται από την αξιοποίηση προϊόντων κάνναβης που προκύπτει από την ψυχρή έκθλιψη των σπόρων κάνναβης και εξαγωγή του ελαίου. Στη συνέχεια η ελαιόπιτα κάνναβης διαχειρίζεται κατάλληλα δίνοντας τελικά το γνωστό πλέον αλεύρι κάνναβης. Το αλεύρι κάνναβης θεωρείται μία πλούσια πηγή πρωτεϊνών (περιέχει περίπου 20-25%) και η βιολογική του αξία είναι παρόμοια με το ασπράδι του αυγού. Αν και οι φυτικές

πρωτεΐνες δεν είναι τόσο εύπεπτες όσο οι ζωικές εντούτοις έρευνα έχει δείξει ότι η πρωτεΐνη των σπόρων κάνναβης είναι αρκετά αφομοιώσιμη (Apostol et al., 2015). Ακόμη, το αλεύρι κάνναβης έχει μικρή περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες και είναι πλούσιο σε διαιτητικές ίνες. Τα λιπαρά που περιέχει αποτελούνται κυρίως από πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA), ως επί το πλείστον  $\omega$ -6 και  $\omega$ -3 λιπαρά σε αναλογία 3:1. Είναι πλούσιο σε πολυφαινόλες καθώς και σε πολλά ανόργανα συστατικά -ανόργανες ουσίες, όπως χαλκός, ψευδάργυρος, φώσφορος, ασβέστιο, κάλιο, μαγνήσιο, μαγγάνιο, σίδηρο και βιταμίνη E, απαραίτητα για την εύρυθμη λειτουργία του σώματος (Frassinetti et al., 2018; Mikulec et al., 2019). Έρευνες που έχουν γίνει όσον αφορά σε παρασκευή αρτοσκευασμάτων με προσθήκη αλεύρου κάνναβης, κυρίως άρτου μιας και είναι μια βασική τροφή της πλειοψηφίας του πληθυσμού, έδειξαν ότι η προσθήκη αλεύρου κάνναβης μειώνει την συνολική ποσότητα της γλουτένης, η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στον σχηματισμό του πρωτεϊνικού πλέγματος και επομένως στον τελικό όγκο του προϊόντος. Ωστόσο, η σταθερότητα και η αντοχή του ζυμαριού σε μηχανική και θερμική καταπόνηση δεν επηρεάστηκε σημαντικά με υποκατάσταση 5% και 10% αλεύρου κάνναβης, σε αντίθεση με την υποκατάσταση 20% αλεύρου κάνναβης (Rojić et al., 2015). Ακόμη σχετικά με την απώλεια κατά τον κλιβανισμό (baking loss) δεν παρατηρήθηκε σημαντική μεταβολή κατά την προσθήκη αλεύρου κάνναβης. Όσον αφορά το χρώμα της ψίχας η μελέτη έδειξε μείωση στη φωτεινότητα καθώς το ποσοστό αλεύρου κάνναβης αυξήθηκε. Τέλος, με την προσθήκη αλεύρου κάνναβης αυξάνεται η διατροφική αξία του προϊόντος, λόγω αύξησης των πρωτεϊνών, των φυτικών ινών και των αντιοξειδωτικών ουσιών (Mikulec et al., 2019). Όμως, πέρα από την διατροφική αξία ενός αρτοσκευάσματος αυτό που ενδιαφέρει επίσης ένα καταναλωτή είναι η ποιότητα του προϊόντος που έρχεται στα χέρια του, δηλαδή το σύνολο εκείνων των χαρακτηριστικών του προϊόντος που καθορίζουν το βαθμό αποδοχής του καταναλωτή. Η ποιότητα είναι άμεσα συνυφασμένη με την παλαίωση του προϊόντος καθώς υποβαθμίζεται κατά τη διάρκειά της και αυτό οδηγεί στην μη αποδοχή του από τους καταναλωτές παρόλο που μπορεί να μην παρουσιάζουν κάποια μικροβιακή αλλοίωση. Πιο συγκεκριμένα, η παλαίωση των αρτοσκευασμάτων είναι ένα σύνθετο φαινόμενο στο οποίο λαμβάνουν χώρα πολλές αντιδράσεις, αλλαγές στο άμυλο και σε άλλα συστατικά τους. Αυτό το φαινόμενο έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια σημαντικών αισθητηριακών παραμέτρων του ψωμιού και γενικά των αρτοσκευασμάτων, όπως γεύση και υφή και είναι συνέπεια μιας ομάδας πολλών φυσικοχημικών αλλαγών που

συμβαίνουν κατά την αποθήκευση τους, οι οποίες οδηγούν κυρίως στην αύξηση της σκληρότητας της ψίχας, στο μαλάκωμα της κόρας και σε απώλεια της φρεσκάδας τους (Gray & Bemiller, 2003; Kulp & Ponte, 1981). Αυτό συνεπάγεται τεράστιες οικονομικές απώλειες για τις αρτοποιηχανίες για αυτό τον λόγο γίνονται συνεχώς έρευνες πάνω στην παλαίωση, έτσι ώστε να γίνει πιο κατανοητό το φαινόμενο και τελικά να αναπτυχθούν νέοι τρόποι επιβράδυνσης του για μια καλύτερη ποιότητα των αρτοσκευασμάτων και μειωμένη σπατάλη στις βιομηχανίες αρτοσκευασμάτων.

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η διερεύνηση της παλαίωσης αρτοσκευάσματος πλουσίου ζυμαριού εμπλουτισμένο με άλευρο κάνναβης ( τσουρέκι). Έτσι, στην παρούσα έρευνα θα μελετηθούν οι ιδιότητες που χαρακτηρίζουν την ποιότητα, συμπεριλαμβανομένων των δομικών, μηχανικών, φυσικοχημικών (ενεργότητα ύδατος, περιεκτικότητα υγρασίας), του χρώματος, καθώς επίσης και μορφολογικών χαρακτηριστικών του εμπλουτισμένου τσουρεκιού πως επηρεάζονται από τον χρόνο αποθήκευσης σε συνδυασμό με την προσθήκη αλεύρου κάνναβης. Η μελέτη των ιδιοτήτων αυτών θα γίνει σε τσουρέκι με υποκατάσταση αλεύρου κάνναβης 0%,10%, 30% και 50% αποθηκευμένο για 0,1,4,7,10,14 ημέρες στους 25°C. Επιπροσθέτως, θα γίνει μελέτη της μεταβολής της θερμοκρασίας υαλώδους μεταπτώσεως με θερμική ανάλυση με χρήση θερμιδόμετρου διαφορικής σάρωσης (DSC).



## 2 Θεωρητικό υπόβαθρο – Βιβλιογραφική ανασκόπηση

### 2.1 Κάνναβη

#### 2.1.1 Γενικά

Η κάνναβη (*Cannabis Sativa* L.) είναι ένα ποώδες ανεμόφιλο φυτό της οικογένειας των Cannabaceae, όμως έχει καθιερωθεί, η λέξη κάνναβη να αναφέρεται σε όλα τα φυτά του γένους της. Θεωρείται ένα από τα αρχαιότερα καλλιεργούμενα φυτά και εξαιτίας της μακρόχρονης καλλιέργειας του, έχει καταστεί δύσκολο να εντοπιστεί η ακριβής προέλευσή του (Farinon et al., 2020). Πολλοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι προέρχεται από την Ασία και εισήχθη στην Ευρώπη κατά την Εποχή του Χαλκού (22<sup>ος</sup> -16<sup>ος</sup> αιώνας π.Χ.) ως εξημερωμένο και καλλιεργημένο γεωργικό φυτό. Αυτό παρατηρήθηκε από μια σειρά μοριακών αναλύσεων και πολυγενετικών μελετών καθώς και εξαγωγής DNA που πραγματοποίησαν σε σύγχρονα και αρχαία βοτανικά δείγματα. Όμως, ανεξάρτητα από την προέλευσή της, η σημερινή εξημερωμένη μορφή της *C.Sativa* L. έχει διαδοθεί ευρέως και καλλιεργείται όχι μόνο σε χώρες της Ασίας αλλά επίσης στην Αφρική, την Ευρώπη, τις Ηνωμένες Πολιτείες και τον Καναδά (Farinon et al., 2020; Iftikhar et al., 2021). Είναι μια βιώσιμη καλλιέργεια, πολλαπλών χρήσεων, καθώς και χαμηλών περιβαλλοντικών επιπτώσεων η οποία μπορεί να είναι χρήσιμη για εφαρμογή σε πολλούς τομείς, από τη γεωργία και τη φυτοαποκατάσταση μέχρι τις βιομηχανίες τροφίμων και ζωοτροφών, καλλυντικών, οικοδομικών και φαρμακευτικών βιομηχανιών. Είναι γεγονός από αυτό το εξαιρετικά ευέλικτο φυτό είναι δυνατόν να ληφθούν διάφορα προϊόντα βιομηχανικού ενδιαφέροντος, όπως ίνες και ρινίσματα, σπόροι, αλεύρι και λάδι με σημαντικά θρεπτικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά (Farinon et al., 2020).

Υπάρχουν πάνω από 480 φυσικά συστατικά στο φυτό της κάνναβης. Τα πιο σημαντικά από αυτά είναι τα κανναβινοειδή. Έχουν απομονωθεί από το φυτό της κάνναβης τουλάχιστον 85 διαφορετικά κανναβινοειδή. Ένα από τα πιο ψυχοδραστικά κανναβινοειδή που περιέχει και είναι ευρέως γνωστό στον περισσότερο πληθυσμό είναι ηTHC ή δέλτα-9-τετραϋδροκανναβινόλη. Ένα ακόμα κανναβινοειδές είναι η κανναβιδιόλη ή CBD, η οποία είναι μη ψυχοδραστική ουσία σε σχέση με την THC. Η CBD έχει αντιψυχωτικές δράσεις, λειτουργεί δηλαδή ακριβώς με το αντίθετο τρόπο από την THC. Η THC έχει διεγερτικές,

αντιφλεγμονώδεις, αναλγητικές και αντιεμετικές ιδιότητες γεγονός που την καθιστά ένα πολλά υποσχόμενο φάρμακο για ιατρικές εφαρμογές.



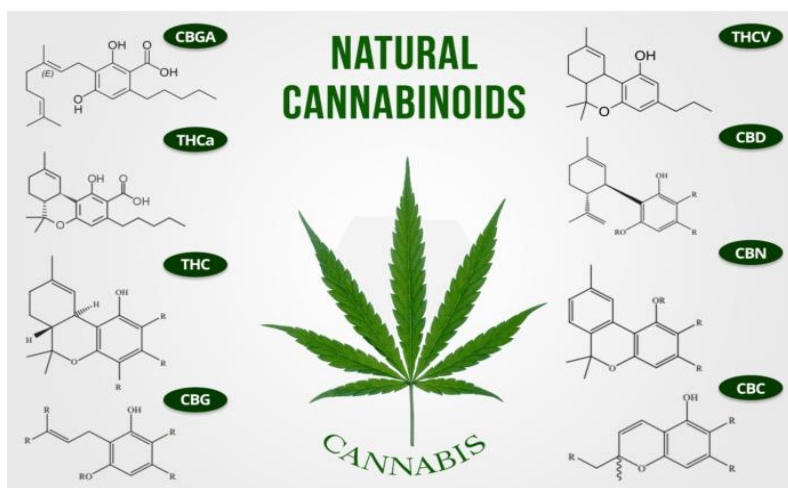
**ΕΙΚΟΝΑ 2.1:** Διαφορές στις ποικιλίες της κάνναβης Πηγή: <https://www.slant33.com/differences-between-indica-vs-sativa-marijuana/medical-marijuana-sativa-vs-indica/>

Πολλές έρευνες λένε ότι η CBD δρα επίσης για την ελάττωση των τοξικών επιδράσεων της THC, όπως προβλήματα μνήμης και παράνοια. Τρία κύρια είδη κάνναβης έχουν αναγνωρισθεί (sativa, indica, ruderalis). Οι δύο κύριες ενεργές χημικές ουσίες στην κάνναβη όπως έχει αναφερθεί είναι η THC και η CBD, η ισχύς των οποίων ποικίλει μεταξύ των στελεχών. Το στέλεχος sativa περιέχει την περισσότερη THC και τη λιγότερη CBD. Οι ευφορικές και ψυχότροπες επιδράσεις της κάνναβης οφείλονται στην THC. Έτσι, για βιομηχανικούς σκοπούς, δηλαδή για την παραγωγή ινών, σπόρων και παραγώγων τους καλλιεργούνται τα φυτά C.Sativa L. Αυτά τα φυτά είναι γνωστά ως «βιομηχανική κάνναβη» ή κάνναβη «τύπου ινών» και περιέχουν πολύ χαμηλό επίπεδο THC, δηλαδή <0,3 ή 0,2 %. Αντίθετα, τα φυτά C.Sativa L. που καλλιεργούνται για ναρκωτικούς ή ψυχαγωγικούς σκοπούς χαρακτηρίζονται από υψηλό επίπεδο THC και εκείνα που είναι για ιατρικούς σκοπούς χαρακτηρίζονται από υψηλά επίπεδα THC και υψηλά επίπεδα CBD. Εκτός από την THC και την CBD υπάρχουν και άλλες ενώσεις κανναβινοειδών που δίνουν τα αποτελέσματα της κάνναβης όπως:

- Η CBC που είναι και αυτή ένα μη ψυχοδραστικό κανναβινοειδές με πιθανά οφέλη για την υγεία και σε ιατρικές χρήσεις.
- Η CBG η οποία προέρχεται από την THC και την CBD και έχει ευρύτατα οφέλη για την υγεία, όμως όταν εκτεθεί στο ηλιακό φως σχηματίζεται σε THC ή CBD
- Η THCV, η οποία σε αρκετά υψηλές δόσεις είναι αρκετά ψυχότροπη, όμως τις περισσότερες φορές βρίσκεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις.

- Η CBN, η οποία παράγεται με την ηλικία της κάνναβης και συχνά υπάρχει σε χαμηλές συγκεντρώσεις κάτω του 1% στη μαριχουάνα. Επίσης είναι ελαφρώς ψυχοδραστική με ισχυρές αντιαγχωτικές και καταπραϋντικές ιδιότητες.
- Η THCA, η οποία δεν έχει ψυχοδραστικά αποτελέσματα στον οργανισμό εκτός αν μετατραπεί σε THC λόγω θερμότητας και δεν έχουν γίνει γνωστά τα οφέλη της για την υγεία.
- Η Delta-8-THC, η οποία είναι μια πιο ισχυρή έκδοση από την delta-9-THC παράγει ψυχοδραστικά αποτελέσματα αρκετά παρόμοια με αυτά της THC, αλλά είναι ασθενέστερη ανά χιλιοστογραμμάριο της ένωσης και βρίσκεται σε πολύ μικρές ποσότητες μέσα στο φυτό (Linchpinseo, 2019)

Η κάνναβη, εκτός από κανναβινοειδή, περιέχει και άλλα μόρια όπως τερπένια, αζωτούχες ενώσεις, σάκχαρα, αλδεΐδες, αλκοόλες, κετόνες, φλαβονοειδή, βιταμίνες κ.α. Συγκεκριμένα περιέχει πάνω από 100 τερπένια, τα οποία θεωρείται πως αλληλοεπιδρούν σε συνεργασία με τα κανναβινοειδή (τα συστατικά δηλαδή του φυτού της κάνναβης) και έτσι ενισχύουν τα οφέλη που έχει το φυτό στην υγεία μας. Μερικά από τα τερπένια είναι τα εξής: β καρυοφυλλένιο, βιταμίνη A, α πινένιο, λιμονένιο, μυρσένιο (Andre et al., 2016; Bearman D, 2018).



**ΕΙΚΟΝΑ 2.2:** Φυσικά κανναβινοειδή που υπάρχουν στο φυτό της κάνναβης Πηγή: <https://marijuanadeto.us/general/how-many-different-cannabinoids-are-there-in-marijuana/>

### 2.1.2 Οφέλη Κάνναβης- Θρεπτική αξία

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω η C.Sativa L. έχει προϊστορική χρήση από βιομηχανική πλευράς καθώς είναι σημαντική πηγή φυτικών ινών. Τις τελευταίες δεκαετίες όμως, το ενδιαφέρον στράφηκε γύρω από τον σπόρο της κάνναβης, το οποίο και έχει γίνει

ένα προϊόν με σημαντική και αυξανόμενη δυνητική αγορά. Αυτό οφείλεται στην αυξανόμενη αναγνώριση των διατροφικών του χαρακτηριστικών και των πλεονεκτημάτων του για την υγεία, γεγονός που έχει οδηγήσει έτσι σε αύξηση της παραγωγής κάνναβης (Farinon et al., 2020). Έχει υψηλή θρεπτική αξία, για αυτό και όλα τα μέρη του φυτού έχουν χρησιμοποιηθεί για τροφή, ζωοτροφές και θεραπευτικούς σκοπούς για μεγάλο χρονικό διάστημα. Από την αρχαιότητα μάλιστα, ο σπόρος κάνναβης έχει χρησιμοποιηθεί ως πηγή τροφής ιδιαίτερα στους ασιατικούς πολιτισμούς και είναι σημαντικός στο εμπόριο ως πηγή βρώσιμου ελαίου. Ο σπόρος κάνναβης θεωρείται πλέον μια από τις πιο πλήρεις διατροφικά πηγές τροφής λόγω των υψηλών θρεπτικών του χαρακτηριστικών. Μπορεί να καταναλωθεί είτε ως ολόκληρος αποφλοιωμένος σπόρος είτε ως αποφλοιωμένος πυρήνας της κάνναβης, όπως επίσης και τα προϊόντα επεξεργασίας του που είναι λάδι, αλεύρι και σκόνη πρωτεΐνης (Farinon et al., 2020)

Η βιολογική κάνναβη έχει την ιδιότητα να περιέχει πλήρη πρωτεΐνη, περιέχει δηλαδή όλα τα απαραίτητα αμινοξέα που χρειάζεται το σώμα, συμπεριλαμβανομένων και των 9 απαραίτητων αμινοξέων στις επιθυμητές μάλιστα αναλογίες. Επίσης, έχει υψηλή περιεκτικότητα σε γλουταμινικό οξύ και αργινίνη. Η πρωτεΐνη κάνναβης αποτελείται κυρίως από σφαιρίνη (εδεστίνη) και αλβουμίνη. Περιέχει περίπου 60-80% σφαιρίνη και το υπόλοιπο ποσοστό αντιπροσωπεύει την αλβουμίνη. Γενικά, οι πρωτεΐνες ζωικής προελεύσεως είναι πιο εύπεπτες από της φυτικής, αλλά η έρευνα δείχνει ότι οι πρωτεΐνες της κάνναβης είναι αφομοιώσιμες σε μεγάλο βαθμό (Q. Wang & Xiong, 2019). Συγκεκριμένα, αποτελείται 20-25% εύπεπτες πρωτεΐνες, 25-35% λιπίδια με τέλεια ισορροπημένη σύνθεση λιπαρών οξέων, 20-30% υδατάνθρακες εκ των οποίων ένα μεγάλο μέρος αποτελείται από αδιάλυτες διαιτητικές ίνες, περίπου 10-15%, καθώς επίσης βιταμίνες και μέταλλα. Χρησιμοποιείται σε διαφορετικά προϊόντα διατροφής, ζωοτροφές και καλλυντικά.

Το λίπος είναι από τα πιο σημαντικά συστατικά των σπόρων κάνναβης, ιδιαίτερα από βιομηχανικής απόψεως, δεδομένου ότι οι σπόροι κάνναβης είναι ελαιούχοι σπόροι, και έτσι το κύριο προϊόν διατροφής βιομηχανικού ενδιαφέροντος που λαμβάνεται από αυτούς είναι το λάδι. Για το λόγο αυτό, το λίπος της κάνναβης ονομάζεται συχνά λάδι. Για να εξαχθεί το λάδι καλής ποιότητας οι σπόροι υποβάλλονται σε ψυχρή πίεση. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το λάδι/ έλαιο κάνναβης είναι πλούσιο σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFAs), κυρίως ω-6 και ω-3 λιπαρά (α-Λινολενικό οξύ (ALA) και λινολεϊκό οξύ) σε

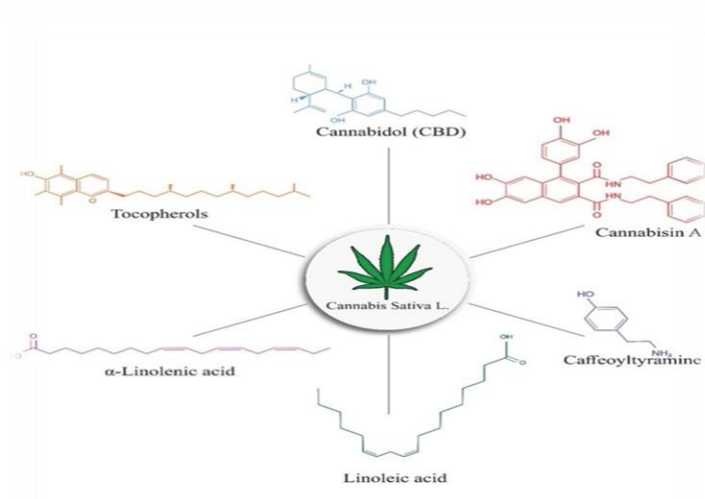
αναλογία 3:1 ενώ περιέχει χαμηλές ποσότητες κορεσμένων λιπαρών οξέων (SFAs) μόλις 10% του συνόλου. Υπάρχουν διάφορα οφέλη που αποδίδονται στα ω-3 λιπαρά οξέα, όπως αντικαρκινικές, αντιφλεγμονώδεις και αντιθρομβωτικές ιδιότητες, διέγερση γενικού μεταβολισμού και προώθηση της καύσης λίπους. Ανάλογα με τους γονότυπους και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, το έλαιο κάνναβης μπορεί να φτάσει να περιέχει έως και 90% ακόρεστα λιπαρά οξέα, από τα οποία το 70% μέχρι και πάνω από 80% να αποτελείται από PUFA. Πιο συγκεκριμένα έχει υψηλή περιεκτικότητα σε λινολεϊκό οξύ και α-λινολενικό οξύ, δύο λιπαρά οξέα γνωστά και ως βασικά λιπαρά οξέα (EFAs), τα οποία δεν συντίθενται στον οργανισμό για αυτό και πρέπει να αποκτούνται με τη διατροφή καθώς είναι απαραίτητα για την ανθρώπινη ζωή. Κλινικά πειράματα έχουν δείξει ότι η υποκατάσταση κορεσμένου λίπους με λινολεϊκό οξύ μειώνει την ολική και την LDL χοληστερόλη, υποδεικνύοντας ότι το ALA έχει καρδιοπροστατευτική δράση (Iftikhar et al., 2021). Επίσης, περιέχει ελαϊκό οξύ και στεαριδονικό οξύ. Επιπλέον, ο σπόρος κάνναβης περιέχει ισχυρά φυσικά αντιοξειδωτικά, όπως πολυφαινόλες, οι οποίες βοηθούν στη θεραπεία πολλών ασθενειών, όπως το άγχος, το οξειδωτικό στρες και τον κίνδυνο χρόνιων ασθενειών, όπως ο καρκίνος, οι νευρολογικές διαταραχές, τα πεπτικά προβλήματα και οι δερματικές παθήσεις. Ακόμη, περιέχει και άλλα βιοενεργά συστατικά, όπως βιοενεργά πεπτίδια, τοκοφερόλες, φαινολικές ενώσεις, καρροτενοειδή και φυτοστερόλες, η περιεκτικότητα των οποίων επηρεάζεται από τους περιβαλλοντικούς και αγρονομικούς παράγοντες.

Οι λειτουργικές ιδιότητες των σπόρων κάνναβης δεν σχετίζονται μόνο με την υψηλή διατροφική τους αξία που τους προσδίδει σημαντικά ευεργετικά χαρακτηριστικά για την ανθρώπινη υγεία, αλλά και με την παρουσία διαφορετικών βιοδραστικών ενώσεων, μεταξύ των οποίων είναι μοναδικές φαινολικές ενώσεις με αντιοξειδωτική, αντιφλεγμονώδη και νευροπροστατευτική δράση, καθώς και βιοενεργά πεπτίδια (Farinon et al., 2020; Iftikhar et al., 2021; Q. Wang & Xiong, 2019).

Οι βιοδραστικές ενώσεις, οι οποίες θα μπορούσαν να συμβάλλουν ευεργετικά στην υγεία και περιέχονται στην κάνναβη, έχουν ταυτοποιηθεί και είναι τα λιγναναμίδια. Αυτές οι ενώσεις έχουν ισχυρές αντιοξειδωτικές ιδιότητες και βοηθούν στην προστασία του σώματος. Ύστερα από έρευνα απομονώθηκαν 4 νέα λιγναναμίδια, όπως: κανναβισίνη M (2), κανναβισίνη N (5), κανναβισίνη O (8) και 3,3'-διμεθυλο-ηλιοτροπαμίδιο (10), τα οποία και αναγνωρίστηκαν για πρώτη φορά σε σπόρους κάνναβης (Yan et al., 2015). Ακόμη οι

σπόροι κάνναβης περιέχουν πολλά ανόργανα συστατικά όπως: χαλκό, ψευδάργυρο, φώσφορο, ασβέστιο, μαγνήσιο, σίδηρο, μαγγάνιο, κάλιο (Frassinetti et al., 2018; Hempika, 2021).

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται τα δομικά συστατικά του φυτού κάνναβης *C.Sativa* L.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.3:** Δομικά συστατικά της κάνναβης, συμπεριλαμβανομένων των thc, cbd, κανναβισίνης, καφεοϋλτυραμίνης, αλφα-λινολενικού οξέος, λινολεϊκού οξέος και τοκοφερολών

### 2.1.3 Εμπλουτισμός τροφίμων με σπόρους κάνναβης

Οι σπόροι κάνναβης καθώς και τα παράγωγά τους, έχουν αξιολογηθεί ως συστατικό που μπορούν να προστεθούν σε τρόφιμα που καταναλώνονται καθημερινά, ώστε να τα εμπλουτίσουν/ενισχύσουν διατροφικά αυξάνοντας τους την θρεπτική αξία. Τέτοια τρόφιμα είναι προϊόντα αρτοποιίας, όπως ψωμί, μπισκότα, κράκερ, ενεργειακές μπάρες αλλά και κρέας και προϊόντα κρέατος. Ο εμπλουτισμός του ψωμιού με σπόρους κάνναβης ή παραγώγων τους έχει αξιολογηθεί σύμφωνα με μελέτες που έγιναν όσον αφορά στην επίδραση που είχαν στα χαρακτηριστικά της δομής και της υφής του ψωμιού καθώς επίσης και στα θρεπτικά του χαρακτηριστικά. Από τεχνολογικής πλευράς, ένα μεγάλο ζήτημα που απασχολεί τη βιομηχανία αρτοποιίας για τη χρήση μη συμβατικών συστατικών για την ενίσχυση των προϊόντων αρτοποιίας είναι η δυσμενής επίδρασή τους στις ρεολογικές και αρτοποιητικές ιδιότητες του ζυμαριού, καθώς έχουν ως αποτέλεσμα την αραιώση των πρωτεϊνών γλουτένης σίτου. Συνεπώς, αυτό μπορεί να έχει αρνητική επίδραση στην ποιότητα του τελικού προϊόντος, όπως για παράδειγμα στον όγκο, στην

υφή, στις ιδιότητες ψίχας και κόρας και στο χρώμα που αυτό με τη σειρά του να οδηγήσει τελικά στη μείωση της αποδοχής του προϊόντος από το καταναλωτικό κοινό.

Μελέτες που έγιναν όσον αφορά τον εμπλουτισμό της ζύμης ψωμιού με αλεύρι κάνναβης, έδειξαν ότι η προσθήκη αλεύρου κάνναβης στο αλεύρι σίτου μείωσε σημαντικά την απορρόφηση του νερού του ζυμαριού, τη σταθερότητα, τη δύναμη και τη ζελατινοποίηση του αμύλου κατά τρόπο ανάλογο προς το ποσοστό αλεύρου κάνναβης που προστέθηκε ως αποτέλεσμα της αραίωσης της ποσότητας της γλουτένης στο ζυμάρι. Ο Rojić με τους συνεργάτες του όπως και ο Švec με τους συνεργάτες του, βρήκαν ότι η μείωση της απορρόφησης νερού του ζυμαριού είχε αρνητική επίδραση και στο χρόνο που απαιτείται για να αναπτυχθεί το ζυμάρι, όμως παρόλα αυτά, η σταθερότητα και η αντοχή του ζυμαριού δεν επηρεάστηκαν σημαντικά από την προσθήκη έως 10% ποσοστού αλεύρου κάνναβης. Στη συνέχεια, ο Rojić και η ομάδα του επισήμαναν ότι η αύξηση του ποσοστού αλεύρου κάνναβης έως 20% είχε αρνητική επίδραση τόσο στη σταθερότητα όσο και στην αντοχή του ζυμαριού. Έτσι, οι αλλαγές στις ρεολογικές ιδιότητες του ζυμαριού είχαν ως αποτέλεσμα την αρνητική επίδραση στην ποιότητα του ψωμιού. Ο Rojić και οι συνεργάτες του έδειξαν ότι ο όγκος του ψωμιού μειώθηκε σημαντικά καθώς αυξήθηκε το ποσοστό του αλεύρου κάνναβης. Αυτό επιβεβαιώθηκε και από τον Hrušková και τους συνεργάτες του και από τον Švec και τους συνεργάτες του ενώ από τον Mikulec και την ομάδα του μελετήθηκε ψωμί που περιέχει 15%, 30% ή 50% ποσοστό αλεύρου κάνναβης. Συνεπώς, σύμφωνα με τους προαναφερόμενους η μείωση του όγκου του ψωμιού μπορεί να οφείλεται είτε στην μερική αντικατάσταση του αλεύρου σίτου με ένα άλευρο μειωμένης περιεκτικότητας σε γλουτένη που αυτό αποτρέπει την έκταση της στο ζυμάρι είτε στην αυξημένη περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες που μειώνουν την ικανότητα συγκράτησης αερίων ζύμωσης με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός τελικού προϊόντος με μικρό όγκο. Ο Švec και οι συνεργάτες του, διαπίστωσαν ότι ο όγκος του ψωμιού που εμπλουτίστηκε με ολόκληρους σπόρους κάνναβης (δηλαδή αλεσμένους ολόκληρους σπόρους κάνναβης) ήταν υψηλότερος από εκείνους που ελήφθησαν για τα ψωμιά εμπλουτισμένα με άλλα απολιπανμένα προϊόντα κάνναβης. δηλ. αλεύρι κάνναβης ή συμπυκνώματα πρωτεΐνης κάνναβης. Αυτό το γεγονός έχει αποδοθεί στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ λιπιδίων και πρωτεϊνών και στην επίδραση του λίπους όσον αφορά την ενίσχυση της διόγκωσης του ζυμαριού κατά τη διόγκωση. Η προσθήκη αλεύρου κάνναβης στο αλεύρι σίτου άλλαξε επίσης τις φυσικές και ρεολογικές ιδιότητες της κόρας και της ψίχας του ψωμιού. Το

χρώμα και της ψίχας και της κόρας έγινε πιο σκούρο με την προσθήκη του αλεύρου κάνναβης. Σύμφωνα με τον Švec και τους συνεργάτες του το ποσοστό 5% αλεύρου κάνναβης έχει προσδώσει ένα ευχάριστο καφέ χρώμα το οποίο γινόταν πιο σκούρο με την αύξηση της ποσότητας του αλεύρου κάνναβης. Όσον αφορά της ιδιότητες της υφής της ψίχας του ψωμιού, διαπιστώθηκε από τον Rojić και την ομάδα του ότι η παρουσία αλεύρου κάνναβης ως συστατικό του μείγματος του ψωμιού μείωσε σε σημαντικό βαθμό τη συνεκτικότητα του ψωμιού ενώ αύξησε τη μασητικότητα και τη σκληρότητα της ψίχας. Επιπλέον και ο Mikulec με τους συνεργάτες του παρατήρησαν αύξηση στη σκληρότητα της ψίχας την ημέρα του ψησίματος του ψωμιού. Αυτό που αξίζει το ενδιαφέρον είναι ότι ο Rojić και η ομάδα του βρήκαν ότι η ποσότητα αλεύρου κάνναβης έως και 10% δεν επηρέασε ιδιαίτερα την ελαστικότητα και την ανθεκτικότητα της ψίχας ενώ με την αύξηση του ποσοστού σε 20% η ελαστικότητα της ψίχας επηρεάστηκε σημαντικά (Mikulec et al., 2019; Rojić et al., 2015; Švec & Hrušková, 2013, 2015).

## **2.2 Γλυκά αρτοσκευάσματα**

### **2.2.1 Εισαγωγή**

Πίσω από τα προϊόντα αρτοποιίας και ιδιαιτέρως του ψωμιού κρύβεται μια μεγάλη ιστορία ανάπτυξης. Υπάρχουν στοιχεία από αρχαιολογική ανακάλυψη που δείχνουν ότι η αρτοποιία έχει ξεκινήσει πριν από 23000 χρόνια, στην παλαιολιθική εποχή. Το λευκό ψωμί είναι κοινό σε όλους από τις αρχές του 1900. Σήμερα, τα προϊόντα αρτοποιίας αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι της ισορροπημένης διατροφής, τα οποία ποικίλλουν σε πολυπλοκότητα, αποτελούμενα από απλά συστατικά ενός απλού ζυμαριού μέχρι πολυάριθμα συστατικά που μπορεί να συνθέτουν ένα κέικ ή ένα τσουρέκι (Zhou et al., 2014). Σε αυτά συγκαταλέγονται ο άρτος (ψωμί), τα κουλούρια, τα ψωμάκια με γλυκιά γεύση, τα μαφινς/κέικ, οι τηγανίτες, οι βιάφλες, τα μπισκότα, η πίτσα, η πίτα, τα γεμιστά προϊόντα όπως πίτες φρούτων και κρέατος, τα κέικ κρέμας κ.α. Τα γλυκά αρτοσκευάσματα έχουν γλυκιά γεύση, καθώς παρασκευάζονται μετά από τυποποίηση με υψηλή περιεκτικότητα σε ζάχαρη. Συνεπώς, η γλυκύτητα αυτών των προϊόντων είναι συχνά λόγω της σακχαρόζης. Τα συστατικά των γλυκών αρτοσκευασμάτων περιλαμβάνουν άλευρο, αυγά, λίπος, άλας, αποβουτυρωμένο ξηρό γάλα, ζύμη, παράγοντες διογκώσεως, πρόσθετα, νερό καθώς και διάφορα άλλα συστατικά εμπλουτισμού. Τα περισσότερα



γλυκά προϊόντα παρασκευάζονται με λευκό άλευρο παρά με ολικής αλέσεως για την αποφυγή μειωμένου όγκου (Λάζος Ε. & Λάζου Α., 2016).

### **2.2.2 Γλυκά αρτοσκευάσματα πλούσιου ζυμαριού**

Αν και δεν υπάρχει ακριβής διαχωρισμός μεταξύ πλούσιου και φτωχού ζυμαριού, ωστόσο θεωρείται ότι τα πλούσια ζυμάρια είναι αυτά που περιέχουν υψηλότερα ποσοστά λίπους, ζαχάρους και αυγών. Σε αυτήν την κατηγορία προϊόντων ανήκουν τα τσουρέκια, τα μπριός, τα γλυκά κουλούρια ή γλυκά αναδιπλωμένα ρολό, τα panettone, οι άγλυκοι άρτοι και τα αρτίδια, όπως επίσης, τα κέικ καφέ και πολλά κουλούρια.

Εξαιτίας της συνθέσεως τους, τα περισσότερα ζυμάρια αυτής της κατηγορίας αναμειγνύονται με τη μέθοδο της προζύμης και ζυμαριού έτσι ώστε το μεγαλύτερο μέρος της ζύμωσης να πραγματοποιηθεί πριν την προσθήκη της ζάχαρης και του λίπους. Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας λίπους και αυγών τα πλούσια ζυμάρια είναι πολύ μαλακά και για να αντισταθμισθεί η μαλακότητα τους μειώνεται η ποσότητα των υγρών. Επειδή τα υψηλά επίπεδα ζάχαρης και λίπους εμποδίζουν την ανάπτυξη της γλουτένης, τα γλυκά πλούσια ζυμάρια είναι προτιμότερο να αναμειγνύονται με την χρήση της τεχνικής της εντόνου ή εντατικής αναμίξεως ώστε να παραχθεί η δύναμη της γλουτένης. Τέλος, τα πλούσια ζυμάρια, επειδή είναι πολύ μαλακά, γενικά δεν ζυμώνονται πολλή ώρα και υπόκεινται σε στόφιασμα για μικρότερο χρονικό διάστημα. Ένα επαρκές στόφιασμα είναι της τάξης των τριών τετάρτων, καθώς τα ζυμάρια που μένουν στη στόφα για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα καταρρέουν κατά τον κλιβανισμό (Λάζος Ε. & Λάζου Α., 2016).

### **2.2.3 Τσουρέκι**

Το τσουρέκι είναι ένα ελληνικό παραδοσιακό προϊόν πλουσίου ζυμαριού το οποίο είναι αρκετά γνωστό τις μέρες του Πάσχα. Ανήκει στα γλυκά αρτοσκευάσματα και χαρακτηρίζεται από πλούσιο άρωμα, τρυφερή, ινώδη υφή και γλυκιά γεύση. Στο τσουρέκι προστίθενται επίσης αρωματικές ύλες, ώστε να προσδώσουν την χαρακτηριστική οσμή και γεύση. Η ποιότητα του τελικού προϊόντος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η σωστή αναλογία των υλικών που προστίθενται, καθώς και η τήρηση των συνθηκών (θερμοκρασία, χρόνος) ανάμιξης, ωρίμανσης (στόφιασμα) και κλιβανισμού. Επίσης, μπορεί να χαρακτηριστεί και ως γλυκός άρτος αν και διαφέρει αρκετά από τους διεθνώς αναφερόμενους άρτους. Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι το τσουρέκι μοιάζει και με μπριός

αν και είναι πλουσιότερο σε ζάχαρη και λίπος, όπως και πλούσιο σε μυρωδικά τα οποία του προσδίδουν το χαρακτηριστικό άρωμα. Το τσουρέκι παρασκευάζεται δύσκολα διότι οι μεγάλες ποσότητες ζάχαρης και λίπους επηρεάζουν τη ζύμωση του.

Για την παρασκευή του απαιτείται δυνατό άλευρο υψηλό σε περιεκτικότητα πρωτεΐνης(13%). Επίσης, τα υλικά και το ζυμάρι για να αναμειχτούν είναι σημαντικό να βρίσκονται σε θερμοκρασία 30-35°C. Η παρασκευή της προζύμης γίνεται με το 1/3 του αλεύρου και στη συνέχεια αφήνεται να αναπτυχθεί στους 30-35°C για 30-40 λεπτά. Κατόπιν γίνεται ανάμειξη των αυγών με τη ζάχαρη και το υπόλοιπο αλεύρι, μετά προστίθεται η προζύμη και στο τέλος προστίθεται σταδιακά το λίπος ώστε να απορροφάται χωρίς να διακόπτεται το πλέγμα της γλουτένης. Αυτό συμβαίνει για να έχει το τελικό προϊόν υφή «φύλλων» ή «σχοινιών» ώστε να μην θυμίζει κέικ. Έτσι για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει το ζύμωμα να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει η δράση της αναδιπλώσεως του ζυμαριού. Μόλις ολοκληρωθεί το ζύμωμα ανάλογα την συνταγή που ακολουθείται, το ζυμάρι αφήνεται για ανάπαυση στους 30-35°C. Υπάρχουν διάφοροι συνδυασμοί χρόνου-θερμοκρασίας κλιβανισμού, οπότε δεν υπάρχει ένας κατάλληλος καθώς εξαρτώνται από το μέγεθος ζυμαριού- προϊόντος (Λάζος Ε. & Λάζου Α., 2016).



**ΕΙΚΟΝΑ 2.4:** Απεικόνιση παραδοσιακού τσουρεκιού Πηγή:

<https://www.thessalonikitourism.gr/index.php/en/component/k2/item/473-tsoureki>

## 2.2.4 Συστατικά τσουρεκιού και λειτουργικές τους ιδιότητες

### 2.2.4.1 Αλεύρι

Το αλεύρι αποτελεί το απαραίτητο και κοινό συστατικό όλων των προϊόντων της αρτοποιίας, καθώς διαμορφώνει τη δομή, την υφή και το άρωμα του τελικού προϊόντος. Από όλα τα άλευρα που προέρχονται από δημητριακά μόνο το αλεύρι σίτου μπορεί να σχηματίσει ένα συνεκτικό ζυμάρι με ιξωδοελαστικές ιδιότητες όταν αναμειχθεί με νερό, λόγω του ότι οι πρωτεΐνες έχουν την ικανότητα να αναπτύσσουν το δίκτυο της γλουτένης. Η γλουτένη ως η κύρια αποθηκευτική πρωτεΐνη του αλεύρου προσδίδει στο ζυμάρι συνεκτικότητα και ελαστικότητα (Κεφαλάς Π.Σ, 2009). Ακόμη, το αλεύρι σίτου έχει την ικανότητα να συγκρατεί αέρια εξαιτίας του αργού ρυθμού διάχυσης αερίων στο ζυμάρι και να πήζει στο φούρνο κατά τη διάρκεια του ψησίματος, με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός άκαμπτου καρβελιού ψωμί (Hoseney & Rogers, 1990). Αν και καλλιεργούνται πάρα πολλές ποικιλίες σίτου, μόνο τρεις έχουν εμπορική σημασία και χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων: το μαλακό κοινό σιτάρι *Triticum aestivum*, το σκληρό σιτάρι *Triticum durum* που είναι και διεθνώς γνωστό ως «durum» και το είδος *Triticum compactum*, το οποίο χρησιμοποιείται για ορισμένα μόνο παρασκευάσματα για τα οποία απαιτείται πολύ χαμηλό ποσοστό πρωτεΐνης και αδύνατη γλουτένη (Κεφαλάς Π.Σ, 2009). Η αρτοποιητική αξία του αλεύρου μπορεί να αξιολογηθεί σύμφωνα από δυο παράγοντες:

- ✓ Την αρτοποιητική ικανότητα του αλεύρου που εξαρτάται κατά ένα μεγάλο μέρος από την ποσότητα και την ποιότητα των περιεχόμενων πρωτεϊνών του και της γλουτένης (Caballero et al., 2007)
- ✓ Τις ζυμωτικές ικανότητες του ζυμαριού εξαρτώμενες κυρίως από την διαστατική δύναμη και την περιεκτικότητα του ζυμαριού σε σάκχαρα (Παπαεμμανουήλ Δ., 2006).

Ο άρτος και τα τσουρέκια είναι αρτοσκευάσματα που διογκώνονται με τη χρήση μαγιάς και συνήθως για την παρασκευή τους χρησιμοποιείται άλευρο από σκληρό σίτο με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (13%). Ακόμη, υπάρχουν και άλευρα από μαλακά σιτάρια που είναι υψηλής ποιότητας τα οποία είναι ενισχυμένα με πρωτεΐνες ή έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε γλουτένη, όπως είναι το αλεύρι Super Αμερικής και μπορούν και αυτά να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή προϊόντων αρτοποιίας πλουσίου ζυμαριού που διογκώνονται με την χρήση μαγιάς.

Το άλευρο από πλευράς σύστασης αποτελείται από υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια που είναι τα πιο σημαντικά συστατικά, αλλά και από βιταμίνες, ανόργανα συστατικά, ένζυμα και υγρασία (Δημόπουλος Ι.Σ, 1987).

- ❖ Υδατάνθρακες: Το άμυλο καταλαμβάνει τα μεγαλύτερο ποσοστό (70%) ανάμεσα στους υδατάνθρακες, καθώς και διάφορα διαλυτά σάκχαρα, κυτταρίνη και πεντοζάνες. Γενικά δεν παίζουν σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του αλεύρου, επηρεάζουν όμως το σχηματισμό της κόρας του ψωμιού, τη διόγκωση, την απορρόφηση-δέσμευση του νερού καθώς επίσης και την παλαίωση (σκλήρυνση) του ψωμιού λόγω της επανατακτοποίησης του αμύλου.

Το άμυλο είναι το κύριο σάκχαρο του σταριού άρα και του αλεύρου και έχει τη μορφή αμυλοκκόκων, όπου η δομή τους είναι σφαιροκρυσταλλική. Αποτελείται από πολυμερή αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης σε αναλογία 1:3, όπου η αμυλόζη βρίσκεται στο εσωτερικό των κόκκων, ενώ η αμυλοπηκτίνη στα εξωτερικά τοιχώματα. Το άμυλο σίτου βοηθάει στον προσδιορισμό της τελικής όψης, της δομής και της ποιότητας των αρτοσκευασμάτων και οι κύριες χρήσεις του στην βιομηχανία τροφίμων σχετίζονται με την ζελατινοποίηση και την επανατακτοποίηση. Η ζελατινοποίηση του αμύλου είναι η διαδικασία κατά την οποία, όταν ένα υδατικό αιώρημα αμυλοκκόκων που είναι αδιάλυτοι στο νερό, θερμανθεί πάνω από μια συγκεκριμένη θερμοκρασία (θερμοκρασία ζελατινοποίησης), τότε απορροφούν νερό, διογκώνονται και στη συνέχεια τα άπειρα μόρια αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης που περιέχονται στον κάθε αμυλόκοκκο διασκορπίζονται στο νερό. Το φαινόμενο αυτό αρχίζει γύρω στους 50°C και τελειώνει γύρω στους 85°C. Η θερμοκρασία ζελατινοποίησης σχετίζεται άμεσα με το pH, το ρυθμό θέρμανσης και την παρουσία σακχάρων και λιπιδίων (Δημόπουλος Ι.Σ., 1987, (Zhou et al., 2014)

- ❖ Πρωτεΐνες: Το πρωτεϊνικό περιεχόμενο ενός αλεύρου είναι αυτό που επηρεάζει πιο πολύ τις αρτοποιητικές του ικανότητες. Οι πρωτεΐνες ταξινομούνται με βάση τη διαλυτότητα, σε τέσσερις κύριους τύπους: τις αλβουμίνες (διαλυτές στο νερό), τις γλοβουλίνες ή σφαιρίνες (αδιάλυτες στο νερό αλλά διαλυτές σε αραιωμένο άλας, τις γλοιαδίνες (διαλυτές σε υδατικές αλκοόλες) και τις γλουτελίνες (αδιάλυτες σε υδατικές αλκοόλες). Το μεγαλύτερο μέρος της πρωτεΐνης του ενδοσπερμίου (80%) είναι γλοιαδίνες και γλουτελίνες. Οι παραπάνω πρωτεΐνες

- ❖ όταν αναμειγνύονται με νερό σχηματίζουν ένα ελαστικό δίκτυο, την γνωστή γλουτένη. Η γλουτένη όντας αδιάλυτη στο νερό, μπορεί να διαχωριστεί από το άμυλο και έχει την ικανότητα να απορροφά νερό τουλάχιστον στο διπλάσιο του βάρους της και να διογκώνεται, δημιουργώντας έτσι το πλέγμα-ιστό των ζυμαριών. Έτσι, το ζυμάρι που σχηματίζεται αποκτά κατάλληλες ιδιότητες για την αρτοποιία λόγω των ασυνήθιστων ιδιοτήτων των πρωτεϊνών γλουτένης, οι οποίες επιπλέον καθορίζουν και τις ρεολογικές ιδιότητες του ζυμαριού γεγονός που συμβάλλει στις ιδιότητες συγκράτησης αερίου της ζύμης (Kumar et al., 2021). Αυτές οι ιδιότητες συγκράτησης αερίου με τη σειρά τους καθορίζουν τον όγκο του αρτοσκευάσματος και τη δομή της ψίχας. Η ποιότητα των αρτοσκευασμάτων επηρεάζεται από την ποσότητα και την ποιότητα του κλάσματος της γλουτένης, καθώς η γλουτένη αυξάνει την ελαστικότητα στη ζύμη γεγονός που βοηθάει στην αύξηση και διατήρηση του σχήματος του αρτοσκευάσματος, δίνοντας έτσι στο τελικό προϊόν μια σύσταση «λαστιχωτή» (Abang Zaidel et al., 2008).
- ❖ Λιπίδια: Τα λιπίδια αν και είναι δευτερεύοντα συστατικά του αλεύρου σίτου καθώς καταλαμβάνουν ένα μικρό ποσοστό (περίπου 2-2,5% ξηρό βάρος), θεωρείται ότι έχουν σημαντικές επιπτώσεις στη λειτουργικότητα του αλευριού και του ζυμαριού, αφού αλληλεπιδρούν είτε με τις πρωτεΐνες γλουτένης είτε είναι δεσμευμένα με το άμυλο, πράγμα που σταθεροποιεί τα αέρια μέσα στο ζυμάρι κατά την παρασκευή ψωμιού (Pareyt et al., 2011). Τα λιπίδια του αλεύρου ταξινομούνται σε λιπίδια του αμύλου και σε μη-αμυλούχα λιπίδια. Τα μη-αμυλούχα λιπίδια αποτελούν το 2/3 όλων των λιπιδίων και ταξινομούνται αντίστοιχα σε ελεύθερα και δεσμευμένα. Ανάλογα με τη συμπεριφορά πρόσδεσής τους κατά την ανάμιξη του ζυμαριού χωρίζονται σε μη πολικά, πολύ πολικά και ενδιάμεσης πολικότητας. Το αλεύρι σίτου περιέχει πολικά λιπίδια όπως, φωσφολιπίδια, γλυκολιπίδια, γαλακτολιπίδια, κ.α. Σύμφωνα με τον Chung O.K et al., 1982, τα φωσφολιπίδια και τα γλυκολιπίδια μπορεί να προάγουν το σχηματισμό συμπλόκων πρωτεΐνης-λιπιδίου κατά την παρασκευή του ζυμαριού, μέσω δεσμών υδρογόνου και υδρόφοβων αλληλεπιδράσεων με τα μόρια γλοιαδίνης και γλουτενίνης. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές οδηγούν σε αύξηση της αντοχής του ζυμαριού (όπως μετράται με το χρόνο ανάμειξης) και της ικανότητα συγκράτησης αερίου, συνεπώς σε μεγαλύτερο όγκο ψωμιού και καλύτερη δομή της ψίχας. Έτσι, τα πολικά λιπίδια επιφέρουν θετικές

επιδράσεις σε σχέση με τα μη πολικά λιπίδια που έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο αρτοσκεύασμα (Chung O.K et al., 1982).

#### **2.2.4.2 Ζάχαρη**

Τα γλυκαντικά είναι ένα σημαντικό συστατικό για τα αρτοσκευάσματα, καθώς εκτός του ότι τους προσδίδουν τη γλυκιά γεύση, επηρεάζουν στη ζύμωση αυτών, όπως επίσης το χρώμα, την υφή, τη δομή, τη γεύση και την εμφάνιση των τελικών προϊόντων. Συγκεκριμένα, τα σάκχαρα είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη του ζυμαριού, βοηθούν στο χρώμα της κόρας, ενισχύουν την εμφάνιση και την υφή, παρέχουν όγκο και παρατείνουν τη διάρκεια ζωής του άρτου. Υπάρχουν διάφορα είδη γλυκαντικών τα οποία επιλέγονται ανάλογα με τις ιδιότητες που προσδίδουν στα ζυμάρια, το βαθμό γλυκύτητας ή την επιθυμητή εμφάνιση και υφή των προϊόντων αρτοποιίας (Zhou et al., 2014). Η σακχαρόζη είναι το πιο κοινό γλυκαντικό στα αρτοσκευάσματα και εκτός από όγκο, παρέχει καθαρή γλυκύτητα χωρίς αρώματα (Nir WK, 2006). Η επίδραση των γλυκαντικών στα τρόφιμα προκύπτει από το συνδυασμό των φυσικών και φυσικοχημικών ιδιοτήτων τους καθώς και της χημικής τους σύνθεσης. Από χημικής πλευράς, τα θρεπτικά γλυκαντικά μπορεί να είναι μόνο- ή δισακχαρίτες ή σύνθετοι υδατάνθρακες όπως ολιγοσακχαρίτες ή δεξτρίνες. Από φυσικής πλευράς μπορούν να είναι στερεά ή υγρά. Τα αρτοσκευάσματα όπως είναι ο άρτος και το τσουρέκι, είναι διογκωμένα προϊόντα που παρασκευάζονται από τη ζύμωση των σακχάρων του αλεύρου σίτου ή των προστιθέμενων σακχάρων. Εξαιτίας της ζύμωσης, τα σάκχαρα μετατρέπονται σε υγρασία, CO<sub>2</sub> και αιθανόλη. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας, οι υδρατμοί και το CO<sub>2</sub> διογκώνονται και δρουν ως μονωτικοί παράγοντες με αποτέλεσμα να αποτρέπεται ο υψηλός ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας του άρτου και η πιθανότητα υπερβολικής εξάτμισης υγρασίας.

Μελέτες έχουν δείξει ότι ο τύπος των σακχάρων και ο λόγος του μείγματος σακχάρου / πρωτεΐνης είναι δύο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη σταθερότητα των πρωτεϊνών. Έχει εξακριβωθεί ότι η αύξηση των περιεχόμενων σακχάρων και συγκεκριμένα της σακχαρόζης έως ένα ορισμένο επίπεδο μπορεί να αυξήσει τη συντηρητική δράση. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τρόφιμα που διατηρούνται σε θερμοκρασία δωματίου για μεγάλο χρονικό διάστημα. Από την άλλη η υπερβολική προσθήκη σακχαρόζης έχει αρνητική επίδραση καθώς οδηγεί σε μειωμένη σταθερότητα πρωτεϊνών. Κατά τη διαδικασία της ανάμειξης, η σακχαρόζη συνδέει το νερό και ανταγωνίζεται τις πρωτεΐνες του αλεύρου σίτου για το νερό, εμποδίζοντας έτσι την πλήρη ενυδάτωση της γλουτένης

και καθυστερώντας την ανάπτυξή της. Αυξάνοντας το επίπεδο σακχάρου σε ένα ζυμάρι από αλεύρι σίτου, το διαθέσιμο νερό για την ενυδάτωση της γλουτένης είναι λιγότερο και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απαίτηση μεγαλύτερου χρόνου ανάμειξης ώστε να αναπτυχθεί το δίκτυο της γλουτένης (Mariotti & Alamprese, 2012). Με τη σωστή αναλογία ζάχαρης στη συνταγή και το σωστό χρόνο ανάμειξης, η γλουτένη φτάνει σε σημείο που διατηρεί τη βέλτιστη ελαστικότητά της, επιτρέποντας έτσι στα αέρια που παράγονται κατά τη διόγκωση του ζυμαριού να μπορούν να συγκρατηθούν μέσα σε αυτό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το τελικό ψημένο προϊόν να έχει καλό όγκο και καλή υφή της ψίχας. Κατά τη διάρκεια του ψησίματος η ζάχαρη μαλακώνει το πλέγμα απορροφώντας υγρά με αποτέλεσμα την καθυστέρηση της ζελατινοποίησης του αμύλου. Επίσης, η σακχαρόζη έχει την ικανότητα να ρυθμίζει τη ζελατινοποίηση του αμύλου σε υψηλότερες θερμοκρασίες περιορίζοντας τη διαθεσιμότητα νερού και συνεπώς μειώνοντας την ενεργότητα νερού και αλληλεπιδρώντας με το άμυλο σχηματίζει γέφυρες μεταξύ των αλυσίδων του αμύλου. Όταν καθυστερεί η ζελατινοποίηση του αμύλου σε υψηλότερες θερμοκρασίες, επιτρέπεται επομένως η ανάπτυξη των φυσαλίδων αέρα και συνεπώς η ανάπτυξη μιας περισσότερο πορώδους δομής του τελικού προϊόντος (Psimouli & Oreopoulou, 2012). Το χρώμα των αρτοσκευασμάτων που σχηματίζεται κατά τη διάρκεια του ψησίματος είναι ευρέως γνωστό ως «μαύρισμα». Έτσι, το καφέ χρώμα που αποκτούν είναι αποτέλεσμα μη ενζυμικών χημικών αντιδράσεων που παράγουν έγχρωμες ενώσεις κατά τη διάρκεια του ψησίματος. Τέτοιες αντιδράσεις που είναι και υπεύθυνες και για το άρωμα των ψημένων αυτών προϊόντων, είναι η αντίδραση Maillard και η καραμελοποίηση (Purulis, 2010). Η αντίδραση Maillard συμβαίνει όταν μειώνονται τα σάκχαρα και τα αμινοξέα, οι πρωτεΐνες και άλλες περιεχόμενες αζωτούχες ενώσεις θερμαίνονται μαζί (Fennema, 1996). Καθώς η σακχαρόζη αναστρέφεται σε γλυκόζη και φρουκτόζη, τα δυο αναγωγικά σάκχαρα αντιδρούν με τα αμινοξέα μέσω της αντίδρασης Maillard προς παραγωγή μαύρων και αρωματικών ενώσεων που είναι σημαντικές για τα ψημένα προϊόντα (Davies A.P, 1986). Στην καραμελοποίηση, όπου η σακχαρόζη καραμελώνει όταν θερμαίνεται πάνω από το σημείο που λιώνει προσθέτει γεύση και οδηγεί σε ροδισμό της επιφάνειας βελτιώνοντας έτσι τη διατήρηση της υγρασίας στα ψημένα προϊόντα. Πέρα από τη μεγάλη επίδραση που έχει αυτό το φαινόμενο στην αρχική αποδοχή των προϊόντων από τους καταναλωτές, το «μαύρισμα» είναι υπεύθυνο και για άλλες σχετικές αλλαγές που συμβαίνουν στα τρόφιμα κατά το ψήσιμο, όπως είναι η παραγωγή γευστικών και αρωματικών ενώσεων, αλλά και ο

σηματισμός τοξικών προϊόντων (ακρυλαμίδιο), καθώς και η μειωμένη θρεπτική αξία των πρωτεϊνών (Purlis, 2010).

### **2.2.4.3 Λιπαρά**

Ο πρωταρχικός ρόλος των λιπαρών στα τρόφιμα είναι να τους προσδίδουν αισθητηριακά χαρακτηριστικά όπως κρεμώδη υφή, την αίσθηση στο στόμα (mouthfeel), δυνατότητα επάλειψης, συνεκτικότητα και δομή. Τα προϊόντα αρτοποιίας εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία στην περιεκτικότητα των λιπαρών. Ο άρτος ανήκει σε αυτά που έχουν χαμηλή περιεκτικότητα λιπαρών ενώ το τσουρέκι, κέικ, ντόνατς και άλλα προϊόντα πλούσιου ζυμαριού ανήκουν σε αυτά που περιέχουν μεγάλες ποσότητες λιπαρών. Τα λιπαρά και τα έλαια τροφίμων είναι είτε φυτικής είτε ζωικής προέλευσης. Τα λίπη και έλαια στα προϊόντα αρτοποιίας έχουν την ικανότητα να ενσωματώνουν τον αέρα κατά την ανάμιξη του ζυμαριού που οδηγεί σε καλύτερο ζύωμα των προϊόντων (αερισμός ζυμαριού), να λειτουργούν ως λιπαντικά τόσο στην αποφυγή του κολλήματος του ζυμαριού στην επιφάνεια της φόρμας, όσο και στην λίπανση της γλουτένης. Ακόμη, ο ρόλος και η σημασία των λιπαρών ουσιών που χρησιμοποιούνται ποικίλλει ανάλογα με το ποσοστό προσθήκης τους όπως επίσης και με τον τύπο του προϊόντος (τσουρέκι, άρτος, κέικ). Για παράδειγμα, όταν χρησιμοποιείται σε ψωμί, το λίπος μαλακώνει την ψίχα και επιβραδύνει την παλαίωση του, αποδίδοντας έτσι προϊόντα που παραμένουν πιο μαλακά μετά από αρκετές ημέρες αποθήκευσης σε σύγκριση με ψωμιά χωρίς λιπαρά. Όπως έχει αναφερθεί, ο όγκος του ψωμιού αυξάνεται με αύξηση της συγκέντρωσης του λίπους έως 5% (με βάση το αλεύρι) ενώ η προσθήκη λίπους σε ορισμένα κατεψυγμένα ζυμάρια σύμφωνα με αναφορές, παρατείνουν τη διάρκεια ζωής τους σε σύγκριση με δείγματα ελέγχου. Στην παρασκευή αρτοσκευασμάτων χρησιμοποιούνται 4 τύποι λιπαρών: το βούτυρο, η μαργαρίνη, γαλακτωματοποιημένα λίπη (shortening) και φυτικά έλαια, όπως σογιέλαιο, φοινικέλαιο, καλαμποκέλαιο κ.α. Τα λίπη και τα έλαια συμβάλλουν στο άρωμα και την εμφάνιση του τελικού προϊόντος, σχηματίζοντας λαμπερές επιφάνειες και ομοιόμορφη δομή της ψίχας, ενώ παρατείνουν τον χρόνο παλαίωσης όπως αναφέρθηκε και παραπάνω (Hutkins, 2006.; Lai H.M & Lin T.C, 2006; Oreopoulou V., 2006; Smith & Johansson, 2004).



#### **2.2.4.4 Νερό**

Ο ρόλος του νερού στην επιστήμη της αρτοποιίας είναι ίσως υποτιμημένος ή παραμελημένος από τους περισσότερους από εμάς. Εντούτοις, η σημασία του νερού ως απαραίτητο συστατικό για τον κλιβανισμό είναι μεγάλη δεδομένου ότι όλοι οι μεγάλοι αρτοποιοί γνωρίζουν πόσο σημαντικό είναι στην τέχνη και στην επιστήμη τους. Έτσι, η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται για το σχηματισμό του ζυμαριού έχει πολύ μεγάλη σημασία καθώς ελέγχει την ποιότητα, την υφή, τον όγκο, τη γεύση, τη μυρωδιά ακόμα και την αίσθηση στο στόμα (mouthfeel) των προϊόντων αρτοποιίας (Cauvain SP & Young LS, 2000). Όταν χρησιμοποιείται μικρή ποσότητα νερού, δεν επιτυγχάνεται στον κλιβανισμό η αναγκαία μετατροπή του αμύλου σε ζελατίνα με αποτέλεσμα η ψίχα να ξηραίνεται εύκολα και να παλαιώνει γρηγορότερα. Όταν όμως χρησιμοποιηθεί περισσότερο νερό από όσο πρέπει, δεν δεσμεύεται όλο από το άμυλο κατά τη ζελατινοποίηση και έτσι παραμένει ένα μέρος ελεύθερο. Αυτό το ελεύθερο νερό κάνει την ψίχα υγρή και κολλώδη (Hui Y.H, 2006). Σε ένα αρτοσκεύασμα, όλα τα συστατικά αλληλεπιδρούν μεταξύ τους σε μοριακό αλλά και ατομικό επίπεδο για να δώσουν την τελική υφή, γεύση, άρωμα και την αίσθηση στο στόμα. Το νερό είναι μια πολική ουσία η οποία αλληλεπιδρά έντονα με άλλα πολικά συστατικά. Βοηθάει στην ενυδάτωση των πρωτεϊνών και του αμύλου, στη διάλυση των σακχάρων και των αλάτων και ρυθμίζει την θερμοκρασία. Ακόμη, τα ανόργανα συστατικά του νερού ενισχύουν τη γλουτένη κάνοντας την πιο ανθεκτική και σφικτή. Συνεπώς, το ζυμάρι δεν καταρρέει κατά τη ζύμωση του και έτσι βελτιώνεται και η συγκράτηση του παραγόμενου αερίου ενώ το κυψέλωμά του είναι πιο λεπτό και πιο ελαστικό (Chieh C, 2006; Λάζος Ε. & Λάζου Α., 2016).

#### **2.2.4.5 Αυγά**

Τα αυγά χαρακτηρίζονται ως πολυλειτουργική τροφή, τα οποία ενσωματώνονται σε διάφορα συστήματα τροφίμων, όχι μόνο για την αύξηση της θρεπτικής τους αξίας, αλλά και να βελτιώσει το χρώμα και τη γεύση τους και να ενισχύουν τις ιδιότητες αφρισμού και της ζελατινοποίησης. Λειτουργούν ως παράγοντες εγκλεισμού αέρα στο ζυμάρι, γαλακτωματοποιητές, σχηματισμού δικτύου πηκτής και συμβάλλουν στην ανάπτυξη των μοναδικών αισθητηριακών και ρεολογικών χαρακτηριστικών (Mine, 2002). Το λεύκωμα αποτελεί το 67-70% και ο κρόκος το 30-33% σε ένα αυγό. Το ασπράδι του αυγού είναι ένα υδατικό διάλυμα πρωτεϊνών (αλβουμίνη, γλοβουλίνη), ενώ ο κρόκος είναι ένα γαλάκτωμα λιπιδίων, πρωτεϊνών, νερού και μετάλλων. Τα δυο μέρη του αυγού διαχωρίζονται από μια

μεμβράνη. Το λεύκωμα συμβάλλει στον αερισμό του ζυμαριού, στη δομή ή στο σχήμα του προϊόντος αλλά δρα και ως παράγοντας σκλήρυνσης. Ο κρόκος περιέχει κυρίως λιπίδια τα οποία αποτελούνται κατά 70% από τριγλυκερίδια ενώ τα υπόλοιπα μπορεί να είναι φωσφολιπίδια, χοληστερόλη και μπορεί να εξυπηρετούν διαφορετικό σκοπό στον κλιβανισμό (τρυφερή υφή). Τα αυγά διαθέτουν υψηλή ικανότητα αφρισμού και αυτό οφείλεται κυρίως στις λειτουργικές ιδιότητες του λευκώματος τους οι οποίες συνδέονται στενά με τις πρωτεΐνες από τις οποίες αποτελείται ενώ η γαλακτωματοποιητική τους ιδιότητα οφείλεται κυρίως στον κρόκο. Τα αυγά χρησιμοποιούνται στα προϊόντα αρτοποιίας (μπισκότα, κέικ, τσουρέκι, τάρτες κ.α.) για να βελτιώνουν και να διατηρούν την ποιότητα της υφής και του όγκου τους (Duan et al., 2018; Hutkins, 2006).

#### **2.2.4.6 Ζύμη**

Η μαγιά αρτοποιίας, η οποία αναφέρεται και ως ζύμη, είναι ένα απαραίτητο συστατικό πολλών προϊόντων που έχουν ως βάση τα δημητριακά. Συντελεί στη διόγκωση, προσδίδει χαρακτηριστική γεύση και άρωμα και η έκλυση του CO<sub>2</sub> μπορεί να διατηρηθεί για περισσότερο χρόνο. Μαγιά αρτοποιίας του εμπορίου αποτελούν εξημερωμένα στελέχη *Saccharomyces cerevisiae*. Έτσι, για να αναπτυχθεί η ζύμη απαιτούνται κατάλληλη θερμοκρασία 28-32°C, άμυλο και σάκχαρα που είναι το υπόστρωμα, κοινώς η τροφή των *Saccharomyces cerevisiae* και υγρασία. Η ζύμη μπορεί να αναπτυχθεί είτε υπό αναερόβιες είτε αναερόβιες συνθήκες. Ο πρωταρχικός της ρόλος είναι η παραγωγή και η απελευθέρωση αερίου CO<sub>2</sub> και αιθανόλης μέσω της αλκοολικής ζύμωσης των σακχάρων που πραγματοποιείται, τα οποία με τη σειρά τους είναι υπεύθυνα για την αύξηση του όγκου του ζυμαριού και τον σχηματισμό της δομής της ψίχας στο τελικό προϊόν. Έρευνες έχουν δείξει ότι η ζύμη αρτοποιίας εξυπηρετεί και άλλες λειτουργίες όπως, συμβάλλει στην τυπική γεύση του ψωμιού, αποτελεί διατροφικό συμπλήρωμα καθώς και λειτουργικό συστατικό των προϊόντων αρτοποιίας (Cho & Peterson, 2010). Η ποσότητα της ζύμης σχετίζεται αντίστροφα προς το χρόνο ζυμώσεως και τη θερμοκρασία του ζυμαριού. Μεγαλύτερος χρόνος ζυμώσεως απαιτεί χαμηλότερες θερμοκρασίες και μικρότερες ποσότητες μαγιάς (Hui Y.H, 2006). Ωστόσο, εκτός από τους δύο πρωτογενείς μεταβολίτες παράγονται και δευτερογενείς, όπως οργανικά οξέα, αρωματικές ενώσεις και γλυκερόλη, οι οποίοι έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην διαδικασία παραγωγής του άρτου και στην τελική ποιότητα του (Gao et al., 2017; Glinas, 2006; Struyf et al., 2017).

#### **2.2.4.7 Γάλα**

Το γάλα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα προστίθενται στα προϊόντα αρτοποιίας για τις λειτουργικές τους ιδιότητες και την θρεπτική τους αξία. Θεωρούνται επαρκής πηγή πολύτιμων μακροθρεπτικών συστατικών όπως λίπος, πρωτεΐνη, λακτόζη, βιταμινών και μικροθρεπτικών συστατικών, όπως μέταλλα. Τα λειτουργικά οφέλη τους στα αρτοσκευάσματα περιλαμβάνουν τροποποίηση της εσωτερικής τους δομής, βελτίωση των ιδιοτήτων χειρισμού του ζυμαριού και της ποιότητας των αρτοσκευασμάτων, όπως ενίσχυση της γεύσης, βελτίωσης του χρώματος της κόρας και της υφής της ψίχας ενώ συμβάλλουν στη βελτίωση της θρεπτικής τους αξίας. Το πώς επιδρά το γάλα στη ρεολογία του ζυμαριού εξαρτάται από τη σύνθεση και κυρίως από την αλληλεπίδραση των πρωτεϊνών και του λίπους του γάλακτος με τη γλουτένη. Λόγω των πρωτεϊνών, το ζυμάρι γίνεται πιο σφικτό και αυξάνεται η διατηρησιμότητα του. Ακόμη, τα λιπίδια συμβάλλουν στο να γίνονται πιο τρυφερά τα αρτοσκευάσματα καθώς μαλακώνουν τη γλουτένη. Η λακτόζη που περιέχεται στο γάλα και στα γαλακτοκομικά προϊόντα, επειδή δεν μπορεί να υποστεί ζύμωση παραμένει στο ζυμάρι και συμμετέχει στις αντιδράσεις Maillard κατά τη διαδικασία της έψησης δίνοντας έτσι το επιθυμητό καφέ χρώμα στην κρούστα των αρτοσκευασμάτων (Iuga et al., 2020; Kenny S. et al., 2000; Mannie E & Asp EH, 1999).

#### **2.2.4.8 Αλάτι**

Το αλάτι παίζει και αυτό σημαντικό ρόλο στο ψήσιμο και μπορεί να θεωρηθεί κάτι περισσότερο από πρόσθετο ή ένα καρύκευμα. Χρησιμοποιείται για λόγους επεξεργασίας, δηλαδή ελέγχει τη ζύμωση στο ζυμωτήριο, για λόγους διατηρησιμότητας, για να βελτιώνει την γεύση και οσμή του τελικού προϊόντος και για να ενισχύει τη δομή της γλουτένης ώστε να γίνεται με τη σειρά της περισσότερο ελαστική. Η ποσότητα αλατιού που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά (Hui Y.H, 2006). Το αλάτι μειώνει την ταχύτητα ζύμωσης και για αυτό το λόγο ορισμένες φορές η προσθήκη του καθυστερεί μέχρι το ζυμάρι να ωριμάσει μερικώς ενώ ταυτοχρόνως λειτουργεί σαν ενισχυτής χρώματος. Η προστιθέμενη ποσότητα άλατος κυμαίνεται από 1-2% επί του βάρους του αλεύρου (Mondal & Datta, 2008; Δημόπουλος Ι.Σ, 1987).

#### **2.2.4.9 Μικρο-συστατικά**

Εκτός από τα βασικά συστατικά του τσουρεκιού προστίθενται και κάποια άλλα σε μικρότερες ποσότητες τα οποία δεν επιδρούν στις λειτουργικές ιδιότητες των υπολοίπων

συστατικών. Αυτά είναι η μαστίχα, η βανίλια, το μαχλέπι τα οποία ενισχύουν το άρωμα και τη γεύση του τσουρεκιού.

### **2.3 Παλαίωση των αρτοσκευασμάτων**

Η παλαίωση των αρτοσκευασμάτων είναι ένα σύνθετο φαινόμενο στο οποίο λαμβάνουν χώρα πολλές αντιδράσεις, αλλαγές στο άμυλο και σε άλλα συστατικά τους. Ένα φαινόμενο που συμβαίνει στο άμυλο όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι η ζελατινοποίηση του, η οποία λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια του κλιβανισμού του ζυμαριού (50-85°C), όπου κατά τη θέρμανση του αδιάλυτου αμύλου σε υδατικό μέσο οι κόκκοι του αμύλου προσροφούν νερό και διογκώνονται. Έτσι η διαδικασία της ζελατινοποίησης μπορεί να οριστεί και ως η μετάβαση του αδιάλυτου κόκκου αμύλου σε διάλυμα που αποτελείται από μεμονωμένα μόρια. Τα στάδια που περιλαμβάνει η ζελατινοποίηση είναι τα εξής: α) ενυδάτωση του αμύλου μαζί με αύξηση του όγκου των κόκκων (διόγκωση), β) διαταραχή της δομής των κόκκων, γ) απορρόφηση θερμότητας και δ) απώλεια της κρυσταλλικότητας των κόκκων (León et al., 1997). Μετά τον κλιβανισμό, όλα τα προϊόντα αρτοποιίας υφίστανται μια αλληλουχία χημικών και φυσικών αλλαγών που αναφέρονται ως παλαίωση (Cauvain SP, 1998). Με την πάροδο του χρόνου τα μόρια του αμύλου μπορούν να επανασυνδεθούν και μια κρυσταλλική δομή να αναπτυχθεί εκ νέου, έτσι ακολουθεί η επανατακτοποίηση του αμύλου η οποία και έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υφή και την αποδοχή των αμυλούχων τροφίμων μιας και είναι ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν την παλαίωση των αρτοσκευασμάτων (León et al., 1997).

Πιο συγκεκριμένα, η παλαίωση έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια σημαντικών αισθητηριακών παραμέτρων του ψωμιού και γενικά των αρτοσκευασμάτων, όπως γεύση και υφή και είναι συνέπεια μιας ομάδας πολλών φυσικοχημικών αλλαγών που συμβαίνουν κατά την αποθήκευσή τους, οι οποίες οδηγούν κυρίως στην αύξηση της σκληρότητας της ψίχας, στο μαλάκωμα της κόρας και σε απώλεια της φρεσκάδας τους (Gray & Bemiller, 2003; Kulp & Ponte, 1981). Ο μηχανισμός παλαίωσης δεν έχει διερευνηθεί απόλυτα καθώς στην αρχή διάφορες έρευνες έδειξαν ότι οφειλόταν στην μεταφορά υγρασίας από την ψίχα στην κόρα και στον μετασχηματισμό του αμύλου δηλαδή την επανατακτοποίηση του, ωστόσο άλλοι ερευνητές έδειξαν ότι στο φαινόμενο της παλαίωσης συμβάλλουν και οι πρωτεΐνες του αλεύρου, δηλαδή η γλουτένη, με αποτέλεσμα η παλαίωση να επηρεάζεται από την αύξηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των

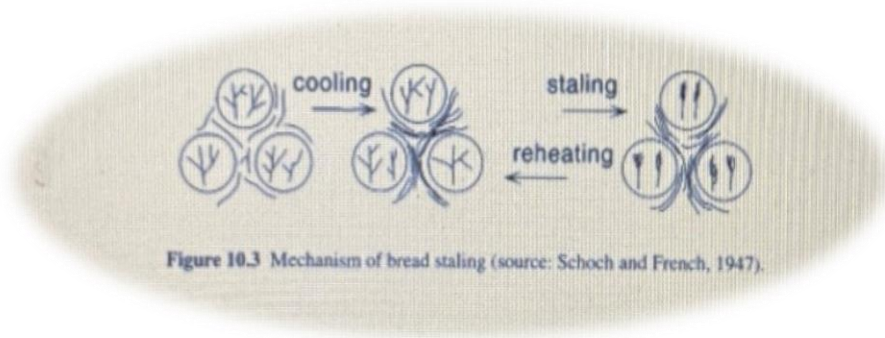
μορίων του αμύλου και της γλουτένης. Μάλιστα ο ρυθμός παλαίωσης είναι πιο αργός σε άλευρα με υψηλό ποσοστό και καλής ποιότητας γλουτένης. Ακόμη ένας παράγοντας που συμβάλλει στο φαινόμενο της παλαίωσης είναι η ανακατανομή της υγρασίας που γίνεται κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του ψωμιού, συμμετέχοντας στην κρυσταλλοποίηση του αμύλου (Schiraldi A. & Fessas D., 2001; Μπασδίκος Δ., 2005). Έτσι, κατά τη διάρκεια της παλαίωσης τα αρτοσκευάσματα χάνουν τις οργανοληπτικές τους ιδιότητες, συνεπώς η ποιότητα τους υποβαθμίζεται και αυτό οδηγεί στη μη αποδοχή τους από το καταναλωτικό κοινό παρόλο που είναι ακόμη υγιή και δεν έχουν παρουσιάσει κάποια μικροβιολογική αλλοίωση. Αυτό συνεπάγεται τεράστιες οικονομικές απώλειες για τις αρτοποιητικές μηχανίες. Παρόλο που έχει γίνει σημαντική πρόοδος στην ανάλυση της διαδικασίας της παλαίωσης, οι έρευνες συνεχίζονται ώστε το φαινόμενο να μπορέσει να γίνει ακόμα πιο κατανοητό. Ωστόσο, η επανατακτοποίηση του αμύλου και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ του αμύλου και των υπόλοιπων συστατικών του αλεύρου φαίνεται να είναι από τους σημαντικούς παράγοντες της παλαίωσης. Κατά την διάρκεια των πρώτων ωρών μετά το ψήσιμο εμφανίζεται η επανατακτοποίηση της αμυλόζης, ενώ μακροπρόθεσμα εμφανίζεται η επανατακτοποίηση των αμυλοπηκτινών και φαίνεται να είναι το σημαντικότερο φαινόμενο που επηρεάζει την παλαίωση (Ribotta & Le-Bail, 2007).

### **2.3.1 Μηχανισμός παλαίωσης**

Για να γίνει κατανοητός ο μηχανισμός της παλαίωσης στα ψωμιά και γενικά στα αρτοσκευάσματα είναι σημαντικό να κατανοηθεί η φύση των κύριων συστατικών που σχηματίζουν το σύστημα τους. Το αλεύρι σίτου που όπως έχει ήδη αναφερθεί αποτελείται κυρίως από γλουτένη και άμυλο περιέχει και πεντοζάνες κυρίως αραβινοξυλάνες, οι οποίες συμβάλλουν σημαντικά στα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Η ενυδατωμένη γλουτένη είναι η συνεχής φάση των ζυμαριών από αλεύρι σίτου (Davies A.P, 1986; Ponte JG & Faubion JM, 1985). Κατά τη διάρκεια του κλιβανισμού, η γλουτένη μετουσιώνεται και πραγματοποιείται διασύνδεση πρωτεΐνης-πρωτεΐνης μέσω δισουλφιδικών δεσμών (Schofield JD, 1986). Το σύμπλεγμα που προκύπτει σε συνδυασμό με τους μερικώς ζελατινοποιημένους κόκκους αμύλου ευθύνονται περισσότερο για την ημιάκαμπτη δομή των προϊόντων αρτοποιίας (Blanshard JMV, 1998; Hosney RC, 1989). Οι αραβινοξυλάνες και οι αραβινογαλακτάνες είναι οι πεντοζάνες του αλεύρου σίτου. Οι αραβινοξυλάνες χωρίζονται σε δυο κατηγορίες τις υδατοδιαλυτές και τις αδιάλυτες στο

νερό, οι οποίες λόγω του ότι βρίσκονται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από τις αραβινογαλακτάνες θεωρείται ότι παίζουν και σημαντικότερο ρόλο τόσο στην προετοιμασία όσο και στην διάρκεια ζωής των προϊόντων αρτοποιίας και για αυτό έχουν μελετηθεί πιο εκτεταμένα. Παρόλο που έχουν διερευνηθεί και οι δυο κατηγορίες αραβινοξυλανών ως προς τη δομή εντούτοις η επιρροή τους στην αρτοποιία και στην ποιότητα του ψωμιού είναι υπό συζήτηση.

Ο μηχανισμός της παλαίωσης του ψωμιού χωρίζεται σε δυο κατηγορίες, στην παλαίωση της κόρας και της ψίχας. Η παλαίωση της κόρας οφείλεται στην μεταφορά υγρασίας από την ψίχα στην κόρα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας μαλακής υφής και γενικά είναι λιγότερο μη αποδεκτή από ότι είναι η σκλήρυνση της ψίχας. Η παλαίωση της ψίχας είναι πιο σύνθετη, πιο σημαντική και λιγότερο κατανοητή. Η σκληρότητα του ψωμιού ποικίλλει ενώ η μέγιστη σκληρότητα εντοπίζεται στο κέντρο της ψίχας του ψωμιού (Lin W & Lineback DR, 1990; Newbold MW, 1976; Short AL & Roberts EA, 1971). Κατά την παλαίωση του αρτοσκευάσματος τα μερικώς ζελατινοποιημένα μόρια του αμύλου επανασυνδέονται έτσι ώστε να σχηματίσουν μια διπλή ελικοειδή κρυσταλλική δομή. Ένα φρέσκο αρτοσκεύασμα π.χ. ψωμί, μόλις βγει από τον φούρνο είναι μαλακό διότι οι αμυλόκοκκοι και συγκεκριμένα το κλάσμα της αμυλόζης με την ταχεία ζελατινοποίηση που υπέστησαν έχασαν τη μερικώς κρυσταλλική δομή τους. Η ανακρυστάλλωση της αμυλοπηκτίνης γίνεται με πιο αργό ρυθμό, η οποία είναι μια άμορφη κατάσταση ενός φρεσκοψημένου προϊόντος που μετατρέπεται σε μια μερικώς κρυσταλλωμένη κατάσταση ενός παλαιωμένου προϊόντος και είναι απαραίτητη η ύπαρξη επαρκούς υγρασίας. Έτσι με την πάροδο του χρόνου επέρχεται απώλεια υγρασίας στο ψωμί, το άμυλο αναδιατάσσεται και αυτό έχει ως αποτέλεσμα η δομή του αρτοσκευάσματος να σκληραίνει και τελικά να χάνει έτσι τη φρεσκάδα του. Το φαινόμενο αυτό καλείται επανατακτοποίηση του αμύλου (starch retrogradation) και επηρεάζεται κυρίως από τρεις παράγοντες: τη θερμοκρασία, τον ειδικό όγκο του ψημένου προϊόντος και την περιεχόμενη υγρασία (Stauffer C.E, 2000). Οι Schoch T.J & French D, 1947 πρότειναν ένα μοντέλο που περιγράφει τη θερμικά αναστρέψιμη συσσώρευση της αμυλοπηκτίνης ως την κύρια αιτία της παλαίωσης του ψωμιού και φαίνεται στο σχήμα παρακάτω.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.5:** Μοντέλο μηχανισμού παλαίωσης

(Schoch T.J & French D, 1947)

Για την παλαίωση των κέικ, των τσουρεκιών κ.α. είναι σημαντικό η λειτουργικότητα των συστατικών τους. Για παράδειγμα τα γλυκαντικά και τα λίπη μειώνουν τη σκληρότητα στο κέικ, το τσουρέκι και στα υπόλοιπα αρτοσκευάσματα διατηρώντας τα μαλακά. Συγκεκριμένα, τα γλυκαντικά διατηρούν την υγρασία στο προϊόν. Αντίθετα, τα αυγά δρουν ως σταθεροποιητές δηλαδή έχουν την ικανότητα να συγκρατούν τη δομή (Hodge D.G, 1977). Η παλαίωση στα κέικ, τα τσουρέκια κ.α. γίνεται με βραδύτερο ρυθμό από ότι γίνεται στο ψωμί γιατί τα κέικ, τα τσουρέκια και τα άλλα αρτοσκευάσματα περιέχουν περισσότερα σάκχαρα και λιπαρά που βελτιώνουν τον όγκο τους καθώς και λιγότερο αλεύρι (Gélinas et al., 1999). Αν και είναι γνωστή η λειτουργικότητα των συστατικών, εντούτοις είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η συγκεκριμένη συμβολή τους σε πολύπλοκα συστήματα όπως είναι το κέικ, το τσουρέκι κ.α., διότι αρκετά από τα συστατικά τους αλληλεπιδρούν και επηρεάζουν την υφή τους (Doerry W, 1995).

### **2.3.2 Άλλοι παράγοντες που επιδρούν στην παλαίωση των αρτοσκευασμάτων**

#### **2.3.2.1 Θερμοκρασία αποθήκευσης**

Ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό γνώρισμα του ψωμιού είναι ότι ο ρυθμός παλαίωσης έχει έναν αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας. Συνεπώς, η παλαίωση επιτυγχάνεται με ταχύτερο ρυθμό σε χαμηλές θερμοκρασίες αποθήκευσης μεταξύ  $-5^{\circ}\text{C}$  και  $10^{\circ}\text{C}$ . Οι υψηλές θερμοκρασίες πάνω από  $35^{\circ}\text{C}$  επηρεάζουν το χρώμα και τη γεύση, έτσι κατάλληλο θερμοκρασιακό εύρος αποθήκευσης για το ψωμί είναι  $20^{\circ}\text{C}$ - $35^{\circ}\text{C}$ . Αντίστοιχα και ο Guy (1983) έδειξε ότι η παλαίωση σε κέικ ήταν πιο γρήγορη στους  $40^{\circ}\text{C}$  από ότι στους  $30^{\circ}\text{C}$ .

Ακόμη, η κατάψυξη καθυστερεί την παλαίωση, έτσι όσο πιο μεγάλος είναι ο χρόνος κατάψυξης τόσο πιο μεγάλη και η επίδραση της (Williams KP et al., 1995).

### **2.3.2.2 Μετακίνηση υγρασίας**

Το νερό συμμετέχει στις παρακάτω αλλαγές στο σύστημα του ψωμιού: ξήρανση, εξισορρόπηση υγρασίας μεταξύ ψίχας και κόρας και ανακατανομή υγρασίας μεταξύ και ενδιάμεσα των συστατικών του ψωμιού. Η ξήρανση του ψωμιού δεν ερμηνεύει το μηχανισμό της παλαίωσης αλλά μπορεί να επιταχύνει αλληλεπιδράσεις που να οδηγούν σε αυτήν. Έτσι μεταβολές στην υγρασία της ψίχας είναι σημαντικές για τη διεργασία της παλαίωσης (Kulr & Ponte, 1981).

### **2.3.2.3 Ανακατανομή υγρασίας από ψίχα σε κόρα**

Καθώς το ψημένο ψωμί αρχίζει να κρυσταλλώνεται σχηματίζεται μια κλιμάκωση υγρασίας στο καρβέλι (Piazza L & Masi P, 1995). Διαφορές στις πιέσεις ατμών μεταξύ της κόρας και της εσωτερικής περιοχής του καρβελιού έχει ως αποτέλεσμα τη μετανάστευση υγρασίας από την ψίχα προς την κόρα (Stear AC, 1990). Με την πάροδο του χρόνου, η περιεχόμενη υγρασία στο κέντρο του καρβελιού μειώνεται ενώ της κόρας αυξάνεται. Οι (Baik & Chinachoti, 2000) βρήκαν ότι όταν το ψωμί αποθηκεύτηκε μαζί με την κόρα του σκλήρυνε σημαντικά σε σχέση με το ψωμί που αποθηκεύτηκε χωρίς την κόρα του και περιείχε περισσότερη ανακρυσταλλωμένη αμυλοπηκτίνη, υποδεικνύοντας έτσι ότι η ανακατανομή της υγρασίας από την ψίχα στην κόρα παίζει σημαντικό ρόλο στην σκλήρυνση, ένα συμπέρασμα που επιβεβαιώθηκε από την απώλεια παγωμένου νερού στην ψίχα του ψωμιού αποθηκευμένο με την κόρα, η οποία συσχετίζεται με αλλαγές στο θερμομηχανικό προφίλ του (Baik & Chinachoti, 2000).

### **2.3.2.4 Επεξεργασία**

Μελέτες έδειξαν ότι τεχνολογικοί παράγοντες, όπως μέθοδοι παρασκευής, τυποποιήσεις και λειτουργικά βήματα της διεργασίας έχουν κάποιες επιδράσεις στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και στην παλαίωση του ψωμιού (Kulr & Ponte, 1981). Ο Giovanelli και άλλοι ερευνητές έδειξαν ότι η θερμοκρασία ψησίματος επιδρά στο βαθμό παλαίωσης του ψωμιού. Ψωμί το οποίο ψήνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες παλαιώνει με πιο αργό ρυθμό από άποψη σκλήρυνσης της ψίχας και επανατακτοποίησης του αμύλου. Υψηλότερες θερμοκρασίες ψησίματος οδηγούν στην αύξηση της πρωτεϊνικής μετουσίωσης και τη διάσπαση των αμυλόκοκκων. Όσο υπάρχει υγρασία στο ψωμί, η θερμοκρασία στο



εσωτερικό του δεν μπορεί να ξεπεράσει το σημείο βρασμού του νερού ανεξάρτητα τη θερμοκρασία του φούρνου. Ωστόσο, η θερμοκρασία του κλιβάνου μπορεί να επηρεάσει το ρυθμό της αύξησης της θερμοκρασίας του ψωμιού, και κατά συνέπεια το χρόνο ψησίματος στη μέγιστη θερμοκρασία. Οι μελετητές πρότειναν κλιβανισμό σε μικρή πίεση για να επιτευχθεί ψήσιμο της ψίχας σε θερμοκρασίες μικρότερες από 100°C, το οποίο μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια διατήρησης του ψωμιού (Giovanelli G et al., 1997). Σε μια μελέτη όσον αφορά για τις επιπτώσεις των διεργασιών, βρέθηκε ότι ο ρυθμός και το ποσοστό της παλαίωσης μειώθηκε καθώς αυξήθηκε ο όγκος του ψωμιού αποθηκευμένο στην ίδια θερμοκρασία και παρασκευασμένο με ίδια συστατικά αλλά με διαφορετικές διεργασίες και παλαίωσαν σε διαφορετικό ρυθμό λόγω των διαφορών στον όγκο (Axford DWE et al., 1968).

### **2.3.3 Αντιμετώπιση της παλαίωσης στα αρτοσκευάσματα**

Όταν το ζυμάρι περιέχει μεγάλη ποσότητα νερού τότε το αρτοσκεύασμα θα έχει καλύτερα αποτελέσματα από πλευράς διατηρησιμότητας. Η περίσσεια νερού δε δεσμεύεται από το άμυλο με αποτέλεσμα να παραμένει ελεύθερο, από την άλλη όμως, υπάρχει ο κίνδυνος ανάπτυξης διαφόρων μικροοργανισμών, όπως μούχλας, πέρα από την υγρή κολλώδη ψίχα που θα σχηματιστεί. Στην εμφάνιση και στην εξέλιξη της παλαίωσης, εκτός από την υγρασία παίζει ρόλο και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η φρεσκάδα ενός παλαιωμένου προϊόντος μπορεί να επανέλθει για ένα μικρό χρονικό διάστημα με αναθέρμανση του στους 50°C, με την προϋπόθεση όμως η υγρασία της ψίχας του να είναι τουλάχιστον 30% (Μποσδίκος Δ., 2005).

Η παλαίωση των αρτοσκευασμάτων μπορεί να επιβραδυνθεί με τους εξής τρόπους:

1. Με κατάλληλη συσκευασία ώστε να μειωθεί η ταχύτητα απώλειας υγρασίας.
2. Με προσθήκη συστατικών που κατακρατούν την υγρασία όπως ζάχαρη.
3. Με προσθήκη λιπαρών υλών.

Οι λιπαρές ύλες ενεργούν ως υδρόφοβο μονωτικό υλικό, καλύπτουν με λεπτή μεμβράνη τους κόκκους αμύλου και αυτό καθυστερεί τη εξάτμιση του νερού. Επιπλέον, η μεμβράνη αυτή εμποδίζει τα μόρια του αμύλου να πλησιάσουν το ένα το άλλο για να σχηματίσουν ξανά την μερικώς κρυσταλλική δομή. Η προσθήκη γαλακτωματοποιητών, όπου στο μόριο τους έχουν ανθρακική αλυσίδα με πολλά άτομα άνθρακος, όπως και τα λίπη, προκαλεί καθυστέρηση της επανατακτοποίησης του αμύλου. Τα μονογλυκερίδια ανήκουν σε αυτούς τους γαλακτωματοποιητές και η ανθρακική αλυσίδα τους εισχωρεί στο εσωτερικό

της έλικας που σχηματίζει το μόριο της αμυλόζης. Έτσι, το σύμπλοκο αυτό αμυλόζης - γαλακτωματοποιητή εμποδίζει την επανατακτοποίηση της αμυλόζης.

4. Με προσθήκη μικρής περίσσειας α-αμυλάσης, η οποία καθυστερεί την επανατακτοποίηση λόγω της υδρόλυσης που προκαλεί. Όμως, η περίσσεια αμυλάσων άλλης προέλευσης, εκτός της μυκητιακής, έχει πάντα τον κίνδυνο της πρόκλησης κολλώδους ψίχας.
5. Με την κατάψυξη του ψωμιού σε θερμοκρασία που να παρεμποδίζεται η κίνηση των μορίων του αμύλου, για να μην μπορούν να πλησιάσουν το ένα το άλλο. Αντίθετα η απλή ψύξη σε 0-10°C βοηθάει την κρυστάλλωση του αμύλου, συνεπώς επιταχύνει την επανατακτοποίηση του και εξαιτίας αυτής την παλαίωση του ψωμιού (Κεφαλάς Π.Σ, 2009).

#### **2.3.4 Μέθοδοι μέτρησης του βαθμού παλαίωσης στα αρτοσκευάσματα**

Λόγω της πολυπλοκότητας του φαινομένου της παλαίωσης των αρτοσκευασμάτων έχουν χρησιμοποιηθεί ποικίλες τεχνικές για τη μέτρηση του βαθμού παλαίωσης τους αλλά και για τη διερεύνηση των αλλαγών που συνοδεύονται με αυτήν. Τα χαρακτηριστικά της ψίχας τους ψωμιού που χρησιμοποιούνται ως βάσεις για τον προσδιορισμό του βαθμού παλαίωσης τους είναι οι αλλαγές στη γεύση και το άρωμα, η αυξημένη σκληρότητα, η αυξημένη ευθρυπτότητα, η αυξημένη κρυσταλλικότητα του αμύλου, η μειωμένη απορροφητική ικανότητα, μειωμένη ευαισθησία στην α-αμυλάση και μειωμένη περιεκτικότητα σε διαλυτό άμυλο (Geddes WF & Bice CW, 1946). Βέβαια είναι προφανές ότι καμία μέθοδος δεν θα μπορέσει να μετρήσει ή να περιγράψει πλήρως το βαθμό παλαίωσης όπως μπορεί να αντιληφθεί και να καταγραφεί από έναν καταναλωτή (Sidhu JS et al., 1996).

Καθώς το ψωμί παλαιώνει, η υφή της ψίχας αλλάζει από σχετικά απαλή και σπογγώδη σε σφιχτή και εύθρυπτη. Ως εκ τούτου, πολλές μέθοδοι ανάλυσης υφής έχουν αναπτυχθεί για να ποσοτικοποιηθεί η σκλήρυνση του ψωμιού, η οποία από όσο φαίνεται, συσχετίζεται με την παλαίωση του ψωμιού όπως μετρήθηκε από την αποδοχή του καταναλωτή. Η θερμική ανάλυση έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την μελέτη της επανατακτοποίησης του αμύλου καθώς και της παλαίωσης του ψωμιού. Από τις θερμοανλυτικές μεθόδους, η θερμιδομετρία διαφορικής σάρωσης (DSC) και η διαφορική θερμική ανάλυση (DTA) έχουν αποδειχθεί από τις πιο χρήσιμες στην παροχή βασικών

πληροφοριών σχετικά με την επανατακτοποίηση του αμύλου (Karim et al., 2000). Και οι δυο μετρούν τη διαφορική θερμοκρασία ή ροή θερμότητας από και προς ένα δείγμα έναντι ενός υλικού αναφοράς σε συνάρτηση με τον χρόνο και έτσι και οι δυο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση τέτοιων αλλαγών όπως μεταπτώσεις φάσεων και ευρέσεως θερμοκρασίας υαλώδους μεταπτώσεως (Tg), μοριακές δομικές αλλαγές, αλληλεπιδράσεις με άλλα συστατικά και πυρολυτική αποικοδόμηση του δείγματος. Όταν τα παλαιωμένα δείγματα ψωμιού θερμαίνονται σε καψίδια DSC, μια ενδόθερμη καμπύλη παρατηρείται καθώς η επανατακτοποιημένη αμυλοπηκτίνη φτάνει στην υαλώδη μετάπτωσή της και/ή τη θερμοκρασία τήξης της και η αλλαγή ενθαλπίας σχετιζόμενη με αυτήν την μετάπτωση, μπορεί να μετρηθεί. Επειδή οι χρονικές κλίμακες για την ανάπτυξη της ενδόθερμης και για την αύξηση της σκληρότητας της ψίχας είναι σε μεγάλο βαθμό παρόμοιες σε μέγεθος, η DSC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μετρήσει ποσοτικά τον ρυθμό της παλαίωσης του ψωμιού (Jagannath JH et al., 1999). Ωστόσο, υπάρχουν επικαλυπτόμενες μεταπτώσεις πάνω από ένα μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος λόγω της ποικιλίας των συστατικών και το εύρος των παρόντων δομών, που προκαλούν δυσκολία στην ανάλυση (Vodovotz Y et al., 2001).

### 3 Πειραματικό μέρος- Υλικά και μέθοδοι

#### 3.1 Σκοπός

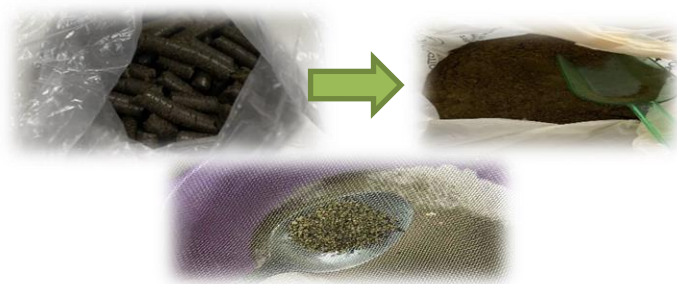
Η εκπόνηση των πειραμάτων της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Χημείας, Ανάλυσης και Σχεδιασμού Διεργασιών Επεξεργασίας Τροφίμων του τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων. Πραγματοποιήθηκε μελέτη της παλαίωσης του παραδοσιακού τσουρεκιού εμπλουτισμένο με άλευρο κάνναβης. Στόχος της παρούσας έρευνας είναι η μελέτη της επίδρασης της προσθήκης αλεύρου κάνναβης στην παλαίωση του τσουρεκιού και πως η αποθήκευση του τσουρεκιού επηρεάζει τελικά τα φυσικοχημικά, δομικά, μηχανικά, γεωμετρικά και χρωματικά του χαρακτηριστικά. Διεξήχθησαν τα πειράματα παρασκευής εμπλουτισμένων τσουρεκιών με υποκατάσταση του αλεύρου σίτου με άλευρο κάνναβης σε ποσοστό 0%, 10%, 30% και 50% με σκοπό τη διερεύνηση της παλαίωσης του κατά την αποθήκευση του για 0,1,4,7,10,14 ημέρες σε θερμοκρασία 25°C.

#### 3.2 Υλικά

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή του τσουρεκιού είναι οι εξής:

- Άλευρο μαλακού σίτου «Super Αμερικής» (λευκό), από τους μύλους «Μάρρα» (Κόρινθος) με τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται στον πίνακα.
- Ελαιόπιτα κάνναβης από τον συνεταιρισμό «KANNABIO hemp cooperative» (Βόλος, Μαγνησίας) με τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται στον Πίνακα.
- Κρυσταλλική ζάχαρη εμπορικής προέλευσης (ΑΒ Αττική, Ελλάδα)
- Φρέσκια ζύμη «το χελιδόνι» εμπορικής προέλευσης (Lesaffre Italia S.p.A.)
- Βούτυρο γάλακτος «Lurpak»
- Φρέσκο γάλα αγελάδος «Δέλτα» (Αγ. Στέφανος Αττικής)
- Μαχλέπι «Ανατολή»
- Μαστίχα από την ένωση μαστιχοπαραγωγών Χίου
- Βανίλια (ΑΒ Αττική, Ελλάδα)
- Αυγά
- Αλάτι
- Ξύσμα Πορτοκαλιού

Οι ελαιόπιτες κάνναβης αλέστηκαν σε πρώτη φάση σε μύλο IKA M20 (IKA, Königswinter, Γερμανία) με μέγιστη ταχύτητα περιστροφής 20.000 rpm.



**ΕΙΚΟΝΑ 3.1:** Μετατροπή ελαιόπιτας κάνναβης σε αλεύρι κάνναβης

Στον Πίνακα 3.1 παρακάτω αναφέρονται τα χαρακτηριστικά του αλεύρου σίτου και του αλεύρου κάνναβης αντίστοιχα και στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζεται η βασική τυποποίηση του τσουρεκιού.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1:** Χαρακτηριστικά του αλεύρου σίτου και αλεύρου κάνναβης

<b>Χαρακτηριστικά</b>	<b>Αλεύρι σίτου</b>	<b>Αλεύρι κάνναβης</b>
Υγρασία (g/100g)	14,7	4,2
Πρωτεΐνη (g/100g)	20,2	22,4
Λιπαρά (g/100g)	1,0	4,7
Υδατάνθρακες (g/100g)	62,3	55,5
Σάκχαρα (g/100g)	0,5	2,8

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2:** Βασική τυποποίηση τσουρεκιού-αναλογίες συστατικών

<b>Υλικά</b>	<b>Ποσότητες (g)</b>
Αλεύρι σίτου	500
Ζάχαρη	175
Αυγά	170
Βούτυρο	125
Νερό	100
Γάλα	50
Νωπή Μαγιά	50
Αλάτι	2,5
Μαχλέπι	15
Μαστίχα	1,5
Βανίλια	1
Ξύσμα πορτοκαλιού	1 πορτοκάλι

### 3.3 Πειραματική διαδικασία

Σε πρώτη φάση για να ληφθούν οι διαφορετικές αναλογίες κάνναβης προς αλεύρι σίτου, όπως παρουσιάζονται και στον Πίνακα 3.3 παρακάτω, το αλεύρι σίτου και της κάνναβης αντίστοιχα, ζυγίστηκαν, αναμείχθηκαν και κοσκινίστηκαν.

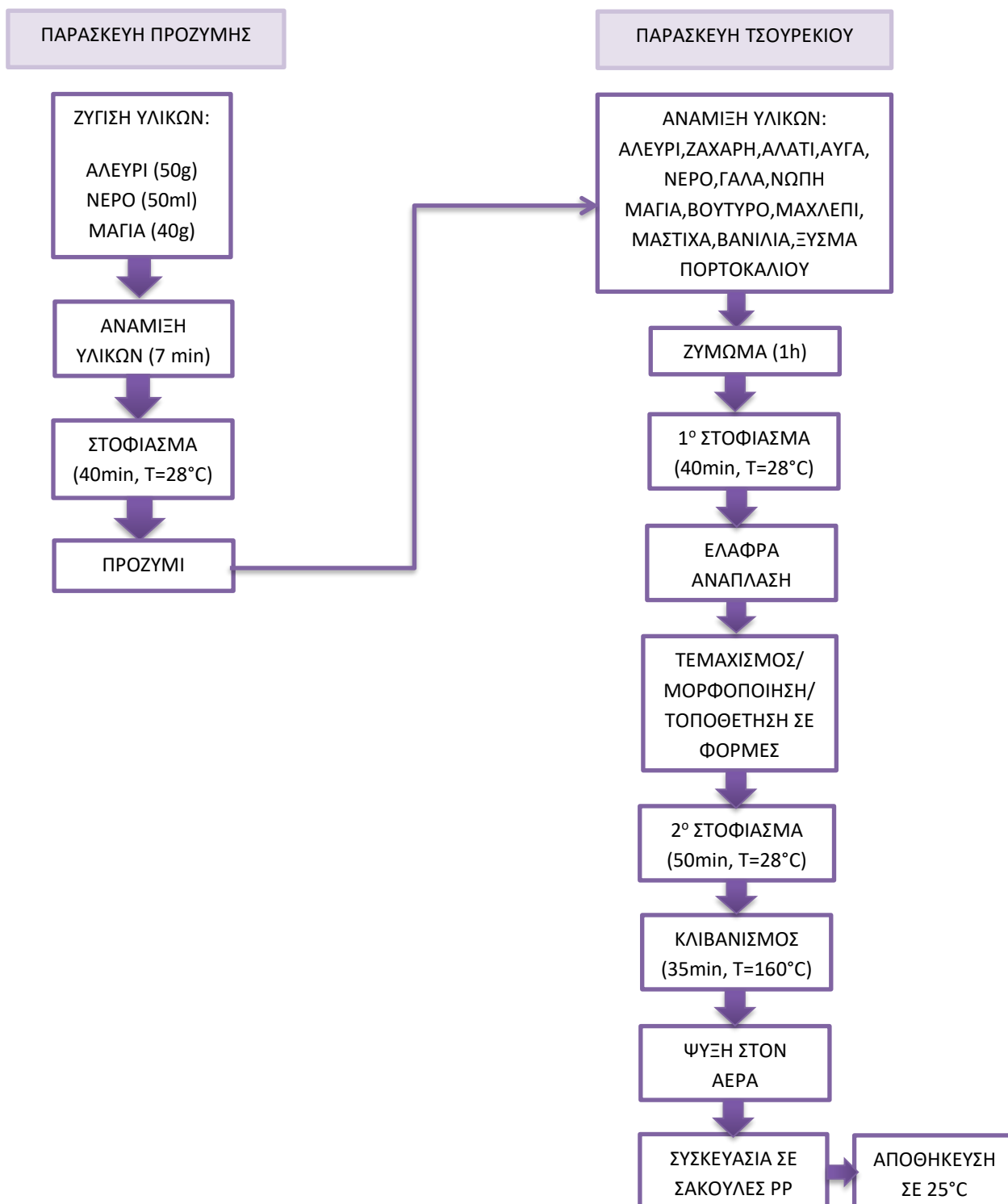
**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3:** Αναλογίες αλεύρου σίτου/αλεύρου κάνναβης για την παρασκευή του εμπλουτισμένου τσουρεκιού

<b>Αλεύρι σίτου(%)</b>	<b>Αλεύρι κάνναβης(%)</b>
100	0
90	10
70	30
50	50

Η διαδικασία παρασκευής του τσουρεκιού πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο εκκινητή (προζύμης) και ζυμαριού, η οποία αποτελείται από δύο στάδια. Τα πρώτο στάδιο είναι η παρασκευή της προζύμης και το δεύτερο στάδιο είναι η κύρια διαδικασία παρασκευής του τσουρεκιού. Η διαδικασία απεικονίζεται και συνοπτικά παρακάτω στο Σχήμα 3.1. Αρχικά έγινε ζύγιση των πρώτων υλών στις ποσότητες που αναγράφονται στους πίνακες. Στο πρώτο στάδιο για την παρασκευή της προζύμης, προστέθηκαν 50ml νερό, 50g του μίγματος αλευριού και 40g νωπή μαγιά στον αναμεικτήρα, αναδεύτηκαν για 7 λεπτά και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε θάλαμο ζύμωσης (ηλεκτρική στόφα LinkRich XF12d) για 40 λεπτά στους 28°C. Μετά το πέρας των 40 λεπτών προστέθηκαν σταδιακά στο προζύμι τα υπόλοιπα υλικά, δηλαδή αλεύρι 450 g, ζάχαρη 175 g, βούτυρο 125 g, αυγά 170 g, γάλα 50 g, νερό 50 g, νωπή μαγιά 10 g, αλάτι 2,5 g, μαχλέπι 15 g, μαστίχα 1,5 g, βανίλια 1 g και ξύσμα από ένα πορτοκάλι, αναμείχθηκαν για 1 ώρα μέχρι να σχηματιστεί το ζυμάρι και τοποθετήθηκαν στο θάλαμο ζύμωσης (ηλεκτρική στόφα) στους 28°C για 40 λεπτά. Στη συνέχεια, μετά το πρώτο στόφιασμα το ζυμάρι ζυγίστηκε και χωρίστηκε σε δυο ίσα όσο γίνεται περισσότερα δείγματα, της τάξης των 574±1,5 g. Τα δείγματα αναπλάθηκαν ελαφρώς και μορφοποιήθηκαν με τα χέρια, τοποθετήθηκαν σε ορθογώνιες φόρμες αλουμινίου, οι οποίες είχαν περαστεί με βούτυρο και αλευρωθεί και αφέθηκαν ξανά στο θάλαμο ζύμωσης (ηλεκτρική στόφα) για 50 λεπτά στους 28°C. Μετά τα 50 λεπτά όπου έχει ολοκληρωθεί η ωρίμανση και η ανάπτυξη του ζυμαριού ακολούθησε ο κλιβανισμός σε

θερμοκρασία 160°C για 35 λεπτά. Μετά τον κλιβανισμό, τα τσουρέκια αφαιρέθηκαν από τις φόρμες και αφέθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 2 ώρες ώστε να κρυώσουν, συσκευάστηκαν σε πλαστικές σακούλες πολυπροπυλενίου και τέλος αποθηκεύτηκαν στις ανάλογες συνθήκες που ορίστηκαν μέχρι την περαιτέρω ανάλυσή τους.

Στο σχήμα παρακάτω απεικονίζεται το διάγραμμα ροής της παραγωγικής διαδικασίας:



**ΣΧΗΜΑ 3.1:** Διάγραμμα ροής της παραγωγικής διαδικασίας του τσουρεκιού



**ΕΙΚΟΝΑ 3.2:** Ζυμάρια με 10%, 30% και 50% άλευρο κάναβης



**ΕΙΚΟΝΑ 3.3:** Απεικόνιση τσουρεκιού πριν και μετά τον κλιβανισμό

### 3.4 Προσδιορισμός των ιδιοτήτων

#### 3.4.1 Φυσικοχημικές ιδιότητες

##### 3.4.1.1 Προσδιορισμός υγρασίας

Για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας χρησιμοποιήθηκε η σταθμική μέθοδος AACC 44-15.02 (AACC, 2013) στην ψίχα του τελικού προϊόντος, όπου διαχωρίστηκε η ψίχα από την κόρα και πραγματοποιήθηκε άλεση της ψίχας. Ζυγίστηκαν 3 γυάλινα βαζάκια σε αναλυτικό ζυγό και προστέθηκαν 2g δείγματος με ακρίβεια  $\pm 0,05g$ . Στη συνέχεια ακολούθησε ξήρανση σε φούρνο αέρα (Gallenkamp Oven BS Model OV-160) για 24 ώρες στους  $110^{\circ}C$ . Μετά αφέθηκαν να κρυώσουν σε ξηραντήρα με silica gel ώστε να μην απορροφήσουν υγρασία και τέλος ζυγίστηκαν στον αναλυτικό ζυγό για να υπολογιστεί η απώλεια βάρους τους, από την οποία υπολογίζεται η περιεχόμενη υγρασία.

##### 3.4.1.2 Προσδιορισμός ενεργότητας ύδατος ( $a_w$ )

Για την μέτρηση της ενεργότητας ύδατος ( $a_w$ ) του τσουρεκιού χρησιμοποιήθηκε η συσκευή «Aqua Lab 4TE» (Aqua Lab 4TE, Decagon Devices, Inc., USA). Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν είναι ο μέσος όρος τριών μετρήσεων.



### 3.4.1.3 Προσδιορισμός μεταβολής βάρους κατά τον κλιβανισμό (*baking loss*)

Τα τσουρέκια μετά τον κλιβανισμό τους και αφού παρέμειναν για 2 ώρες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ζυγίστηκαν και οι τιμές βάρους καταγράφηκαν όπως και το αρχικό τους βάρος πριν τον κλιβανισμό. Έτσι, από τις μετρήσεις αυτές υπολογίζεται η μεταβολή βάρους κατά τον κλιβανισμό επί τις εκατό σε σχέση με το αρχικό βάρος των τσουρεκιών. Η σχέση σύμφωνα με την οποία υπολογίζεται η μεταβολή βάρους κατά τον κλιβανισμό είναι: (Mustafa et al., 2018)

$$B.L = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100 \quad (1)$$

Όπου το  $m_i$  είναι το αρχικό βάρος των τσουρεκιών σε g, δηλαδή πριν τον κλιβανισμό και  $m_f$  το βάρος σε g μετά τον κλιβανισμό τους. Τα αποτελέσματα είναι ο μέσος όρος τριών μετρήσεων.

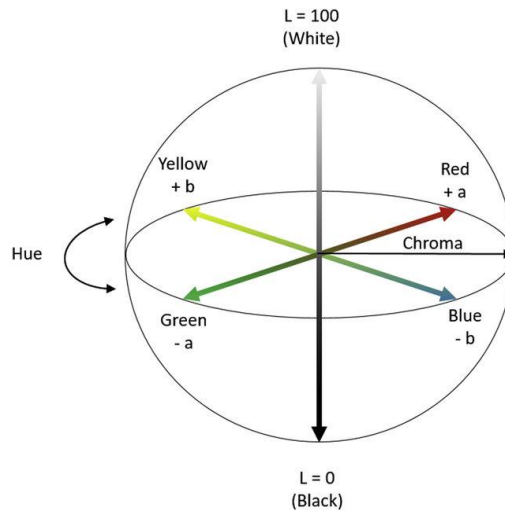
### 3.4.2 Προσδιορισμός χρώματος

Για την μέτρηση του χρώματος της κόρας και της ψίχας των τσουρεκιών χρησιμοποιήθηκε το χρωματόμετρο «Miniscan XE Plus» (Hunterlab, Miniscan XE Plus), το οποίο αποδίδει τις τιμές των χρωματικών παραμέτρων  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  βάσει του συστήματος CIELAB. Ο χρωματικός παράγοντας  $L^*$  εκφράζει τη φωτεινότητα του χρώματος παίρνοντας τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό) και ο άξονας του είναι κάθετος στον άξονα των χρωματικών παραγόντων  $a^*$  και  $b^*$  που αντιπροσωπεύουν το χρώμα χωρίς να υπάρχουν κάποια αριθμητικά όρια για αυτούς. Οι παράγοντες  $a^*$  και  $b^*$  ανταποκρίνονται στα ζεύγη κόκκινο-πράσινο και κίτρινο-μπλε χρώμα αντίστοιχα. Η θετική τιμή για το  $a^*$  αντιπροσωπεύει το κόκκινο χρώμα ενώ η αρνητική τιμή το πράσινο και για το  $b^*$  η θετική τιμή είναι το κίτρινο ενώ η αρνητική τιμή το μπλε χρώμα. Η διαφορά χρώματος υπολογίστηκε με την παρακάτω σχέση: (Diprat et al., 2020)

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (2)$$

Όπου οι τιμές  $L_0$ ,  $a_0$ ,  $b_0$  είναι ο μέσος όρος των τιμών της φωτεινότητας, της πράσινης απόχρωσης ή της ερυθρότητας και της κίτρινης ή μπλε απόχρωσης του μάρτυρα δηλαδή των τσουρεκιών που δεν περιέχουν άλευρο κάνναβης.

Όταν  $\Delta E < 1$  η διαφορά χρώματος δεν είναι ορατή από το ανθρώπινο μάτι. Όταν είναι  $1 < \Delta E < 3$  η διαφορά χρώματος διακρίνεται δύσκολα από το ανθρώπινο μάτι ενώ όταν είναι  $\Delta E > 3$  η διαφορά χρώματος θεωρείται ορατή από το ανθρώπινο μάτι.



**ΣΧΗΜΑ 3.2:** Απεικόνιση χρωματικών παραμέτρων συστήματος CIELAB

ΠΗΓΗ: [https://www.researchgate.net/figure/The-CIELAB-color-space-diagram-The-CIELAB-or-CIE-L-a-b-color-system-represents\\_fig1\\_338303610](https://www.researchgate.net/figure/The-CIELAB-color-space-diagram-The-CIELAB-or-CIE-L-a-b-color-system-represents_fig1_338303610)

### 3.4.3 Δομικές ιδιότητες

Οι δομικές ιδιότητες χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό των δομικών αλλαγών που συμβαίνουν κατά την επεξεργασία και την αποθήκευση των τροφίμων (Michailidis P.A et al., 2008b). Για τον χαρακτηρισμό της δομής ενός αρτοσκευάσματος χρησιμοποιούνται διάφορες επιμέρους ιδιότητες μεταξύ των οποίων είναι το πορώδες, η πυκνότητα, το μέγεθος και η κατανομή των πόρων.

#### 3.4.3.1 Φαινόμενος όγκος ( $V_a$ ):

Ο φαινόμενος όγκος μετρείται με τη μέθοδο εκτόπισης όγκου με χρήση πυκνόμετρων ή βαθμονομημένων κυλίνδρων. Ο βαθμονομημένος κύλινδρος γεμίζεται με υγρό μέχρι ένα σημείο και γίνεται στη συνέχεια εμφάνιση του υλικού. Ο όγκος του δείγματος ισούται με τη διαφορά μεταξύ του αρχικού όγκου του υγρού και του όγκου μετά την εμφάνιση του δείγματος. Στην παρούσα εργασία ο φαινόμενος όγκος των τσουρεκιών μετρήθηκε με την εμπειρική μέθοδο εκτόπισης σπόρων δεδομένου ότι δεν γινόταν τα δείγματα μας να βυθιστούν σε υγρό για να μην γίνει προσρόφηση υγρού από το δείγμα. Χρησιμοποιήθηκε κατάλληλο δοχείο, το οποίο συμπληρώθηκε με μικρούς φυτικούς σπόρους πριν τη μέτρηση και έτσι η ποσότητα των σπόρων που γεμίζουν πλήρως το δοχείο είναι γνωστή. Στη συνέχεια αφαιρέθηκε η μεγαλύτερη ποσότητα των σπόρων όπου έμεινε μια λεπτή στρώση από αυτούς. Τοποθετήθηκε το δείγμα στο κέντρο του δοχείου και συμπληρώθηκε και το κενό που υπήρχε με όσους σπόρους χρειαζόνταν ώστε να καλυφθεί πλήρως το δοχείο. Τέλος, οι εναπομείναντες σπόροι ογκομετρήθηκαν σε έναν ογκομετρικό κύλινδρο.

Από την ένδειξη του ογκομετρικού κυλίνδρου προκύπτει ο όγκος του μετρούμενου δείγματος ( $V_a$ ).

### **3.4.3.2 Ειδικός όγκος (SV):**

Για τον υπολογισμό του ειδικού όγκου των τσουρεκιών διαιρέθηκε ο φαινόμενος όγκος του τσουρεκιού που προέκυψε από την ογκομέτρηση των εκτοπισμένων φυτικών σπόρων με το βάρος του τσουρεκιού μετά τον κλιβανισμό του. Ο ειδικός όγκος των τσουρεκιών (SV) σε ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) υπολογίστηκε κατά την ημέρα παραγωγής τους και μετά την αποθήκευση τους.

Συγκεκριμένα για την ημέρα παραγωγής τους υπολογίστηκε με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$SV = \frac{V_{a(\text{bef})}}{m_{(\text{bef})}} \quad (3)$$

Όπου  $V_{a(\text{bef})}$  είναι ο φαινόμενος όγκος του τσουρεκιού την ημέρα παραγωγής του και  $m_{(\text{bef})}$  το βάρος του τσουρεκιού μετά τον κλιβανισμό την ημέρα παραγωγής του.

Αντίστοιχα, ο ειδικός όγκος των τσουρεκιών μετά την αποθήκευσή τους υπολογίστηκε πάλι με τον ίδιο τρόπο ως εξής:

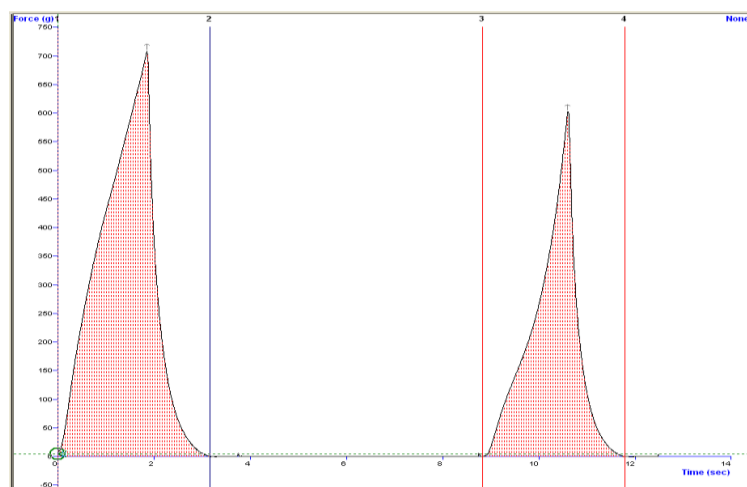
$$SV = \frac{V_{a(\text{after})}}{m_{(\text{after})}} \quad (4)$$

Όπου  $V_{a(\text{after})}$  είναι ο φαινόμενος όγκος του τσουρεκιού μετά την αποθήκευση του και  $m_{(\text{after})}$  το βάρος του τσουρεκιού μετά την αποθήκευση του.

### **3.4.4 Μηχανικές ιδιότητες (Ιδιότητες υφής)**

Στην παρούσα εργασία τα χαρακτηριστικά της υφής των τσουρεκιών μετρήθηκαν με την χρήση αναλυτή υφής. Ο αναλυτής υφής που χρησιμοποιήθηκε είναι ο TA.XT Plus Stable Micro Systems και το λογισμικό Exponent. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε στα δείγματα η δοκιμή ανάλυσης αναπαραστάσης υφής TPA (Texture Profile Analysis), η οποία είναι μια δοκιμή μίμησης της καταπόνησης των τροφίμων κατά τη μάσηση. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της υφής χρησιμοποιήθηκαν δυο παρόμοια δείγματα τσουρεκιών κατά την ημέρα παραγωγής και δυο αντίστοιχα μετά την αποθήκευσή τους. Από το κάθε δείγμα ελήφθησαν 4 φέτες πάχους 2cm, οι οποίες μετρήθηκαν με παχύμετρο. Σε κάθε φέτα τσουρεκιού εφαρμόστηκε διπλή συμπίεση. Το έμβολο που χρησιμοποιήθηκε για τη συμπίεση είναι κύλινδρος αλουμινίου (P/25 Cylinder Aluminium) διαμέτρου 25mm. Οι συνθήκες λειτουργίας του εμβόλου είναι: ταχύτητα πριν την δοκιμή 1mm/s και κατά τη δοκιμή 5mm/s και το βάθος διεύθυνσης 50%.

Κατά τη διάρκεια της δοκιμής καταγράφηκε η δύναμη συμπίεσης σε συνάρτηση με τον χρόνο όπως φαίνεται και στο διάγραμμα παρακάτω. Από το διάγραμμα προσδιορίστηκαν οι εξής παράμετροι:



**ΣΧΗΜΑ 3.3:** Διάγραμμα δοκιμής ανάλυσης αναπαραστάσεως υφής (texture profile analysis) δύναμης-χρόνου αναλυτή υφής

- η σκληρότητα (hardness), η οποία είναι η μέγιστη δύναμη κατά τη διάρκεια του πρώτου κύκλου συμπίεσης
- η συνεκτικότητα (cohesiveness), η οποία είναι η αντίσταση του προϊόντος σε μια δεύτερη παραμόρφωση ανάλογα με το πώς συμπεριφέρθηκε στην πρώτη και ορίζεται ως ο λόγος της επιφάνειας κατά τη δεύτερη συμπίεση (Area 2) προς την επιφάνεια κατά την πρώτη συμπίεση (Area 1):  $\frac{A_2}{A_1}$
- η ελαστικότητα (springiness), η οποία δείχνει το πόσο καλά επανέρχεται ένα τρόφιμο στην αρχική του θέση μετά την παραμόρφωσή του κατά το χρονικό διάστημα μεταξύ του τέλους της πρώτης συμπίεσης και της έναρξης της δεύτερης και υπολογίζεται από τον λόγο  $\text{Length 2} / \text{Length 1}$

Οι άλλες δύο παράμετροι που υπολογίστηκαν δεν προκύπτουν από το διάγραμμα αλλά από τις προηγούμενες παραμέτρους που αναφέρθηκαν και είναι οι εξής:

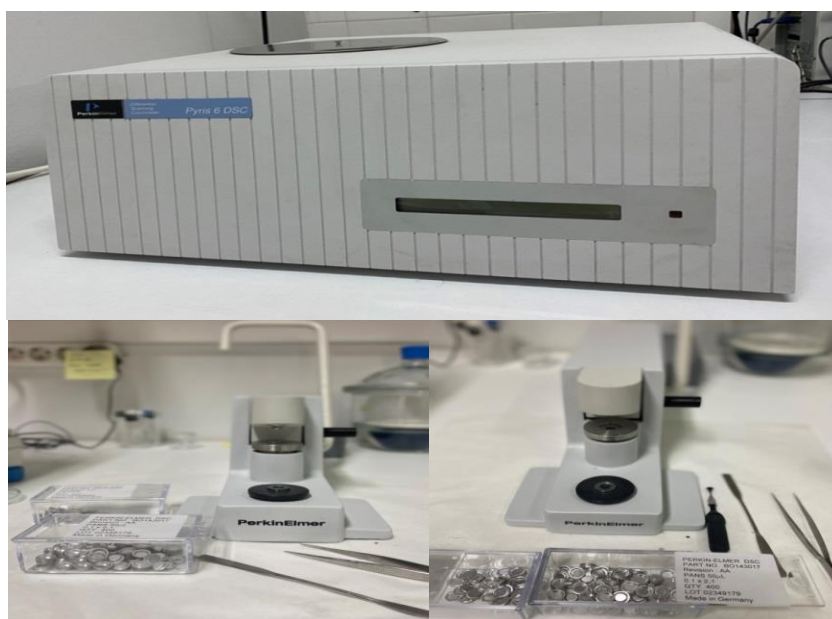
- η κολλητικότητα/ κολλώδης υφή (gumminess), η οποία υπολογίζεται από το γινόμενο της σκληρότητας με τη συνεκτικότητα, ορίζεται ως η ενέργεια που απαιτείται για τη διάσπαση μιας ημιστερεής τροφής μέχρι να είναι έτοιμη για κατάποση
- η μασητικότητα (chewiness), η οποία υπολογίζεται από το γινόμενο της κολλητικότητας με την ελαστικότητα, δηλαδή το γινόμενο της σκληρότητας με

τη συνεκτικότητα και την ελαστικότητα και ορίζεται ως η ενέργεια που απαιτείται για το μάσημα μιας στερεής τροφής μέχρι να είναι έτοιμη για κατάποση (Trinh et al., 2012)

### 3.5 Θερμική ανάλυση

#### 3.5.1 Πειραματική διαδικασία θερμομετρίας διαφορικής σάρωσης DSC

Τα δείγματα στα οποία πραγματοποιήθηκαν θερμομετρικές μετρήσεις ήταν ψίχα τσουρεκιού με 0%, 10%, 30% και 50% περιεκτικότητα αλεύρου κάνναβης σε χρονικό διάστημα από την ημέρα παραγωγής τους μέχρι και 14 ημέρες αποθήκευσης στους 25°C. Το θερμομότρο διαφορικής σάρωσης που χρησιμοποιήθηκε είναι το DSC 6, Perkin Elmer Inc. και το λογισμικό το Pyris για Windows. Για την προετοιμασία των δειγμάτων, η ψίχα αλέστηκε και τα δείγματα ζυγίστηκαν σε αναλυτικό ζυγό 17-17,5 mg. Στη συνέχεια τα δείγματα σφραγίστηκαν ερμητικά σε καψύδια αλουμινίου (Perkin-Elmer) με τη βοήθεια κατάλληλης πρέσας και τοποθετήθηκαν στο DSC. Για τη δημιουργία αδρανούς ατμόσφαιρας χρησιμοποιήθηκε αέριο άζωτο με ρυθμό ροής 30 mL/min. Τα δείγματα κρατήθηκαν στους 20°C για 1 min, μετά ψύχθηκαν από τους 20°C στους -50°C με ρυθμό 10°C/min, στη συνέχεια κρατήθηκαν για 10 min στο -50°C και τέλος θερμάνθηκαν από τους -50°C στους 220°C με ρυθμό 10°C/min. Από το θερμογράφημα προσδιορίστηκε η θερμοκρασία έναρξης (onset), το μέσο (midpoint) και το καταληκτικό σημείο (endpoint) της βηματικής μεταβολής της ειδικής θερμότητας από την τελική θέρμανση του δείγματος με τη χρήση του λογισμικού Pyris.

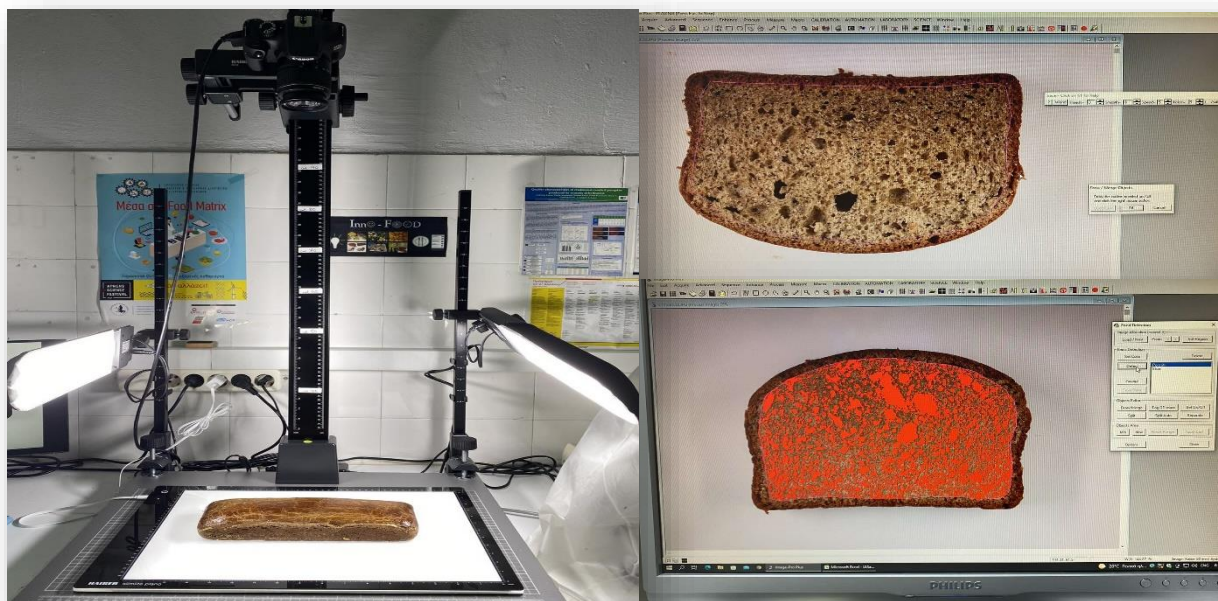


**ΕΙΚΟΝΑ 3.4:** Συσκευή θερμομετρίας διαφορικής σάρωσης (DSC) και πρέσα

### 3.6 Ανάλυση εικόνας αρτοσκευασμάτων

Η εμφάνιση και η σύνθεση ενός αρτοσκευάσματος και γενικά όλων των τροφίμων είναι θεμελιώδεις για την αποδοχή τους από το καταναλωτικό κοινό. Η απεικόνιση είναι ένας τρόπος για την αξιολόγηση της εμφάνισης και αυτό γίνεται με τη χρήση εξελιγμένων τεχνικών ανάλυσης εικόνας, όπου προσδιορίζεται λεπτομερώς η σύνθεση, το χρώμα και η φυσική δομή. Τα τελευταία χρόνια η ανάλυση εικόνας έχει χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών της ψίχας, δηλαδή για τον ποσοτικό προσδιορισμό της, όπως το μέγεθος των κυψελών και την κατανομή μεγέθους τους, τον αριθμό των κυττάρων ανά μονάδα επιφάνειας, το πάχος του κυτταρικού τοιχώματος, η διάσπαση και ο παράγοντας σχήματος ή ακόμα και ο όγκος του προϊόντος (Farrera-Rebollo et al., 2012). Πιο συγκεκριμένα, για το σκοπό αυτής της ανάλυσης, ελήφθησαν φωτογραφίες από ολόκληρο το τσουρέκι περιμετρικά και από τις δύο πλευρές της κάθε φέτας, δηλαδή συνολικά 8 φέτες. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι η φωτογραφική μηχανή Canon EOS 4000D digital, καθώς και κατάλληλος φωτισμός εκατέρωθεν της κάμερας και ειδική φωτιστική πλάκα (Kaiser slimlite plano) για τη μείωση των σκιών και βελτίωσης της ευκρίνειας των φωτογραφιών. Στη συνέχεια οι φωτογραφίες επεξεργάστηκαν μέσω του λογισμικού προγράμματος Image Pro Analysis-Plus v7.0.1.658 για τον προσδιορισμό των γεωμετρικών και μορφολογικών ιδιοτήτων, τόσο ολόκληρου του τσουρεκιού όσο και του κυψελώματός του. Στο πρόγραμμα έχουν ρυθμιστεί κάποιες μακροεντολές σύμφωνα με τις οποίες επιτεύχθηκαν οι μετρήσεις των δειγμάτων, οι οποίες αφορούν γεωμετρικά χαρακτηριστικά και χαρακτηριστικά των πόρων. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά για κάθε τσουρέκι που υπολογίστηκαν περιλαμβάνουν το μήκος (mm), το πλάτος (mm), την περίμετρο (mm) και την επιφάνεια (mm<sup>2</sup>) (R. Wang et al., 2007). Το πορώδες του τσουρεκιού υπολογίστηκε σύμφωνα με τις παρακάτω μετρήσεις: αριθμός κυψελίδων/cm<sup>2</sup> (number of cells/cm<sup>2</sup>) και συνολική επιφάνεια κυψελίδων / συνολική μετρούμενη επιφάνεια (total cell area/ total measured area). Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των πόρων υπολογίστηκαν με βάση τις ακόλουθες τιμές: επιφάνεια εκάστοτε πόρου (area mm<sup>2</sup>) και στρογγυλότητα (roundness)(είναι το μέτρο σύγκρισης της διαφορετικότητας του πόρου από τον κύκλο). Στην εκάστοτε φέτα του τσουρεκιού μετρήθηκαν τα εξής γεωμετρικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά: συνολική επιφάνεια φέτας (area mm<sup>2</sup>), πυκνότητα (density), ανομοιογένεια (heterogeneity). Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά για την φρατζόλα του τσουρεκιού που μετρήθηκαν υπολογίστηκαν από το εξωτερικό του

μέρος και είναι η περίμετρος, το μήκος, το πλάτος και το ύψος. Οι υπολογισμοί των γεωμετρικών και μορφολογικών ιδιοτήτων είναι αποτέλεσμα από το μέσο όρο οκτώ φωτογραφιών της κάθε φρατζόλας τσουρεκιού. Φωτογραφίες ελήφθησαν την ημέρα παραγωγής των τσουρεκιών καθώς και την κάθε ημέρα μετά την αποθήκευσή τους, δηλαδή οι γεωμετρικές και μορφολογικές ιδιότητες του τσουρεκιού έχουν υπολογιστεί σε 6 χρόνους σε διάστημα ημερών από 0 έως και 14 ημέρες.



**ΕΙΚΟΝΑ 3.5:** Απεικόνιση φωτογραφικής μηχανής Canon EOS 4000D digital και λογισμικού προγράμματος Image Pro Analysis-Plus v7.0.1.658

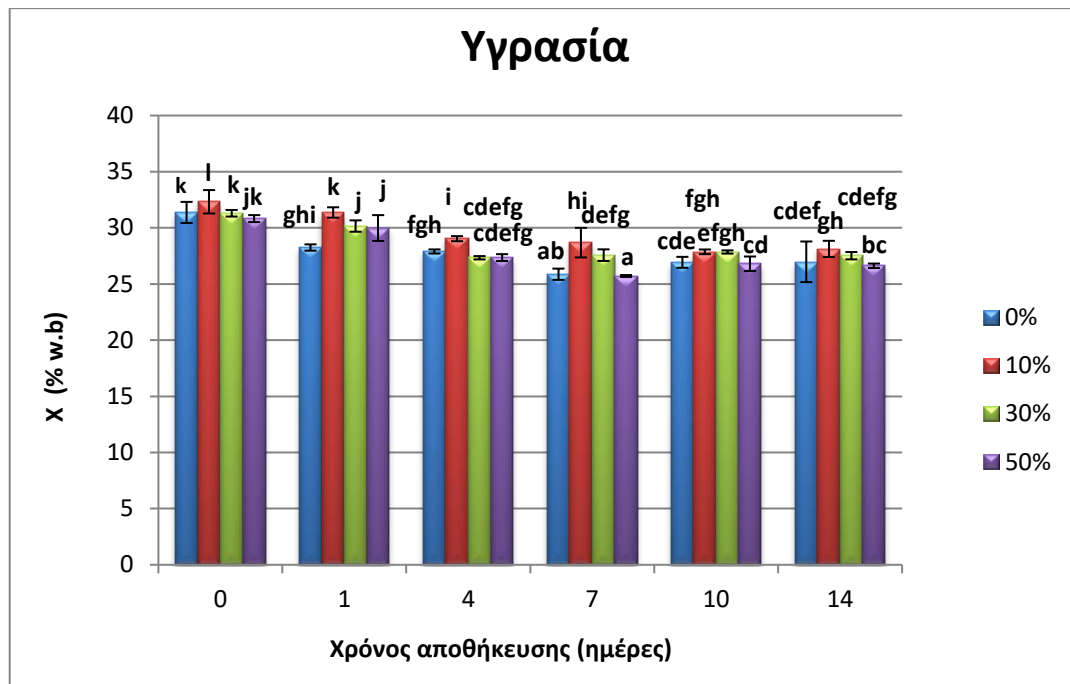
### 3.7 Στατιστική επεξεργασία

Για τον έλεγχο του επιπέδου σημαντικότητας της επίδρασης των ανεξάρτητων μεταβλητών στους μέσους όρους των τιμών των ιδιοτήτων εφαρμόστηκε η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA). Στις περιπτώσεις που παρατηρήθηκαν σημαντικές επιδράσεις εφαρμόστηκε το κριτήριο Duncan, έτσι ώστε να ελεγχθούν οι διαφορές των μέσων όρων των παραμέτρων. Η επεξεργασία των δεδομένων διεξήχθη στο πρόγραμμα Statistica (Statistica 7, Statsoft Inc Tulsa, Ok, USA).



## 4 Αποτελέσματα και συζήτηση

### 4.1 Αποτελέσματα φυσικοχημικών ιδιοτήτων



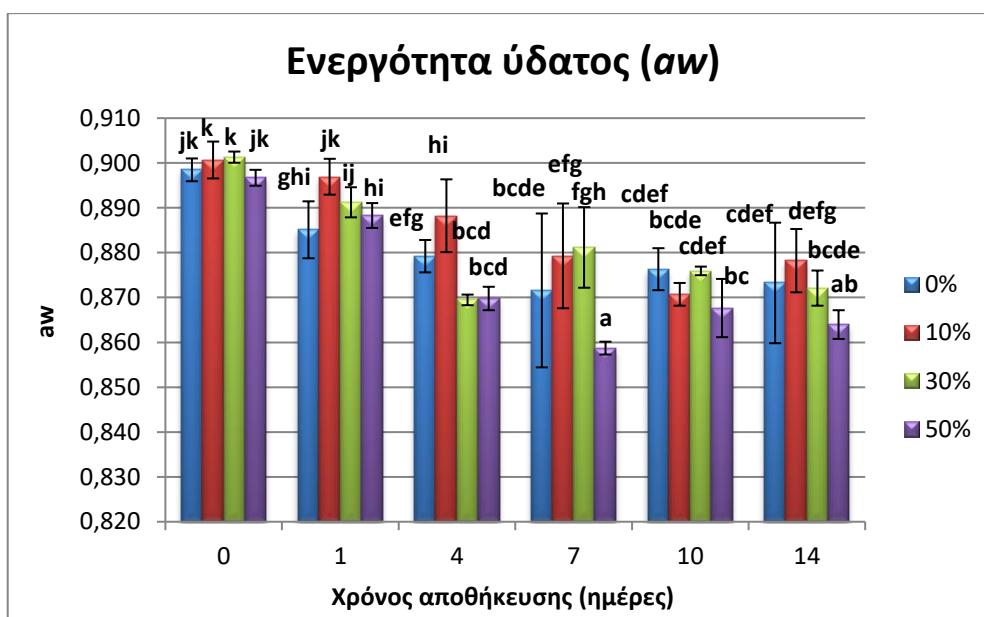
**ΣΧΗΜΑ 4.1:** Διάγραμμα μεταβολής της περιεκτικότητας της υγρασίας του τσουρεκιού σε διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάνναβης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του

**ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΕ ΚΑΘΕ ΣΤΗΛΗ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΗΜΕΡΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ( $P < 0,05$ )**

Η υγρασία είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα των αρτοσκευασμάτων. Στο Σχήμα 4.1 απεικονίζεται η μεταβολή της περιεκτικότητας της υγρασίας του τσουρεκιού σε όλα τα ποσοστά αλεύρου κάνναβης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του και διακρίνεται η σημαντική στατιστική διαφορά στις τιμές ( $P < 0,05$ ). Παρατηρείται σε γενικές γραμμές μια σταδιακή μείωση της υγρασίας σε όλα τα ποσοστά αλεύρου κάνναβης με την πάροδο των ημερών γεγονός που αναμενόταν να συμβεί καθώς το αρτοσκεύασμα παλαιώνει και η υγρασία από την ψίχα μεταφέρεται στην κόρα. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την έρευνα των Baik & Chinachoti, 2000 οι οποίοι αποθήκευσαν ψωμί με κόρα και σκέτη την ψίχα χωρίς κόρα στους 25°C και παρατήρησαν ότι το ψωμί με την κόρα είχε μειωμένη υγρασία και aw στην ψίχα και αυξημένη στην κόρα ενώ το ψωμί που αποθηκεύτηκε μόνο με την ψίχα δεν παρουσίασε σημαντική αλλαγή με την πάροδο των ημερών. Επιπλέον, παρατηρώντας το σχήμα 4.1 μπορεί να αντιληφθεί κανείς και την επίδραση της προσθήκης αλεύρου κάνναβης. Η περιεχόμενη υγρασία της ψίχας την ημέρα



παρασκευής του τσουρεκιού χωρίς άλευρο κάνναβης (31,372%) δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά από το τσουρέκι με υποκατάσταση αλεύρου κάνναβης 30% (31,298%) και 50% (30,822%). Μόνο στο τσουρέκι με υποκατάσταση 10% αλεύρου κάνναβης παρατηρήθηκε μια μικρή αύξηση σε 32,322%. Αντίστοιχα, δεν παρατηρήθηκε καμία στατιστική διαφορά στην περιεχόμενη υγρασία σε ψωμί με προσθήκη αλεύρου κάνναβης σε ποσοστά 15%,30%,50% την ημέρα παραγωγής τους στην έρευνα των Mikulec et al., 2019. Επίσης, στην έρευνα των Jamal Nasir et al., 2018 όπου προστέθηκε σε ψωμί αλεύρι κάνναβης ποσοστό 10%,15% και 25%, σπόροι κάνναβης και έλαιο κάνναβης παρατηρήθηκε αύξηση της υγρασίας σε σύγκριση με το ψωμί χωρίς κάνναβη. Αυτή η αύξηση πιθανότατα οφείλεται από την μια, στις κολλοειδείς διεργασίες (πήξη του πρωτεϊνικού περιεχομένου) από την έψηση ή σε μια ασθενέστερη αλληλεπίδραση υδατοστερεών στο δίκτυο της ψίχας, πιθανώς λόγω της αυξημένης παρουσίας φυτικών ινών από την κάνναβη. (Curti et al., 2013)



**ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΕ ΚΑΘΕ ΣΤΗΛΗ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΗΜΕΡΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ (P<0,05)**

**ΣΧΗΜΑ 4.2:** : Διάγραμμα μεταβολής της ενεργότητας ύδατος του τσουρεκιού σε διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάνναβης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του

Η ενεργότητα ύδατος είναι ένας σημαντικός παράγοντας για μικροβιακή αλλοίωση σε ένα προϊόν καθώς επίσης και για τον προσδιορισμό φυσικών αλλαγών (σκληρότητας) της ψίχας του ψωμιού κατά την αποθήκευση (Lazaridou et al., 2007). Στο σχήμα 4.2 απεικονίζεται η μεταβολή της ενεργότητας ύδατος του τσουρεκιού σε όλα τα επίπεδα

αλεύρου κάρναβης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του όπου διακρίνεται και η σημαντική στατιστική διαφορά στις τιμές ( $P < 0,05$ ). Παρατηρώντας το Σχήμα 4.2, διακρίνεται μείωση της ενεργότητας ύδατος κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης η οποία είναι σχετικά παράλληλη με τη μείωση της υγρασίας στην ψίχα. Αυτό παρατηρήθηκε και στην έρευνα της Lazaridou et al., 2007. Ωστόσο, η προσθήκη αλεύρου κάρναβης δεν έδειξε να επηρέασε την ενεργότητα ύδατος της ψίχας καθώς δεν παρατηρείται σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των δειγμάτων σε όλα τα ποσοστά αλεύρου κάρναβης. Στον πίνακα 4.1, φαίνεται ότι το τσουρέκι χωρίς κάρναβη την ημέρα παραγωγής είχε ενεργότητα ύδατος 0,88 και το τσουρέκι με ποσοστό 50% άλευρο κάρναβης είχε 0,874. Ένα ακόμη φυσικοχημικό χαρακτηριστικό του τσουρεκιού που μετρήθηκε είναι η % απώλεια βάρους κατά τον κλιβανισμό, η οποία υπολογίστηκε την ημέρα παρασκευής οπότε τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν μόνο ανάλογα με το ποσοστό αλεύρου κάρναβης. Η προσθήκη αλεύρου κάρναβης δεν φάνηκε να επηρέασε την απώλεια κατά τον κλιβανισμό καθώς δεν παρατηρήθηκε σημαντική στατιστική διαφορά όπως δείχνει και ο Πίνακας 4.1. παρακάτω. Στην έρευνα των Mikulec et al., 2019, όπου έφτιαξαν ψωμί με υποκατάσταση αλεύρου κάρναβης σε ποσοστό 15%, 30% και 50% αντίστοιχα, δεν παρατηρήθηκε επίσης καμία επίδραση του αλεύρου κάρναβης στην απώλεια κατά τον κλιβανισμό.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1:** % Απώλεια βάρους κατά τον κλιβανισμό σε διαφορετικό ποσοστό αλεύρου κάρναβης

Αλεύρι Κάρναβης (%)	Απώλεια βάρους κατά τον κλιβανισμό (%)
0	7,178±1,625 <sup>a</sup>
10	6,183±1,283 <sup>a</sup>
30	6,59±0,533 <sup>a</sup>
50	7,021±0,475 <sup>a</sup>

ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΓΡΑΜΜΑ ΣΤΟΝ ΕΚΘΕΤΗ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΣΤΗΛΗ ΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ( $P < 0,05$ )

## 4.2 Αποτελέσματα χρώματος

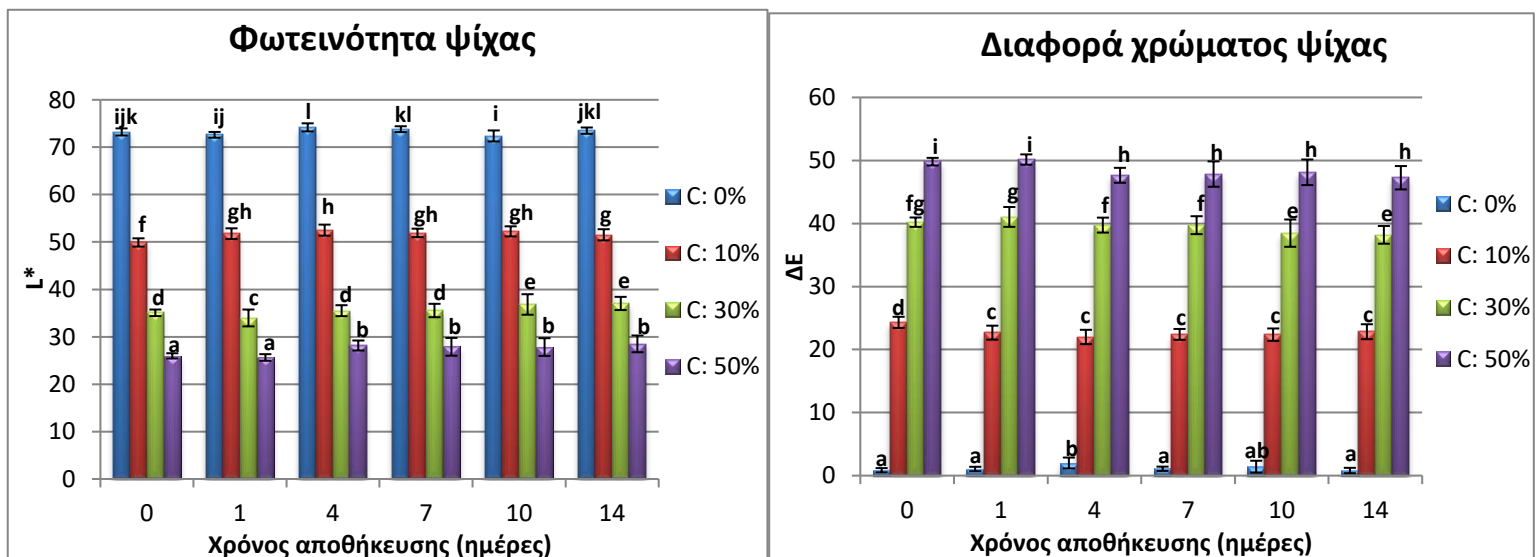
**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2:** Επίδραση του χρόνου αποθήκευσης σε συνδυασμό με την προσθήκη αλεύρου κάρναβης στο χρώμα της ψίχας του τσουρεκιού

Αλεύρι Κάρναβης (%)	Χρόνος αποθήκευσης (ημέρες)	L	a	b	ΔΕ
0	0	73,221±0,748 <sup>ijk</sup>	4,168±0,346 <sup>b</sup>	30,604±0,46 <sup>lm</sup>	0,853±0,34 <sup>a</sup>
0	1	72,615±0,608 <sup>ij</sup>	4,261±0,161 <sup>b</sup>	30,166±0,585 <sup>k</sup>	1,048±0,355 <sup>a</sup>
0	4	74,186±0,853 <sup>l</sup>	3,663±0,189 <sup>a</sup>	29,041±0,633 <sup>j</sup>	2,005±0,859 <sup>b</sup>
0	7	73,8±0,617 <sup>kl</sup>	4,543±0,216 <sup>cd</sup>	30,636±0,66 <sup>lm</sup>	1,085±0,34 <sup>a</sup>
0	10	72,371±1,163 <sup>i</sup>	4,306±0,294 <sup>b</sup>	30,863±0,855 <sup>m</sup>	1,417±0,943 <sup>ab</sup>
0	14	73,49±0,663 <sup>kl</sup>	4,292±0,261 <sup>b</sup>	30,402±0,488 <sup>kl</sup>	0,809±0,429 <sup>a</sup>
10	0	49,901±0,874 <sup>f</sup>	4,996±0,128 <sup>jk</sup>	23,793±0,388 <sup>i</sup>	24,309±0,887 <sup>d</sup>
10	1	51,75±1,135 <sup>gh</sup>	4,583±0,071 <sup>cde</sup>	23,318±0,324 <sup>gh</sup>	22,678±1,112 <sup>c</sup>
10	4	52,498±1,16 <sup>gh</sup>	4,576±0,149 <sup>cde</sup>	23,253±0,239 <sup>fg</sup>	21,993±1,139 <sup>c</sup>
10	7	51,916±0,896 <sup>gh</sup>	4,698±0,147 <sup>efg</sup>	23,694±0,253 <sup>hi</sup>	22,404±0,865 <sup>c</sup>
10	10	52,239±1,065 <sup>gh</sup>	4,49±0,176 <sup>c</sup>	22,891±0,395 <sup>f</sup>	22,362±0,984 <sup>c</sup>
10	14	51,511±1,179 <sup>g</sup>	4,805±0,252 <sup>ghi</sup>	23,601±0,697 <sup>ghi</sup>	22,829±1,186 <sup>c</sup>
30	0	35,058±0,693 <sup>d</sup>	5,09±0,109 <sup>kl</sup>	17,981±0,47 <sup>d</sup>	40,207±0,744 <sup>fg</sup>
30	1	33,971±1,78 <sup>c</sup>	4,977±0,125 <sup>jk</sup>	18,679±0,592 <sup>e</sup>	41,039±1,575 <sup>g</sup>
30	4	35,506±1,156 <sup>d</sup>	4,949±0,196 <sup>ijk</sup>	18,096±0,344 <sup>d</sup>	39,742±1,186 <sup>f</sup>
30	7	35,539±1,418 <sup>d</sup>	4,859±0,202 <sup>hij</sup>	18,023±0,326 <sup>d</sup>	39,732±1,421 <sup>f</sup>
30	10	36,817±2,165 <sup>e</sup>	4,748±0,246 <sup>fgh</sup>	18,186±0,434 <sup>d</sup>	38,469±2,163 <sup>e</sup>
30	14	37,032±1,392 <sup>e</sup>	4,763±0,154 <sup>fgh</sup>	18,4±0,322 <sup>de</sup>	38,195±1,404 <sup>e</sup>
50	0	25,97±0,553 <sup>a</sup>	4,946±0,068 <sup>ijk</sup>	14,865±0,393 <sup>ab</sup>	49,808±0,602 <sup>i</sup>
50	1	25,634±0,7 <sup>a</sup>	5,19±0,15 <sup>l</sup>	14,829±0,573 <sup>ab</sup>	50,143±0,818 <sup>i</sup>
50	4	28,161±1,053 <sup>b</sup>	4,667±0,119 <sup>defg</sup>	15,136±0,685 <sup>bc</sup>	47,644±1,183 <sup>h</sup>
50	7	27,883±1,876 <sup>b</sup>	4,887±0,122 <sup>hij</sup>	15,354±0,782 <sup>c</sup>	47,838±2,011 <sup>h</sup>
50	10	27,833±1,873 <sup>b</sup>	4,654±0,112 <sup>def</sup>	14,619±0,858 <sup>a</sup>	48,122±2,029 <sup>h</sup>
50	14	28,506±1,768 <sup>b</sup>	4,812±0,088 <sup>ghi</sup>	15,333±0,763 <sup>c</sup>	47,256±1,854 <sup>h</sup>

ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΓΡΑΜΜΑ ΣΤΟΝ ΕΚΘΕΤΗ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΣΤΗΛΗ ΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ (P<0,05)

Οι τιμές των παραμέτρων του χρώματος της ψίχας και της κόρας παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2 και στον Πίνακα 4.3 αντίστοιχα. Λόγω του σκούρου πρασινωπού χρώματος του αλεύρου κάρναβης, η προσθήκη του στο τσουρέκι είχε σημαντική επίδραση τόσο στο χρώμα της ψίχας όσο και της κόρας. Από τον Πίνακα 4.2 παρατηρείται η σημαντική στατιστική διαφορά (P<0,05) στην παράμετρο L\* που δείχνει τη φωτεινότητα στην ψίχα του τσουρεκιού, η οποία μειώνεται αρκετά όσο το ποσοστό αλεύρου κάρναβης αυξάνεται. Ωστόσο, ο χρόνος αποθήκευσης δεν φάνηκε να επηρέασε σημαντικά τη φωτεινότητα του τσουρεκιού καθώς δεν παρατηρήθηκε περαιτέρω μείωση στις τιμές του κάθε ποσοστού με την πάροδο των ημερών. Η παράμετρος a\* ήταν θετική σε όλα τα δείγματα και εμφάνισε μια μικρή αύξηση από 4,168 σε 4,946. Η αύξηση της δείχνει ότι το χρώμα τείνει

να γίνεται πιο κόκκινο ενώ όταν μειώνεται η τιμή γίνεται λιγότερο κόκκινο και αν έχει αρνητική τιμή δείχνει το πράσινο χρώμα. Η παράμετρος  $b^*$  ήταν εξίσου θετική σε όλα τα δείγματα και εμφάνισε μείωση καθώς το ποσοστό αλεύρου κάνναβης αυξήθηκε, δεδομένου ότι όσο μεγαλύτερη τιμή έχει αυτή η παράμετρος επικρατεί το κίτρινο χρώμα και όσο τείνει να μηδενιστεί γίνεται λιγότερο κίτρινο ενώ η αρνητική τιμή για αυτήν την παράμετρο δείχνει το μπλε χρώμα (Korus et al., 2017). Ο χρόνος αποθήκευσης δεν φάνηκε να επηρέασε ούτε τις παραμέτρους  $a^*$  και  $b^*$ . Στατιστικά σημαντική διαφορά παρατηρήθηκε στη διαφορά χρώματος  $\Delta E$  κυρίως με την αύξηση του ποσοστού αλεύρου κάνναβης. Η διαφορά χρώματος ήταν  $\Delta E > 3$  και για τα τρία ποσοστά αλεύρου κάνναβης που σημαίνει ότι έγινε αντιληπτή με γυμνό μάτι ενώ ο χρόνος αποθήκευσης δεν την επηρέασε σημαντικά. Αντίστοιχα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και στην έρευνα των Rojic et al., 2015, οι οποίοι αντικατέστησαν αλεύρι σίτου με αλεύρι κάνναβης σε ποσοστά 0%, 5%, 10% και 20% για την παρασκευή άρτου. Παρατηρήθηκε μείωση στη φωτεινότητα ( $L^*$ ) της ψίχας και της κόρας, ενώ αντίστοιχα η διαφορά χρώματος αυξήθηκε με την αύξηση του ποσοστού αλεύρου κάνναβης. Ακόμη, οι Mikulec et al., 2019 έδειξαν στην έρευνα τους ότι η αύξηση του ποσοστού αλεύρου κάνναβης μείωσε την παράμετρο  $b^*$  όπως παρατηρήθηκε και στην παρούσα έρευνα. Στο Σχήμα 4.3 παρακάτω παρουσιάζεται η μεταβολή της φωτεινότητας και της διαφοράς χρώματος της ψίχας του τσουρεκιού στα διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάνναβης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του.



**ΣΧΗΜΑ 4.3:** Μεταβολή της φωτεινότητας και της διαφοράς χρώματος της ψίχας του τσουρεκιού στα διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάνναβης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του

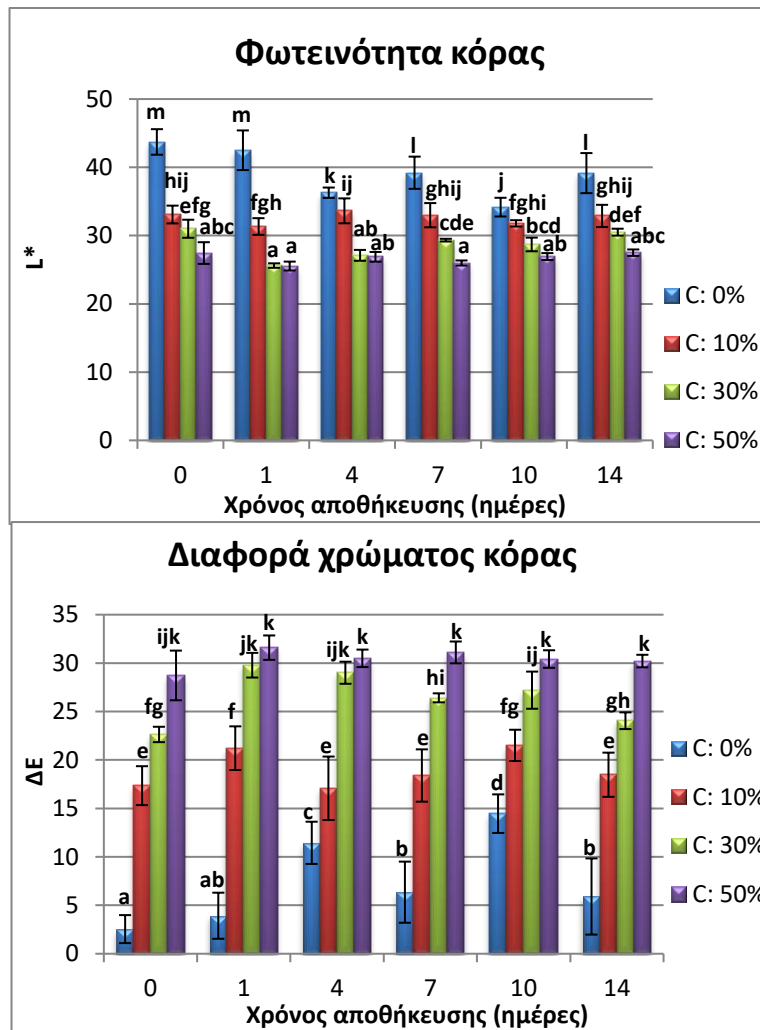
ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΕ ΚΑΘΕ ΣΤΗΛΗ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΗΜΕΡΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ( $P < 0,05$ )

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3:** Επίδραση του χρόνου αποθήκευσης σε συνδυασμό με της προσθήκη αλεύρου κάρναβης στο χρώμα της κόρας του τσουρεκιού

Αλεύρι Κάρναβης (%)	Χρόνος αποθήκευσης (ημέρες)	L	a	b	ΔΕ
0	0	43,713±1,872 <sup>m</sup>	19,823±1,134 <sup>gh</sup>	31,582±2,249 <sup>j</sup>	2,543±1,446 <sup>a</sup>
0	1	42,5±2,904 <sup>m</sup>	19,437±0,503 <sup>gh</sup>	28,66±2,194 <sup>i</sup>	3,922±2,379 <sup>ab</sup>
0	4	36,28±0,757 <sup>k</sup>	17,877±0,979 <sup>f</sup>	23,197±2,422 <sup>h</sup>	11,45±2,179 <sup>c</sup>
0	7	39,205±2,36 <sup>l</sup>	19,028±0,398 <sup>g</sup>	27,213±2,161 <sup>i</sup>	6,354±3,155 <sup>b</sup>
0	10	34,163±1,371 <sup>j</sup>	17,08±0,213 <sup>f</sup>	21,092±1,574 <sup>h</sup>	14,461±1,991 <sup>d</sup>
0	14	39,15±2,934 <sup>l</sup>	20,083±1,059 <sup>h</sup>	27,94±2,621 <sup>i</sup>	5,908±3,933 <sup>b</sup>
10	0	33,084±1,304 <sup>hij</sup>	14,86±0,808 <sup>e</sup>	18,832±1,689 <sup>g</sup>	17,352±2,008 <sup>e</sup>
10	1	31,327±1,223 <sup>fgh</sup>	13,723±1,046 <sup>d</sup>	15,477±1,726 <sup>def</sup>	21,22±2,253 <sup>f</sup>
10	4	33,625±1,825 <sup>ij</sup>	15,048±0,605 <sup>e</sup>	18,66±2,696 <sup>g</sup>	17,079±3,275 <sup>e</sup>
10	7	32,988±1,773 <sup>ghij</sup>	14,292±0,926 <sup>de</sup>	17,713±1,983 <sup>fg</sup>	18,397±2,7 <sup>e</sup>
10	10	31,79±0,464 <sup>fghi</sup>	13,36±1,014 <sup>d</sup>	14,92±1,662 <sup>d</sup>	21,507±1,613 <sup>fg</sup>
10	14	32,876±1,627 <sup>ghij</sup>	14,824±0,366 <sup>e</sup>	17,494±1,77 <sup>efg</sup>	18,478±2,281 <sup>e</sup>
30	0	31±1,322 <sup>efg</sup>	10,813±0,159 <sup>c</sup>	15,187±0,242 <sup>de</sup>	22,636±0,794 <sup>fg</sup>
30	1	25,604±0,329 <sup>a</sup>	9,904±0,871 <sup>bc</sup>	10,14±1,459 <sup>ab</sup>	29,785±1,274 <sup>jk</sup>
30	4	27,102±0,797 <sup>ab</sup>	9,538±0,444 <sup>b</sup>	10,153±1,006 <sup>ab</sup>	29,005±1,14 <sup>ijk</sup>
30	7	29,33±0,201 <sup>cde</sup>	10,087±0,122 <sup>bc</sup>	11,68±0,461 <sup>bc</sup>	26,415±0,465 <sup>hi</sup>
30	10	28,702±1,001 <sup>bcd</sup>	10,06±0,631 <sup>bc</sup>	11,104±1,595 <sup>ab</sup>	27,206±1,918 <sup>ij</sup>
30	14	30,5±0,508 <sup>def</sup>	10,627±0,242 <sup>c</sup>	13,713±0,847 <sup>cd</sup>	24,054±0,863 <sup>gh</sup>
50	0	27,44±1,591 <sup>abc</sup>	8,062±0,712 <sup>a</sup>	11,056±2,167 <sup>ab</sup>	28,729±2,564 <sup>ijk</sup>
50	1	25,535±0,653 <sup>a</sup>	7,585±0,64 <sup>a</sup>	8,833±1,24 <sup>a</sup>	31,596±1,259 <sup>k</sup>
50	4	26,887±0,713 <sup>ab</sup>	7,488±0,269 <sup>a</sup>	9,347±0,746 <sup>ab</sup>	30,494±0,902 <sup>k</sup>
50	7	25,982±0,374 <sup>a</sup>	7,852±0,485 <sup>a</sup>	9,003±1,009 <sup>a</sup>	31,106±1,126 <sup>k</sup>
50	10	26,923±0,508 <sup>ab</sup>	7,515±0,294 <sup>a</sup>	9,402±0,775 <sup>ab</sup>	30,42±0,908 <sup>k</sup>
50	14	27,494±0,472 <sup>abc</sup>	7,574±0,298 <sup>a</sup>	9,236±0,706 <sup>ab</sup>	30,211±0,65 <sup>k</sup>

ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΓΡΑΜΜΑ ΣΤΟΝ ΕΚΘΕΤΗ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΣΤΗΛΗ ΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ (P<0,05)

Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παραμέτρων του χρώματος για την κόρα του τσουρεκιού στα διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάρναβης κατά την αποθήκευση του. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί από τον Πίνακα 4.3 ο χρόνος αποθήκευσης δεν επηρέασε σημαντικά καμία παράμετρο του χρώματος της κόρας καθώς επίσης ούτε τη διαφορά χρώματος ΔΕ. Όμως, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική μείωση (P<0,05) στην φωτεινότητα L\* και στις παραμέτρους a\* και b\* της κόρας με την αύξηση του ποσοστού αλεύρου κάρναβης ενώ η διαφορά χρώματος ΔΕ αυξήθηκε σημαντικά και στην κόρα καθώς αυξήθηκε το ποσοστό αλεύρου κάρναβης. Η μεταβολή της φωτεινότητας L\* και της διαφοράς χρώματος της κόρας του τσουρεκιού στα διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.4 παρακάτω.



**ΣΧΗΜΑ 4.4:** Μεταβολή φωτεινότητας και διαφοράς χρώματος της κόρας του τσουρεκιού στα διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάνναβης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του

**ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΕ ΚΑΘΕ ΣΤΗΛΗ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΗΜΕΡΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ (P<0,05)**

### 4.3 Αποτελέσματα δομικών ιδιοτήτων

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4:** Ειδικός όγκος του τσουρεκιού στα διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάνναβης την ημέρα παραγωγής

Αλεύρι Κάνναβης (%)	Ειδικός Όγκος (Ημέρα παραγωγής) (cm <sup>3</sup> /g)
0	3,574±0,305 <sup>c</sup>
10	3,806±0,253 <sup>d</sup>
30	3,124±0,185 <sup>b</sup>
50	2,899±0,101 <sup>a</sup>

**ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΓΡΑΜΜΑ ΣΤΟΝ ΕΚΘΕΤΗ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΣΤΗΛΗ ΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ (P<0,05)**

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5:** Επίδραση του χρόνου αποθήκευσης σε συνδυασμό με την προσθήκη αλεύρου κάρναβης στα δομικά χαρακτηριστικά του τσουρεκιού

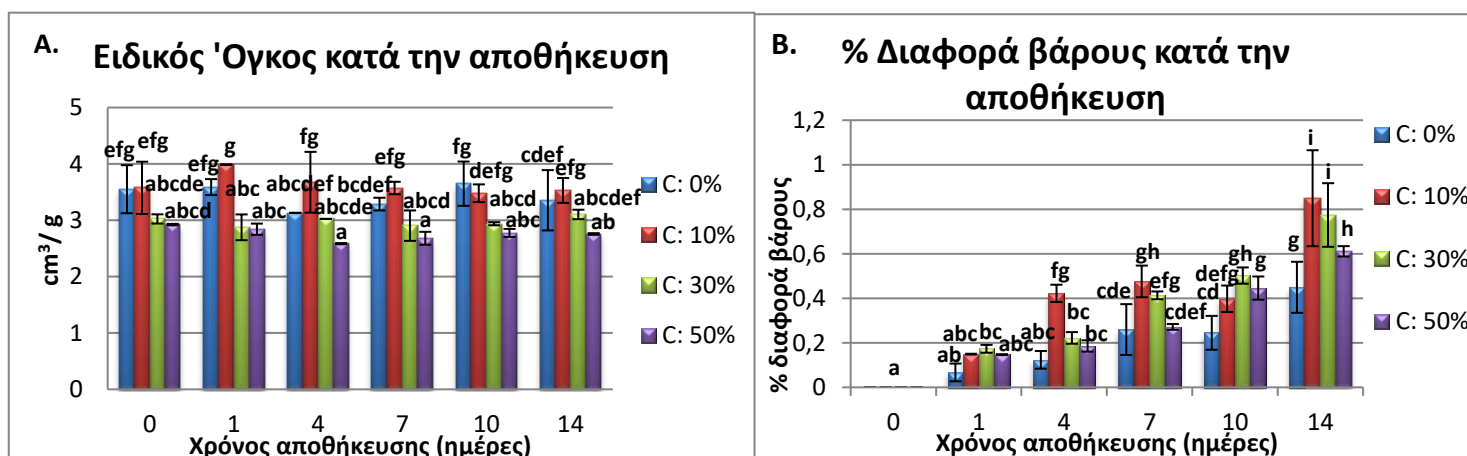
Αλεύρι Κάρναβης (%)	Χρόνος αποθήκευσης (ημέρες)	Όγκος μετά την αποθήκευση (cm <sup>3</sup> )	Ειδικός Όγκος μετά την αποθήκευση (cm <sup>3</sup> /g)	% Διαφορά βάρους
0	0	1853±207,889 <sup>defgh</sup>	3,551±0,426 <sup>efg</sup>	0
0	1	1865±49,497 <sup>defgh</sup>	3,589±0,142 <sup>efg</sup>	0,067±0,04 <sup>ab</sup>
0	4	1645±7,071 <sup>abcde</sup>	3,131±0 <sup>abcdef</sup>	0,123±0,04 <sup>abc</sup>
0	7	1690±0 <sup>bcdef</sup>	3,287±0,113 <sup>bcdef</sup>	0,26±0,114 <sup>cde</sup>
0	10	1925±176,777 <sup>efgh</sup>	3,649±0,393 <sup>fg</sup>	0,245±0,07 <sup>6cd</sup>
0	14	1745±304,056 <sup>cdefg</sup>	3,355±0,535 <sup>cdef</sup>	0,449±0,115 <sup>g</sup>
10	0	1985±190,919 <sup>gh</sup>	3,575±0,464 <sup>efg</sup>	0
10	1	2135±21,213 <sup>h</sup>	3,987±0,005 <sup>g</sup>	0,149±0,002 <sup>abc</sup>
10	4	1950±282,843 <sup>fgh</sup>	3,675±0,539 <sup>fg</sup>	0,422±0,039 <sup>fg</sup>
10	7	1907,5±81,317 <sup>defgh</sup>	3,573±0,111 <sup>efg</sup>	0,476±0,071 <sup>gh</sup>
10	10	1870±56,569 <sup>defgh</sup>	3,48±0,157 <sup>defg</sup>	0,398±0,059 <sup>defg</sup>
10	14	1897,5±137,886 <sup>defgh</sup>	3,529±0,22 <sup>efg</sup>	0,849±0,216 <sup>i</sup>
30	0	1630±35,355 <sup>abcd</sup>	3,024±0,082 <sup>abcde</sup>	0
30	1	1485±35,355 <sup>abc</sup>	2,875±0,229 <sup>abc</sup>	0,173±0,018 <sup>bc</sup>
30	4	1630±0 <sup>abcd</sup>	3,024±0 <sup>abcde</sup>	0,222±0,026 <sup>bc</sup>
30	7	1537,5±109,602 <sup>abc</sup>	2,905±0,27 <sup>abcd</sup>	0,413±0,018 <sup>efg</sup>
30	10	1542,5±3,536 <sup>abc</sup>	2,938±0,027 <sup>abcd</sup>	0,502±0,037 <sup>gh</sup>
30	14	1650±42,426 <sup>abcde</sup>	3,103±0,084 <sup>abcdef</sup>	0,774±0,143 <sup>i</sup>
50	0	1547,5±3,536 <sup>abc</sup>	2,923±0,012 <sup>abcd</sup>	0
50	1	1542,5±67,175 <sup>abc</sup>	2,841±0,1 <sup>abc</sup>	0,147±0,001 <sup>abc</sup>
50	4	1387,5±10,607 <sup>a</sup>	2,585±0,01 <sup>a</sup>	0,186±0,026 <sup>bc</sup>
50	7	1427,5±60,104 <sup>ab</sup>	2,68±0,115 <sup>a</sup>	0,272±0,013 <sup>cdef</sup>
50	10	1487,5±38,891 <sup>abc</sup>	2,776±0,071 <sup>abc</sup>	0,446±0,052 <sup>g</sup>
50	14	1480±14,142 <sup>abc</sup>	2,757±0,014 <sup>ab</sup>	0,611±0,023 <sup>h</sup>

**ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΓΡΑΜΜΑ ΣΤΟΝ ΕΚΘΕΤΗ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΣΤΗΛΗ ΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ (P<0,05)**

Στον Πίνακα 4.4 και 4.5 είναι συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα των δομικών ιδιοτήτων. Στον Πίνακα 4.4 παρουσιάζεται ο ειδικός όγκος του τσουρεκιού την ημέρα παραγωγής του σε διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάρναβης και φαίνεται ότι μειώνεται καθώς αυξάνεται το ποσοστό αλεύρου κάρναβης. Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.5 ο χρόνος αποθήκευσης δεν φάνηκε να επηρέασε σημαντικά τον όγκο και συνεπώς τον ειδικό όγκο του τσουρεκιού σε όλα τα ποσοστά αλεύρου κάρναβης. Ωστόσο, φαίνεται ότι η προσθήκη αλεύρου κάρναβης είχε σημαντική επίδραση στον όγκο και στον ειδικό όγκο του τσουρεκιού. Πιο συγκεκριμένα, με την προσθήκη αλεύρου κάρναβης και αυξάνοντας το ποσοστό της μειώθηκε ο όγκος άρα και ειδικός όγκος του τσουρεκιού. Από τον πίνακα παρατηρείται η στατιστικά σημαντική διαφορά (P<0,05) στα δείγματα. Όπως είναι γνωστό, το αλεύρι



σίτου έχει υψηλή περιεκτικότητα γλουτένης η οποία ευνοεί την ανάπτυξη σταθερής δομής στο τελικό αρτοσκεύασμα, γεγονός που οδηγεί σε μεγαλύτερο όγκο άρα και ειδικό όγκο. Το άλευρο κάνναβης είναι πλούσιο σε φυτικές ίνες και πρωτεΐνες αλλά δεν έχει γλουτένη. Η προσθήκη του στο τσουρέκι οδηγεί σε μικρότερη ικανότητα απορρόφησης νερού και εν συνεχεία μειώνει την ικανότητα συγκράτησης αερίων που παράγονται κατά τον κλιβανισμό (Pojić et al., 2015; Šottní-ková et al., 2019). Σε έρευνα των Mikulec et al., 2019 βρέθηκε ότι η προσθήκη αλεύρου κάνναβης σε άρτο μείωσε τον όγκο του και συγκεκριμένα ο άρτος με 30% άλευρο κάνναβης και ο άρτος με 50% είχαν τους πιο μικρούς όγκους. Ακόμη, οι Švec & Hrušková, 2015, παρατήρησαν μείωση στον ειδικό όγκο σε άρτο με προσθήκη αλεύρου κάνναβης 5%,10%,15% και 20%, ο οποίος κυμάνθηκε από 2,42cm<sup>3</sup>/g για το 5% μέχρι 1,96 cm<sup>3</sup>/g για το 20%. Σε αυτό που παρατηρήθηκε επίδραση του χρόνου αποθήκευσης αλλά και της προσθήκης του αλεύρου κάνναβης ήταν η διαφορά βάρους % όπου φαίνεται και στον Πίνακα 4.4. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα φαίνεται η επίδραση της προσθήκης του αλεύρου κάνναβης και του χρόνου αποθήκευσης, καθώς όλα τα τσουρέκια με τα ποσοστά αλεύρου κάνναβης σε σύγκριση με το βασικό τσουρέκι έχουν χάσει μεγαλύτερο ποσοστό βάρους. Κατά την αποθήκευση τους τα αρτοσκευάσματα λόγω της παλαίωσης που συμβαίνει μειώνεται η υγρασία τους με αποτέλεσμα να χάνουν ένα ποσοστό του βάρους τους. Στα Σχήματα 4.3.A και 4.3.B που ακολουθούν απεικονίζονται η μεταβολή του ειδικού όγκου και της % διαφορά βάρους του τσουρεκιού στα διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάνναβης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του.

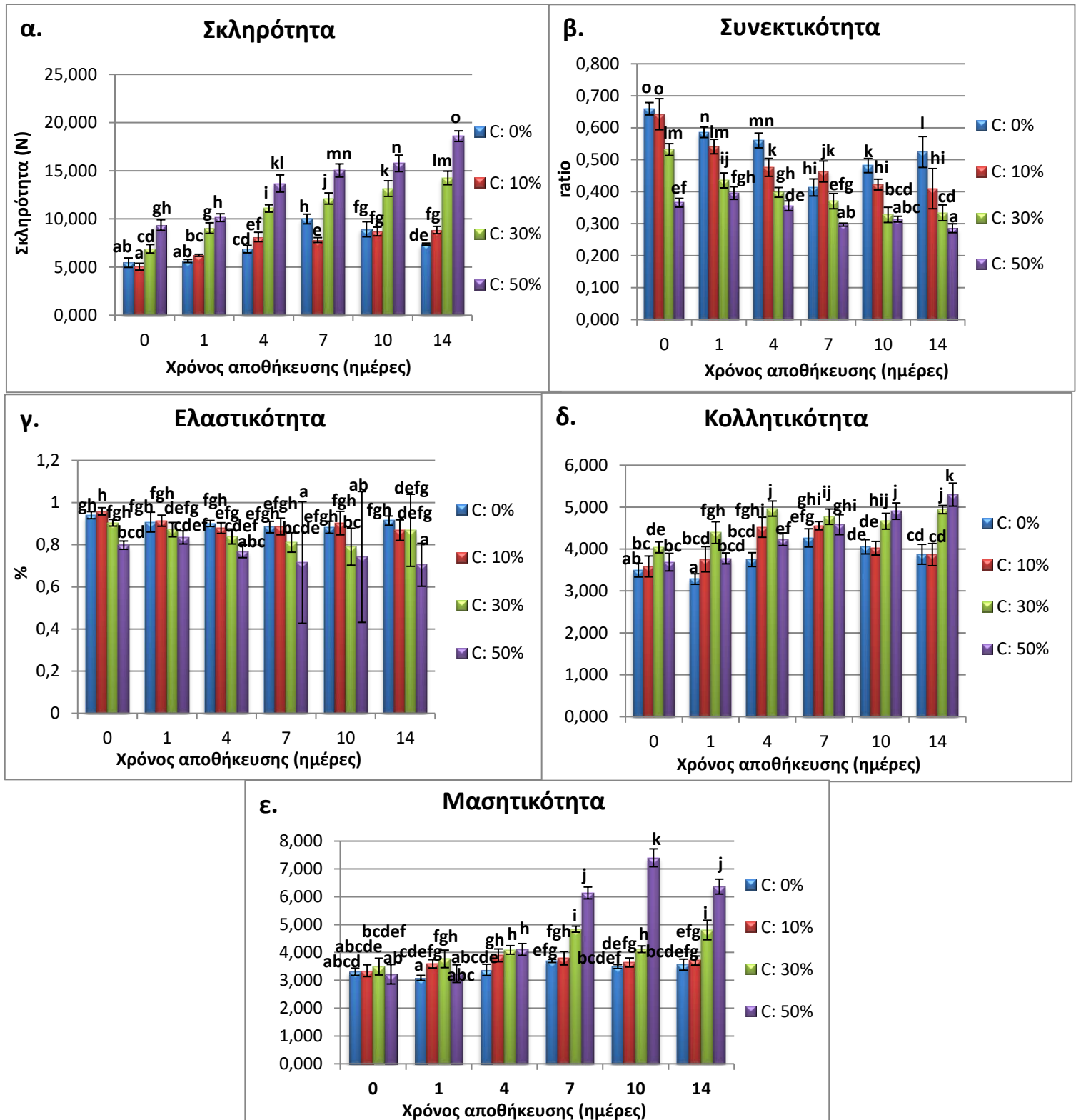


**ΣΧΗΜΑ 4.3:** Μεταβολή του ειδικού όγκου και της % διαφοράς βάρους του τσουρεκιού στα διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάνναβης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του

ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΕ ΚΑΘΕ ΣΤΗΛΗ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΗΜΕΡΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ (P<0,05)



#### 4.4 Αποτελέσματα ιδιοτήτων υφής



**Σχήμα 4.5:** Μεταβολή των χαρακτηριστικών της υφής του τσουρεκιού σε διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάνναβης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του. **α.** Σκληρότητα **β.** Συνεκτικότητα **γ.** Ελαστικότητα **δ.** Κολλητικότητα **ε.** Μασητικότητα

ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΚΑΘΕ ΗΜΕΡΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ (P<0,05)

Τα χαρακτηριστικά της υφής για τα αρτοσκευάσματα αποτελούν ένα από τους πιο σημαντικούς παράγοντες ποιότητας για την αποδοχή τους από τους καταναλωτές. Επίσης, τα αρτοσκευάσματα κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους υπόκεινται σε φυσικοχημικές αλλαγές οι οποίες οδηγούν στην απώλεια σταθερότητας της ψίχας τους, η οποία και είναι η συνηθέστερη παράμετρος για την αξιολόγηση της παλαίωσης τους (Ribotta & Le-Bail, 2007). Εκτός όμως από την παλαίωση που οδηγεί σε μια πιο σκληρή και σφιχτή δομή, ένας ακόμη λόγος είναι η περιεχόμενη γλουτένη στο προϊόν, καθώς πολλά προϊόντα περιέχουν υψηλό ποσοστό γλουτένης και ως εκ τούτου είναι περισσότερο αφράτα, συνεπώς σε μια δοκιμή συμπίεσης παρουσιάζουν χαμηλή τιμή σκληρότητας (Curti et al., 2014). Έτσι, καθώς το ποσοστό αλεύρου κάνναβης αυξάνεται και το αλεύρι σίτου μειώνεται, η περιεχόμενη γλουτένη στο τσουρέκι μειώνεται γεγονός που καθιστά το τελικό προϊόν πιο σκληρό καθώς αποκτά πιο πυκνή δομή (Rojić et al., 2015). Στα διαγράμματα του Σχήματος 4.5 παρουσιάζονται οι μεταβολές των χαρακτηριστικών της υφής του τσουρεκιού στα διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάνναβης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του.

Στο Σχήμα 4.5.α παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά ( $P < 0,05$ ) στη σκληρότητα μεταξύ των δειγμάτων. Είναι ευδιάκριτο ότι η σκληρότητα του τσουρεκιού επηρεάστηκε σημαντικά τόσο από τον χρόνο αποθήκευσης του όσο και από την προσθήκη αλεύρου κάνναβης. Πιο συγκεκριμένα, την ημέρα παραγωγής το τσουρέκι χωρίς υποκατάσταση είχε σκληρότητα 5,4595 N ενώ το τσουρέκι με υποκατάσταση 30% αλεύρου κάνναβης είχε 6,8971 N και αυτό με 50% υποκατάσταση αλεύρου κάνναβης είχε 9,3594 N. Με την πάροδο των ημερών παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της σκληρότητας με το τσουρέκι χωρίς υποκατάσταση αλεύρου κάνναβης να έχει την 14<sup>η</sup> ημέρα 7,3864 N, το τσουρέκι με 30% να έχει 14,2531 N και αυτό με 50% υποκατάσταση να έχει την πιο μεγάλη τιμή 18,5899 N. Στην έρευνα των Mikulec et al., 2019, στην οποία υποκατέστησαν αλεύρι σίτου με διάφορα ποσοστά αλεύρου κάνναβης παρατήρησαν παρόμοια αποτελέσματα. Το ψωμί χωρίς άλευρο κάνναβης είχε την πιο χαμηλή τιμή στη σκληρότητα 15,25 N σε σχέση με το 30% που είχε 20,09 N. Επίσης παρατήρησαν μια αύξηση της σκληρότητας σε όλα τα ψωμιά κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Αύξηση στην σκληρότητα παρατηρήθηκε και από τους Istrate et al., 2021, οι οποίοι πρόσθεσαν σε ψωμί άλευρο κάνναβης σε ποσοστά 0%,5%,10%,15% και 20%, όπου αυξάνοντας και το ποσοστό αυξήθηκε η σκληρότητα σημαντικά.

Στο Σχήμα 4.5.β παρουσιάζεται η συνεκτικότητα, η οποία μειώθηκε με την πάροδο των ημερών καθώς και με την αύξηση του ποσοστού αλεύρου κάρναβης. Συγκεκριμένα τη ημέρα παραγωγής του τσουρεκιού, το τσουρέκι χωρίς υποκατάσταση αλεύρου κάρναβης είχε συνεκτικότητα 0,6594, το τσουρέκι με 10% υποκατάσταση αλεύρου κάρναβης είχε 0,6424, το τσουρέκι με 30% είχε 0,5318 και το τσουρέκι με 50% είχε 0,3655. Γενικά, παρατηρήθηκε μείωση της συνεκτικότητας σε όλα τα ποσοστά αλεύρου κάρναβης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, εκτός από το τσουρέκι με 50% υποκατάσταση αλεύρου κάρναβης που την 1<sup>η</sup> και 10<sup>η</sup> ημέρα είχε αυξηθεί σε σχέση με την προηγούμενη ημέρα και μετά την επόμενη ημέρα μειώθηκε ξανά. Επίσης, την 7<sup>η</sup> ημέρα παρατηρήθηκε πιο αυξημένη η συνεκτικότητα του 10% σε σχέση με το τσουρέκι χωρίς υποκατάσταση αλεύρου κάρναβης που είχε μειωθεί πάρα πολύ και την 10<sup>η</sup> και 14<sup>η</sup> ημέρα αυξήθηκε πάλι. Παρατηρώντας όμως τη 14<sup>η</sup> ημέρα, φαίνεται η στατιστικά σημαντική διαφορά ( $P < 0,05$ ) στη μείωση της συνεκτικότητας σε όλα τα δείγματα τσουρεκιού σε σχέση με την ημέρα παραγωγής τους, όπου το τσουρέκι χωρίς άλευρο κάρναβης είχε συνεκτικότητα 0,5242, το τσουρέκι με 10% υποκατάσταση είχε 0,4095, το τσουρέκι με 30% υποκατάσταση είχε 0,3339 και τέλος το τσουρέκι με 50% υποκατάσταση αλεύρου κάρναβης είχε 0,2858. Αντίστοιχα και οι Mikulec et al., 2019 στην έρευνα τους παρατήρησαν στα ψωμιά με 30% και 50% προσθήκη αλεύρου κάρναβης σημαντική μείωση στη συνεκτικότητα, στην κολλητικότητα και τη μασητικότητα. Παρόμοια αποτελέσματα παρατήρησαν και στην έρευνα τους οι Istrate et al., 2021, όπου η συνεκτικότητα των ψωμιών στα μεγαλύτερα ποσοστά αλεύρου κάρναβης δηλαδή 15% και 20%, μειώθηκε σε σχέση με το ψωμί χωρίς άλευρο κάρναβης.

Στο Σχήμα 4.5.γ παρουσιάζεται η ελαστικότητα, η οποία φαίνεται ότι επηρεάζεται από τον χρόνο αποθήκευσης και από την προσθήκη αλεύρου κάρναβης. Παρατηρείται μείωση της ελαστικότητας, ωστόσο δεν είναι σταδιακή καθώς περνάνε οι ημέρες. Ακόμη, φαίνεται ότι μειώνεται με προσθήκη μεγαλύτερης ποσότητας από 10% αλεύρου κάρναβης. Πιο συγκεκριμένα, την ημέρα παραγωγής το τσουρέκι με προσθήκη 10% αλεύρου κάρναβης είχε ελαστικότητα 0,958492, ελάχιστα αυξημένη σε σχέση με το τσουρέκι χωρίς προσθήκη αλεύρου κάρναβης το οποίο είχε ελαστικότητα 0,940084. Το τσουρέκι με 30% και 50% προσθήκη αλεύρου κάρναβης αντίστοιχα είχαν μειωμένη ελαστικότητα ως προς το βασικό τσουρέκι. Το ίδιο παρατηρήθηκε και από τους Istrate et al., 2021, όπου το ψωμί με προσθήκη 10% αλεύρου κάρναβης εμφάνισε ελάχιστα αυξημένη ελαστικότητα (87,31) σε

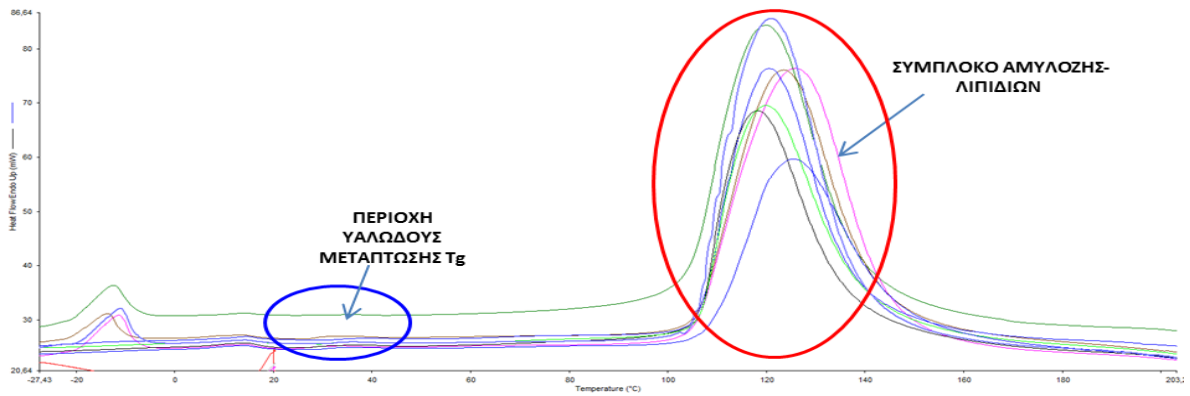
σχέση με το ψωμί χωρίς προσθήκη αλεύρου κάνναβης (87,23). Παρατηρώντας το διάγραμμα την ημέρα παρασκευής του τσουρεκιού και μετά από 14 ημέρες αποθήκευσης του διακρίνεται η μείωση σε όλα τα ποσοστά αλεύρου κάνναβης.

Στο Σχήμα 4.5.δ και 4.5.ε παρουσιάζονται η κολλητικότητα και η μασητικότητα, οι οποίες φαίνεται ότι αυξήθηκαν κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των τσουρεκιών σε όλα τα ποσοστά αλεύρου κάνναβης.

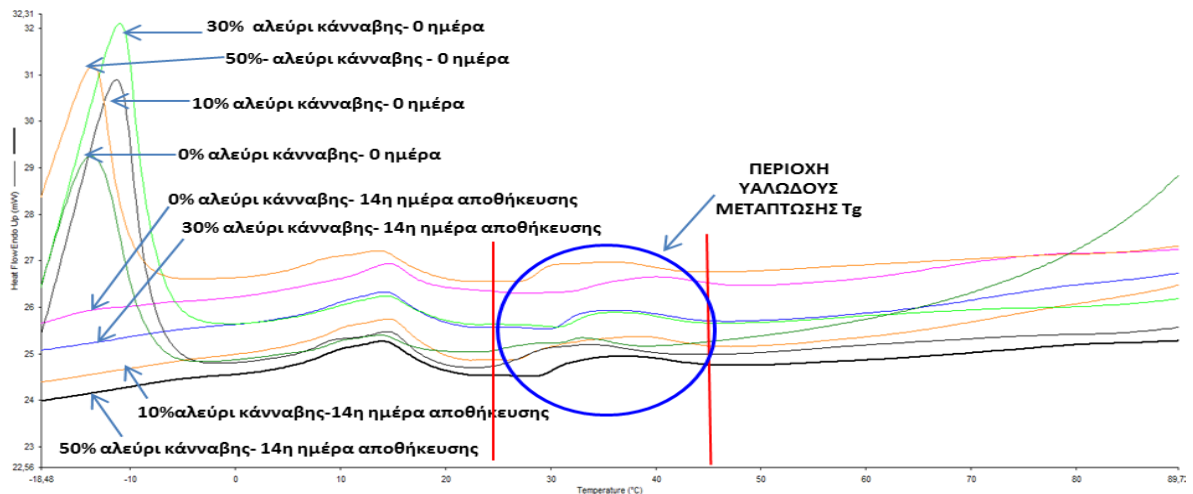
Παρατηρώντας τα διαγράμματα φαίνεται μια αυξητική τάση και στα δυο χαρακτηριστικά κυρίως για τα ποσοστά αλεύρου κάνναβης 30% και 50%. Όσον αφορά τη μασητικότητα για το τσουρέκι με προσθήκη 50% αλεύρου κάνναβης διακρίνεται και από το διάγραμμα από την 7<sup>η</sup> ημέρα και μετά παρουσιάζει σημαντική αύξηση, συνεπώς μπορεί να θεωρηθεί ότι μια αρκετά μεγάλη ποσότητα αλεύρου κάνναβης σε συνδυασμό με τον χρόνο αποθήκευσης κυρίως μετά τις 7 ημέρες επηρεάζει σημαντικά τη μασητικότητα του αρτοσκευάσματος.

#### **4.5 Αποτελέσματα θερμιδομετρίας διαφορικής σάρωσης (DSC)**

Η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης ( $T_g$ ) για το τσουρέκι σε διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάνναβης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του υπολογίστηκε από το μέσο σημείο της βηματικής μεταβολής της ειδικής θερμότητας κατά την σάρωση που προέκυψε από το θερμογράφημα της δοκιμής DSC. Το θερμογράφημα παρουσιάζεται στην Εικόνα 3 παρακάτω. Η περιοχή που εντοπίστηκε η βηματική μεταβολή για όλα τα δείγματα με όλα τα ποσοστά αλεύρου κάνναβης και σε όλες τις ημέρες αποθήκευσης που μελετήθηκαν κυμάνθηκε από τους 24°C έως τους 38°C. Επίσης, εντοπίστηκε και μια δεύτερη ενδόθερμη κορυφή που αντιστοιχεί στο σύμπλοκο αμυλόζης- λιπιδίων, η οποία κυμάνθηκε από τους 102°C έως τους 152°C. Οι τιμές της έναρξης (onset), του μέσου σημείου (midpoint), του καταληκτικού σημείου (endpoint) και του  $\Delta C_p$  της υαλώδους μετάπτωσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.5.



ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΗΜΑ DSC ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΕΣΗ ΤΗΣ ΥΑΛΩΔΟΥΣ ΜΕΤΑΠΤΩΣΗΣ T<sub>g</sub>. ΤΣΟΥΡΕΚΙ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΠΟΣΟΣΤΑ ΑΛΕΥΡΟΥ ΚΑΝΝΑΒΗΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ 0 ΗΜΕΡΑ ΚΑΙ 14<sup>Η</sup> ΗΜΕΡΑ. ΕΝΔΟΘΕΡΜΗ ΣΥΜΠΛΟΚΟΥ ΑΜΥΛΟΖΗΣ-ΛΙΠΙΔΙΩΝ.



ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΗΜΑ DSC ΠΟΥ ΥΠΟΔΕΙΚΝΥΕΙ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΥΑΛΩΔΟΥΣ ΜΕΤΑΠΤΩΣΗΣ T<sub>g</sub> ΓΙΑ ΤΣΟΥΡΕΚΙ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΠΟΣΟΣΤΑ ΑΛΕΥΡΟΥ ΚΑΝΝΑΒΗΣ ΣΤΟΝ ΧΡΟΝΟ 0 ΚΑΙ 14<sup>Η</sup> ΗΜΕΡΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ.

**ΣΧΗΜΑ 4.8:** Θερμογράφημα DSC που υποδεικνύει την περιοχή υαλώδους μετάπτωσης T<sub>g</sub> και την ενδόθερμη του συμπλόκου αμυλόζης-λιπιδίων

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5:** Επίδραση του αλεύρου κάνναβης και του χρόνου αποθήκευσης στην υαλώδη μετάπτωση (Tg) που μελετήθηκε στην ψίχα του τσουρεκιού

Αλεύρι κάνναβης (%)	Χρόνος αποθήκευσης (ημέρες)	T onset (°C)	T mind (°C)	T end (°C)	ΔCp (J/g°C)
0	0	30,165±3,896 <sup>efgh</sup>	30,88±4,342 <sup>bcdef</sup>	33,8±1,612 <sup>de</sup>	0,179±0,077 <sup>abcdef</sup>
0	1	26,395±8,111 <sup>abc</sup>	30,465±4,476 <sup>abcde</sup>	32,88±3,083 <sup>cde</sup>	0,21±0,026 <sup>cdefghi</sup>
0	4	32,865±1,3 <sup>hi</sup>	35,688±1,502 <sup>gh</sup>	37,728±1,825 <sup>f</sup>	0,138±0,031 <sup>a</sup>
0	7	32,452±1,308 <sup>hi</sup>	36,61±0,54 <sup>h</sup>	38,198±0,632 <sup>f</sup>	0,143±0,028 <sup>ab</sup>
0	10	33,227±0,577 <sup>i</sup>	35,967±0,481 <sup>gh</sup>	37,87±0,469 <sup>f</sup>	0,166±0,019 <sup>abcd</sup>
0	14	31,618±0,478 <sup>ghi</sup>	34,483±0,926 <sup>g</sup>	36,66±1,291 <sup>f</sup>	0,181±0,023 <sup>abcdef</sup>
10	0	26,6±1,796 <sup>abcd</sup>	28,725±0,841 <sup>a</sup>	30,61±0,113 <sup>a</sup>	0,161±0,062 <sup>abc</sup>
10	1	27,832±0,673 <sup>bcde</sup>	29,886±0,481 <sup>abc</sup>	31,844±0,716 <sup>abcd</sup>	0,193±0,06 <sup>abcdefgh</sup>
10	4	24,427±0,448 <sup>a</sup>	30,32±0,236 <sup>abcde</sup>	31,4±0,423 <sup>abc</sup>	0,255±0,017 <sup>ijk</sup>
10	7	27,653±2,194 <sup>bcde</sup>	31,167±0,753 <sup>bcdef</sup>	32,89±0,287 <sup>cde</sup>	0,16±0,024 <sup>abc</sup>
10	10	26,55±1,617 <sup>abcd</sup>	31,224±0,438 <sup>bcdef</sup>	33,732±0,989 <sup>de</sup>	0,254±0,057 <sup>hijk</sup>
10	14	28,253±1,517 <sup>bcdef</sup>	31,048±0,799 <sup>bcdef</sup>	32,51±1,104 <sup>abcde</sup>	0,187±0,035 <sup>abcdef</sup>
30	0	31,075±0,234 <sup>fghi</sup>	32,558±0,575 <sup>f</sup>	33,788±0,805 <sup>de</sup>	0,17±0,008 <sup>abcde</sup>
30	1	28,41±0,738 <sup>bcdef</sup>	30,133±0,748 <sup>abcd</sup>	31,625±0,608 <sup>abc</sup>	0,178±0,011 <sup>abcdef</sup>
30	4	29,508±0,585 <sup>defg</sup>	32,045±0,646 <sup>def</sup>	33,68±0,643 <sup>de</sup>	0,189±0,012 <sup>abcdefg</sup>
30	7	25,85±0,521 <sup>ab</sup>	30,405±0,417 <sup>abcde</sup>	33,343±1,282 <sup>cde</sup>	0,272±0,017 <sup>jk</sup>
30	10	26,22±0,289 <sup>abc</sup>	32,137±0,511 <sup>ef</sup>	34,32±2,053 <sup>e</sup>	0,285±0,049 <sup>k</sup>
30	14	28,385±1,541 <sup>bcdef</sup>	31,345±0,637 <sup>bcdef</sup>	33,853±0,562 <sup>de</sup>	0,238±0,037 <sup>fghijk</sup>
50	0	27,547±0,462 <sup>bcde</sup>	29,447±0,276 <sup>ab</sup>	30,877±0,155 <sup>ab</sup>	0,212±0,016 <sup>cdefghij</sup>
50	1	29,105±0,12 <sup>cdefg</sup>	31,445±0,728 <sup>cdef</sup>	32,7±0,481 <sup>bcde</sup>	0,199±0,008 <sup>abcdefghi</sup>
50	4	29,02±0,161 <sup>cdefg</sup>	31,317±0,705 <sup>bcdef</sup>	32,947±0,837 <sup>cde</sup>	0,204±0,018 <sup>bcdefghi</sup>
50	7	26,673±1,755 <sup>abcd</sup>	30,453±0,411 <sup>abcde</sup>	32,685±1,408 <sup>bcde</sup>	0,25±0,016 <sup>ghijk</sup>
50	10	28,025±1,872 <sup>bcde</sup>	31,4±0,506 <sup>cdef</sup>	34,223±1,242 <sup>e</sup>	0,224±0,04 <sup>defghij</sup>
50	14	28,973±0,317 <sup>cdefg</sup>	31,863±0,352 <sup>def</sup>	34,017±0,768 <sup>e</sup>	0,23±0,009 <sup>efghijk</sup>

ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΓΡΑΜΜΑ ΣΤΟΝ ΕΚΘΕΤΗ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΣΤΗΛΗ ΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ (P<0,05)

Το νερό είναι ένας διαλύτης με χαμηλό ιξώδες που μειώνει τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης καθιστώντας το υλικό πιο μαλακό. Επίσης, το νερό έχει μικρό μοριακό βάρος σε σχέση με τα συστατικά του τρόφιμου, χαμηλή πυκνότητα, υψηλή διηλεκτρική σταθερά, καθώς επίσης ικανότητά να σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου, παράγοντες οι οποίοι μαζί με την χαμηλή Tg καθιστούν το νερό ως τον αποτελεσματικότερο πλαστικοποιητή στα τρόφιμα (Tolstoguzov V.B, 2000). Στον Πίνακα 4.6 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές της υγρασίας και της ενεργότητας ύδατος  $a_w$  της ψίχας τσουρεκιού στα διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάνναβης κατά την αποθήκευση.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6** Υγρασία και ενεργότητα ύδατος του τσουρεκιού στα διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάρναβης κατά την αποθήκευση

Χρόνος αποθήκευσης (ημέρες)	0%		10%		30%		50%	
	Υγρασία %	Ενεργότητα ύδατος ( $a_w$ )	Υγρασία %	Ενεργότητα ύδατος ( $a_w$ )	Υγρασία %	Ενεργότητα ύδατος ( $a_w$ )	Υγρασία %	Ενεργότητα ύδατος ( $a_w$ )
0	31,3717246	0,898467	32,321675	0,900667	31,297586	0,901300	30,8216895	0,896700
1	28,248009	0,885100	31,370047	0,896933	30,16052	0,891233	29,9838051	0,888283
4	27,8972339	0,879217	29,034205	0,888233	27,335891	0,869467	27,3491736	0,869783
7	25,8682425	0,871583	28,681491	0,879283	27,569815	0,881167	25,714275	0,858717
10	26,9302875	0,876317	27,865496	0,870717	27,850923	0,875933	26,8006041	0,867650
14	26,9778037	0,873250	28,122844	0,878217	27,519919	0,872100	26,6212955	0,863967

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία όπως έχει αναφερθεί, το νερό δρα ως πλαστικοποιητής συνεπώς μειώνει την υαλώδη μετάπτωση  $T_g$ , άρα αυτό που αναμενόταν να φανεί ήταν να βρεθεί η  $T_g$  σε μικρότερη θερμοκρασιακή περιοχή και καθώς η υγρασία μειώνεται με την πάροδο των ημερών η  $T_g$  να αρχίσει να αυξάνεται. Παρόλα αυτά στην παρούσα έρευνα, μολονότι η υγρασία μειώνεται δεν παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση στην  $T_g$ . Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.5 για το τσουρέκι χωρίς κάρναβη παρατηρήθηκε μια μικρή τάση αύξησης της  $T_g$  με την πάροδο των ημερών από  $30,88^\circ\text{C}$  μέχρι  $36,61^\circ\text{C}$  και την 14η ημέρα μειώθηκε ξανά στους  $34,48^\circ\text{C}$ . Αντίστοιχα μια πολύ μικρή αυξητική τάση παρατηρήθηκε και στο ποσοστό αλεύρου κάρναβης 10% και 50%. Επίσης, από τον Πίνακα 4.5 μπορεί να παρατηρηθεί ότι η προσθήκη αλεύρου κάρναβης επηρέασε την υαλώδη μετάπτωση  $T_g$ , μειώνοντας την ελάχιστα καθώς αυξήθηκε το ποσοστό, όπως παρατηρήθηκε και αύξηση στο  $\Delta C_p$ . Από τα ανωτέρω αποτελέσματα φαίνεται ότι η θερμοκρασία υαλώδους μεταπτώσεως  $T_g$  δεν μεταβλήθηκε σημαντικά κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του τσουρεκιού. Ωστόσο, το φαινόμενο της υαλώδους μεταπτώσεως επηρεάζεται από τις αναλογίες των συστατικών στο μείγμα δεδομένου ότι το τσουρέκι είναι ένα πολυσύνθετο τρόφιμο, την περιεκτικότητα σε νερό καθώς και από το ρυθμό θέρμανσης στη σάρωση του θερμιδόμετρου, για αυτό και προτείνεται για περαιτέρω διερεύνηση της παλαίωσης του αρτοσκευάσματος το ποσοστό περιεχόμενου νερού του δείγματος να είναι μεγαλύτερο από ότι στην παρούσα έρευνα καθώς για να φτάσει στο μέγιστο η επανατακτοποίηση του αμύλου (starch retrogradation) απαιτείται 40-50% νερό (Zelenzak K.J & Hosenev R.C, 1987).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7:** Επίδραση του αλεύρου κάνναβης και του χρόνου αποθήκευσης στην ενδόθερμη του συμπλόκου αμυλόζης-λιπιδίων σε ψίχα τσουρεκιού

Αλεύρι κάνναβης (%)	Χρόνος αποθήκευσης (ημέρες)	T onset (°C)	T peak (°C)	T end (°C)	ΔH (J/g)
0	0	102,205±1,478 <sup>a</sup>	118,735±1,775 <sup>abc</sup>	138,17±2,333 <sup>abc</sup>	546,707±37,795 <sup>i</sup>
0	1	104,195±0,884 <sup>ab</sup>	119,65±0,481 <sup>abc</sup>	138,7±0,354 <sup>abcd</sup>	504,104±8,466 <sup>hi</sup>
0	4	104,83±0,411 <sup>bc</sup>	118,828±0,996 <sup>abc</sup>	137,87±0,945 <sup>abc</sup>	427,855±24,719 <sup>efg</sup>
0	7	105,165±0,45 <sup>bcde</sup>	117,613±0,236 <sup>a</sup>	135,993±0,508 <sup>a</sup>	383,758±14,043 <sup>cde</sup>
0	10	104,953±0,383 <sup>bcd</sup>	118,413±1,116 <sup>ab</sup>	136,72±0,9 <sup>ab</sup>	395,854±9,553 <sup>cde</sup>
0	14	106,32±0,99 <sup>bcdef</sup>	120,07±0,693 <sup>abc</sup>	137,83±0,255 <sup>abc</sup>	379,742±1,532 <sup>cde</sup>
10	0	105,725±0,573 <sup>bcdef</sup>	125,06±1,16 <sup>de</sup>	145,195±0,686 <sup>d</sup>	478,583±0,768 <sup>gh</sup>
10	1	104,673±0,752 <sup>bc</sup>	121,647±2,393 <sup>abcd</sup>	140,527±3,043 <sup>abcd</sup>	459,142±24,812 <sup>fgh</sup>
10	4	106,51±0,877 <sup>bcdef</sup>	122,935±0,757 <sup>bcd</sup>	144,32±0,948 <sup>cd</sup>	346,896±0,504 <sup>abc</sup>
10	7	106,645±1,744 <sup>bcdef</sup>	122,71±1,496 <sup>bcd</sup>	143,66±4,423 <sup>cd</sup>	384,74±54,913 <sup>cde</sup>
10	10	106,76±1,008 <sup>bcdef</sup>	120,835±2,327 <sup>abcd</sup>	140,99±2,644 <sup>abcd</sup>	349,87±33,971 <sup>abc</sup>
10	14	107,435±2,058 <sup>def</sup>	119,46±1,796 <sup>abc</sup>	138,89±1,853 <sup>abcd</sup>	361,834±14,43 <sup>bcd</sup>
30	0	106,065±1,11 <sup>bcdef</sup>	122,41±1,909 <sup>bcd</sup>	139,63±0,778 <sup>abcd</sup>	477,527±14,671 <sup>gh</sup>
30	1	105,37±0,198 <sup>bcde</sup>	121,16±1,131 <sup>abcd</sup>	140,32±1,485 <sup>abcd</sup>	412,933±17,769 <sup>def</sup>
30	4	106,485±1,407 <sup>bcdef</sup>	122,5±1,626 <sup>bcd</sup>	142,335±1,577 <sup>abcd</sup>	382,294±4,992 <sup>cde</sup>
30	7	106,823±1,661 <sup>cdef</sup>	121,623±2,311 <sup>abcd</sup>	141,188±3,446 <sup>abcd</sup>	389,978±17,007 <sup>cde</sup>
30	10	107,12±1,185 <sup>cdef</sup>	121,657±2,166 <sup>abcd</sup>	141,747±3,84 <sup>abcd</sup>	346,455±26,519 <sup>abc</sup>
30	14	106,87±1,301 <sup>cdef</sup>	122,055±3,118 <sup>abcd</sup>	141,43±1,513 <sup>abcd</sup>	387,85±14,733 <sup>cde</sup>
50	0	106,107±0,325 <sup>bcdef</sup>	123,47±2,861 <sup>cd</sup>	142,863±2,437 <sup>bcd</sup>	405,326±36,095 <sup>cde</sup>
50	1	105,375±0,007 <sup>bcde</sup>	121,715±1,874 <sup>abcd</sup>	142,18±2,15 <sup>abcd</sup>	396,273±16,41 <sup>cde</sup>
50	4	107,697±1,611 <sup>ef</sup>	122,837±4,14 <sup>bcd</sup>	144,863±5,916 <sup>d</sup>	301,159±44,287 <sup>a</sup>
50	7	106,5±1,243 <sup>bcdef</sup>	122,94±2,528 <sup>bcd</sup>	143,105±2,239 <sup>bcd</sup>	381,916±22,611 <sup>cde</sup>
50	10	107,49±2,418 <sup>def</sup>	121,66±5,119 <sup>abcd</sup>	143,32±7,297 <sup>bcd</sup>	386,311±25,993 <sup>cde</sup>
50	14	108,113±1,554 <sup>f</sup>	128,21±3,173 <sup>e</sup>	152,393±5,778 <sup>e</sup>	317,924±29,756 <sup>ab</sup>

ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΓΡΑΜΜΑ ΣΤΟΝ ΕΚΘΕΤΗ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΣΤΗΛΗ ΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ (P<0,05)

Κατά τη διάρκεια της θέρμανσης της ψίχας τσουρεκιού με διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάνναβης παρουσιάστηκε και μια ενδόθερμη μεταβολή όπως απεικονίζεται και στο Σχήμα 4.8. Η έναρξη, η κορυφή και η λήξη του φαινομένου όπως και η ενθαλπία ΔH παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.7. Το εύρος της ενδόθερμης μεταβολής για όλα τα ποσοστά αλεύρου κάνναβης σε όλες της ημέρες αποθήκευσης κυμάνθηκε από 31-44°C. Η θερμοκρασία κορυφής κυμάνθηκε για όλα τα δείγματα από 117 μέχρι 128°C. Από τον Πίνακα 4.7 μπορεί να παρατηρηθεί ότι με την προσθήκη αλεύρου κάνναβης αυξήθηκε ελάχιστα η θερμοκρασία κορυφής της ενδόθερμης. Η ενδόθερμη μεταβολή οφείλεται στην τήξη των συμπλόκων αμυλόζης και λιπιδίων. Η ύπαρξη του συμπλόκου αυτού επιβεβαιώνεται με την παρουσία ενδόθερμης μεταβολής σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες



από τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης (95-135°C) από τους Jonavonich et al., 1999. Λόγω του ότι το αλεύρι κάνναβης περιέχει αρκετά λιπαρά και συγκεκριμένα αυτό που χρησιμοποιήθηκε είχε περιεκτικότητα 4,7g /100g έναντι του αλεύρου σίτου που είχε 1,0g/100g, πιθανότατα η μικρή αύξηση στη θερμοκρασία της κορυφής της ενδόθερμης που παρατηρήθηκε να οφείλεται στην αύξηση του ποσοστού αλεύρου κάνναβης. Ακόμη παρατηρήθηκε μείωση στην ενθαλπία ΔΗ, η οποία μπορεί να οφείλεται στην αύξηση του ποσοστού αλεύρου κάνναβης.

#### 4.6 Αποτελέσματα ανάλυσης εικόνας

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8:** Εκτίμηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του τσουρεκιού σε διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάνναβης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του μέσω του προγράμματος IMAGE PRO-PLUS

Αλεύρι κάνναβης (%)	Χρόνος αποθήκευσης (ημέρες)	Επιφάνεια (mm)	Περίμετρος (mm)	Μήκος (mm)	Πλάτος (mm)	Ύψος (mm) μετά την αποθήκευση
0	0	24953,081±273,867 <sup>abcde</sup>	765,229±14,65 <sup>bcd</sup>	283,409±2,609 <sup>abc</sup>	100,575±1,147 <sup>bcd</sup>	81,152±1,03 <sup>jk</sup>
0	1	24193,528±564,129 <sup>abc</sup>	782,812±9,126 <sup>cd</sup>	293,023±3,326 <sup>bcd</sup>	98,951±0,421 <sup>abc</sup>	77,365±1,901 <sup>ghijk</sup>
0	4	24185,985±241,3 <sup>abc</sup>	851,174±26,07 <sup>e</sup>	285,765±3,525 <sup>abcd</sup>	99,617±3,004 <sup>bcd</sup>	79,924±1,241 <sup>ijk</sup>
0	7	22528,48±244,178 <sup>ab</sup>	701,446±6,501 <sup>a</sup>	271,577±2,595 <sup>a</sup>	92,944±0,911 <sup>a</sup>	71,662±8,669 <sup>defgh</sup>
0	10	24541,525±69,558 <sup>abcd</sup>	751,715±3,109 <sup>bc</sup>	288,523±2,659 <sup>abcd</sup>	99,04±0,028 <sup>abc</sup>	79,426±2,709 <sup>hijk</sup>
0	14	25156,88±1507,905 <sup>abcdef</sup>	755,58±35,388 <sup>bc</sup>	290,305±13,679 <sup>abcd</sup>	98,503±3,966 <sup>abc</sup>	84,674±1,85 <sup>k</sup>
10	0	26246,445±2685,726 <sup>bcddefg</sup>	774,529±20,265 <sup>bcd</sup>	294,258±9,613 <sup>bcd</sup>	99,53±3,623 <sup>bcd</sup>	74,288±3,339 <sup>efghij</sup>
10	1	21454,275±4372,246 <sup>a</sup>	847,625±10,215 <sup>e</sup>	281,746±0,522 <sup>ab</sup>	99,136±0,046 <sup>abc</sup>	72,348±0,978 <sup>defg</sup>
10	4	28420,375±306,807 <sup>cdefg</sup>	788,453±2,355 <sup>cd</sup>	302,401±0,001 <sup>bcd</sup>	102,585±0,679 <sup>cd</sup>	75,24±0,182 <sup>fghij</sup>
10	7	27887,155±4798,151 <sup>cdefg</sup>	777,204±51,849 <sup>bcd</sup>	298,162±20,268 <sup>bcd</sup>	102,007±6,1 <sup>bcd</sup>	77,753±8,191 <sup>ghijk</sup>
10	10	29392,305±472,213 <sup>efg</sup>	812,807±13,216 <sup>de</sup>	312,029±1,394 <sup>e</sup>	106,025±1,27 <sup>d</sup>	81,035±1,408 <sup>jk</sup>
10	14	29184,295±764,192 <sup>efg</sup>	789,627±15,458 <sup>cd</sup>	303±4,378 <sup>cd</sup>	103,177±2,205 <sup>cd</sup>	77,989±2,913 <sup>ghijk</sup>
30	0	28207,98±393,816 <sup>cdefg</sup>	789,154±1,171 <sup>cd</sup>	302,507±0,071 <sup>bcd</sup>	103,287±0,278 <sup>cd</sup>	70,633±2,098 <sup>cdefg</sup>
30	1	25110,48±4509,418 <sup>abcde</sup>	731,87±67,123 <sup>ab</sup>	282,96±28,07 <sup>abc</sup>	95,738±8,36 <sup>ab</sup>	60,571±6,391 <sup>ab</sup>
30	4	27445,185±2246,301 <sup>cdefg</sup>	756,249±2,106 <sup>bc</sup>	289,725±1,002 <sup>abcd</sup>	98,815±0,52 <sup>abc</sup>	65,426±0,924 <sup>abcd</sup>
30	7	26071,775±2082,536 <sup>bcddefg</sup>	777,972±10,197 <sup>bcd</sup>	287,615±15,227 <sup>abcd</sup>	98,905±3,819 <sup>abc</sup>	62,546±2,386 <sup>ab</sup>
30	10	27683,015±313,015 <sup>cdefg</sup>	770,8±0,882 <sup>bcd</sup>	295,86±0,013 <sup>bcd</sup>	99,766±0,313 <sup>bcd</sup>	66,621±0,645 <sup>abcde</sup>
30	14	30316,465±526,787 <sup>g</sup>	796,238±8,881 <sup>cd</sup>	305,51±2,202 <sup>de</sup>	104,807±1,858 <sup>cd</sup>	67,832±4,13 <sup>bcd</sup>
50	0	28931,385±20,739 <sup>d</sup>	788,708±1,987 <sup>cd</sup>	301,418±0,777 <sup>bcd</sup>	101,601±0,304 <sup>bcd</sup>	63,394±0,86 <sup>abc</sup>
50	1	29678,975±211,05 <sup>fg</sup>	796,048±2,456 <sup>cd</sup>	306,523±0,647 <sup>de</sup>	103,673±0,775 <sup>cd</sup>	63,731±0,258 <sup>abc</sup>
50	4	29128,085±133,679 <sup>efg</sup>	785,007±0,181 <sup>cd</sup>	302,891±0,03 <sup>cde</sup>	101,996±0,377 <sup>bcd</sup>	59,699±2,881 <sup>a</sup>
50	7	29811,81±77,626 <sup>g</sup>	789,234±5,199 <sup>cd</sup>	303,595±1,946 <sup>cde</sup>	103,005±0,699 <sup>cd</sup>	61,99±1,675 <sup>ab</sup>
50	10	30082,31±316,883 <sup>g</sup>	786,109±4,642 <sup>cd</sup>	303,597±0,561 <sup>cde</sup>	102,637±0,702 <sup>cd</sup>	60,959±1,446 <sup>ab</sup>
50	14	29849,87±49,908 <sup>g</sup>	792,159±11,726 <sup>cd</sup>	303,15±1,14 <sup>cde</sup>	102,651±0,422 <sup>cd</sup>	60,216±1,264 <sup>ab</sup>

**ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΓΡΑΜΜΑ ΣΤΟΝ ΕΚΘΕΤΗ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΣΤΗΛΗ ΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ (P<0,05)**

Στον Πίνακα 4.8 είναι συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του συνολικού τσουρεκιού στα διαφορετικά επίπεδα συγκέντρωσης αλεύρου κάνναβης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης τους εκτιμώμενα μέσω του

προγράμματος Image Pro-Plus. Παρατηρώντας τον Πίνακα 4.8 φαίνεται ότι ο χρόνος αποθήκευσης επηρέασε ελάχιστα την επιφάνεια του τσουρεκιού καθώς παρατηρήθηκε μια μικρή αύξηση ενώ τα υπόλοιπα γεωμετρικά χαρακτηριστικά δεν φάνηκε να τα επηρέασε. Ωστόσο, αυτό που παρατηρήθηκε ήταν στατιστικά σημαντική διαφορά ( $P < 0,05$ ) ως προς την υποκατάσταση του αλεύρου κάνναβης. Το λογισμικό βαθμονομήθηκε έτσι ώστε τα χαρακτηριστικά που μετρήθηκαν να είναι σε χιλιοστά (mm). Όσον αφορά, το συνολικό τσουρέκι φαίνεται ότι η προσθήκη αλεύρου κάνναβης επηρέασε κυρίως το ύψος του τσουρεκιού όπου και παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ( $P < 0,05$ ). Στον Πίνακα 4.8 φαίνεται η σταδιακή μείωση του όσο το ποσοστό αλεύρου κάνναβης αυξάνεται. Το ύψος τους τσουρεκιού σχετίζεται με τον όγκο του, καθώς παρατηρήθηκε από την στατιστική ανάλυση ότι όσο λιγότερη ήταν η υποκατάσταση του αλεύρου κάνναβης τόσο μεγαλύτερο όγκο είχε συνεπώς και μεγαλύτερο ποσοστό γλουτένης. Οι Wilderjans et al., 2008 επιβεβαίωσαν ότι τα προϊόντα που έχουν υψηλή περιεκτικότητα γλουτένης εμφανίζουν μεγαλύτερο όγκο και αυτό εν συνεχεία οδηγεί σε μεγαλύτερο ύψος ενώ τα προϊόντα που έχουν υψηλή περιεκτικότητα αμύλου εμφανίζουν ένα κολλώδες στρώμα το οποίο οδηγεί σε λιγότερο σταθερό πλέγμα λόγω της μείωσης της γλουτένης. Το τσουρέκι χωρίς υποκατάσταση αλεύρου κάνναβης την ημέρα παρασκευής του είχε ύψος 81,152 mm, το τσουρέκι με 10% αλεύρου κάνναβης είχε 74,288 mm, το τσουρέκι με 30% είχε 70,633 mm και το τσουρέκι με 50% είχε 63,394 mm.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9:** Εκτίμηση γεωμετρικών χαρακτηριστικών των πόρων της φέτας τσουρεκιού στα διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάρναβης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης του

Αλεύρι κάρναβης (%)	Χρόνος αποθήκευσης (ημέρες)	Επιφάνεια (mm)	Στρογγυλότητα
0	0	0,106±14,64 <sup>ab</sup>	1,677±4,17 <sup>b</sup>
0	1	0,105±11,064 <sup>a</sup>	1,769±4,598 <sup>abcd</sup>
0	4	0,109±4,943 <sup>abc</sup>	1,737±2,648 <sup>abcd</sup>
0	7	0,109±4,419 <sup>cdef</sup>	1,759±3,316 <sup>abcd</sup>
0	10	0,112±3,833 <sup>defg</sup>	1,745±2,207 <sup>abcd</sup>
0	14	0,106±3,74 <sup>abc</sup>	1,662±2,242 <sup>a</sup>
10	0	0,107±26,113 <sup>abc</sup>	1,751±2,746 <sup>abcd</sup>
10	1	0,11±2,614 <sup>abcde</sup>	1,849±2,972 <sup>de</sup>
10	4	0,11±3,539 <sup>abcde</sup>	1,826±3,435 <sup>bcde</sup>
10	7	0,111±3,049 <sup>bcdef</sup>	1,777±2,124 <sup>abcd</sup>
10	10	0,115±4,784 <sup>defg</sup>	1,716±3,11 <sup>abc</sup>
10	14	0,11±5,213 <sup>abcde</sup>	1,901±4,997 <sup>e</sup>
30	0	0,115±3,455 <sup>efg</sup>	1,763±3,254 <sup>abcd</sup>
30	1	0,114±3,643 <sup>defg</sup>	1,838±3,515 <sup>cde</sup>
30	4	0,11±1,898 <sup>abcde</sup>	1,765±1,775 <sup>abcd</sup>
30	7	0,11±2,558 <sup>abcde</sup>	1,804±2,317 <sup>bcde</sup>
30	10	0,11±2,809 <sup>abcde</sup>	1,835±2,454 <sup>cde</sup>
30	14	0,109±2,467 <sup>abcde</sup>	1,813±2,62 <sup>bcde</sup>
50	0	0,119±2,772 <sup>gh</sup>	1,76±2,43 <sup>abcd</sup>
50	1	0,122±1,925 <sup>h</sup>	1,708±1,889 <sup>ab</sup>
50	4	0,12±1,965 <sup>gh</sup>	1,719±1,646 <sup>abc</sup>
50	7	0,117±2,417 <sup>fgh</sup>	1,727±1,912 <sup>abcd</sup>
50	10	0,119±2,241 <sup>gh</sup>	1,702±1,733 <sup>abc</sup>
50	14	0,119±2,296 <sup>gh</sup>	1,713±1,773 <sup>abc</sup>

**ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΓΡΑΜΜΑ ΣΤΟΝ ΕΚΘΕΤΗ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΣΤΗΛΗ ΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ (P<0,05)**

Στον Πίνακα 4.9 είναι συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα όσον αφορά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των πόρων του τσουρεκιού. Παρατηρώντας τον Πίνακα 4.9 φαίνεται ότι ο χρόνος αποθήκευσης δεν επηρέασε την επιφάνεια και την στρογγυλότητα των πόρων του τσουρεκιού στα διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάρναβης. Ωστόσο, παρατηρείται ότι με την αύξηση του ποσοστού αλεύρου κάρναβης αυξήθηκε η επιφάνεια των πόρων του τσουρεκιού όπως επίσης αυξήθηκε ελάχιστα και η στρογγυλότητα τους. Συγκεκριμένα την ημέρα παραγωγής το τσουρέκι χωρίς υποκατάσταση αλεύρου κάρναβης είχε 1,677 mm, το τσουρέκι με 10% είχε 1,751 mm, το τσουρέκι με 30% είχε 1,763 mm και το τσουρέκι με 50% είχε 1,760 mm

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10:** Εκτίμηση των γεωμετρικών-μορφολογικών χαρακτηριστικών της φέτας τσουρεκιού στα διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάρναβης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης ΤΟΥ

Αλεύρι κάρναβης (%)	Χρόνος αποθήκευσης (ημέρες)	Συνολική επιφάνεια (mm)	Ανομοιογένεια	Πυκνότητα	Αριθμός κυψελίδων/cm επιφάνειας	Συνολ. αριθμός κυψελίδων/ συνολ. μετρούμενη επιφάνεια (%)
0	0	4991,609±228,242 <sup>abc</sup>	0,416±0,059 <sup>bcdefg</sup>	99,785±5,931 <sup>jk</sup>	34±0 <sup>abc</sup>	0,303±0 <sup>ab</sup>
0	1	4913,049±68,156 <sup>ab</sup>	0,314±0,039 <sup>ab</sup>	98,996±2,88 <sup>jk</sup>	35±0 <sup>abcd</sup>	0,318±0 <sup>ab</sup>
0	4	5822,119±217,595 <sup>abcd</sup>	0,37±0,028 <sup>abcde</sup>	92,191±1,689 <sup>hij</sup>	33±3,624 <sup>a</sup>	0,236±0,016 <sup>a</sup>
0	7	4781,342±114,952 <sup>a</sup>	0,334±0,025 <sup>abc</sup>	92,896±2,517 <sup>hij</sup>	39,5±0,847 <sup>abcdef</sup>	0,262±0,015 <sup>a</sup>
0	10	6025,162±72,853 <sup>bcd</sup>	0,437±0,021 <sup>defg</sup>	103,463±1,986 <sup>k</sup>	33,5±3,556 <sup>ab</sup>	0,235±0,017 <sup>a</sup>
0	14	5603,707±70,811 <sup>abcd</sup>	0,381±0,02 <sup>abcdef</sup>	97,655±2,433 <sup>ijk</sup>	34±8,265 <sup>abc</sup>	0,223±0,067 <sup>a</sup>
10	0	5861,68±141,845 <sup>abcd</sup>	0,411±0,018 <sup>bcdefg</sup>	80,04±2,945 <sup>f</sup>	38,01±5,745 <sup>abcdef</sup>	0,334±0,159 <sup>ab</sup>
10	1	5481,577±52,587 <sup>abcd</sup>	0,457±0,021 <sup>efg</sup>	83,449±2,99 <sup>fg</sup>	46,659±1,06 <sup>f</sup>	0,328±0,067 <sup>ab</sup>
10	4	6155,72±99,106 <sup>cd</sup>	0,439±0,023 <sup>defg</sup>	85,955±4,743 <sup>fgh</sup>	39,287±5,382 <sup>abcdef</sup>	0,329±0,006 <sup>ab</sup>
10	7	6394,886±111,468 <sup>de</sup>	0,487±0,02 <sup>g</sup>	90,19±1,888 <sup>ghi</sup>	36,936±9,659 <sup>abcdef</sup>	0,266±0,112 <sup>a</sup>
10	10	7330,078±205,699 <sup>e</sup>	0,478±0,02 <sup>fg</sup>	92,01±3,12 <sup>hij</sup>	35,847±2,268 <sup>abcde</sup>	0,349±0,06 <sup>ab</sup>
10	14	5524,402±124,78 <sup>abcd</sup>	0,447±0,026 <sup>defg</sup>	81,984±2,296 <sup>f</sup>	41,171±3,111 <sup>abcdef</sup>	0,42±0,018 <sup>ab</sup>
30	0	5717,324±214,381 <sup>abcd</sup>	0,314±0,023 <sup>ab</sup>	56,475±1,455 <sup>bcd</sup>	42,594±0,364 <sup>abcdef</sup>	0,371±0,007 <sup>ab</sup>
30	1	4775,902±81,092 <sup>a</sup>	0,346±0,03 <sup>abcd</sup>	54,038±2,337 <sup>bcd</sup>	44,265±7,703 <sup>def</sup>	0,359±0,061 <sup>ab</sup>
30	4	5277,649±141,769 <sup>abcd</sup>	0,409±0,041 <sup>bcdefg</sup>	59,293±3,045 <sup>cd</sup>	46,912±0,378 <sup>f</sup>	0,261±0,011 <sup>a</sup>
30	7	4940,436±86,059 <sup>ab</sup>	0,422±0,051 <sup>cdefg</sup>	58,367±4,98 <sup>cd</sup>	45,337±0,625 <sup>ef</sup>	0,286±0,027 <sup>ab</sup>
30	10	5449,456±103,411 <sup>abcd</sup>	0,437±0,04 <sup>defg</sup>	61,073±4,511 <sup>de</sup>	43,901±0,148 <sup>cdef</sup>	0,294±0,011 <sup>ab</sup>
30	14	5579,903±33,292 <sup>abcd</sup>	0,472±0,024 <sup>efg</sup>	67,57±2,98 <sup>e</sup>	43,265±0,225 <sup>bcdef</sup>	0,295±0,009 <sup>ab</sup>
50	0	5220,734±162,001 <sup>abcd</sup>	0,346±0,028 <sup>abcd</sup>	49,003±2,135 <sup>ab</sup>	38,597±1,022 <sup>abcdef</sup>	0,291±0,033 <sup>ab</sup>
50	1	5675,839±98,012 <sup>abcd</sup>	0,287±0,038 <sup>a</sup>	45,323±3,048 <sup>a</sup>	41,166±1,342 <sup>abcdef</sup>	0,278±0,005 <sup>ab</sup>
50	4	4970,504±72,293 <sup>abc</sup>	0,383±0,026 <sup>abcdef</sup>	50,793±2,758 <sup>abc</sup>	37,33±1,043 <sup>abcdef</sup>	0,227±0,02 <sup>a</sup>
50	7	5260,812±54,155 <sup>abcd</sup>	0,374±0,03 <sup>abcde</sup>	50,875±3,415 <sup>abc</sup>	38,279±0,497 <sup>abcdef</sup>	0,249±0,024 <sup>a</sup>
50	10	5083,419±66,17 <sup>abc</sup>	0,382±0,036 <sup>abcdef</sup>	50,749±3,347 <sup>abc</sup>	37,707±0,752 <sup>abcdef</sup>	0,244±0,021 <sup>a</sup>
50	14	5038,488±83,864 <sup>abc</sup>	0,414±0,036 <sup>bcdefg</sup>	51,558±3,807 <sup>abc</sup>	37,028±2,124 <sup>abcdef</sup>	0,247±0,02 <sup>a</sup>

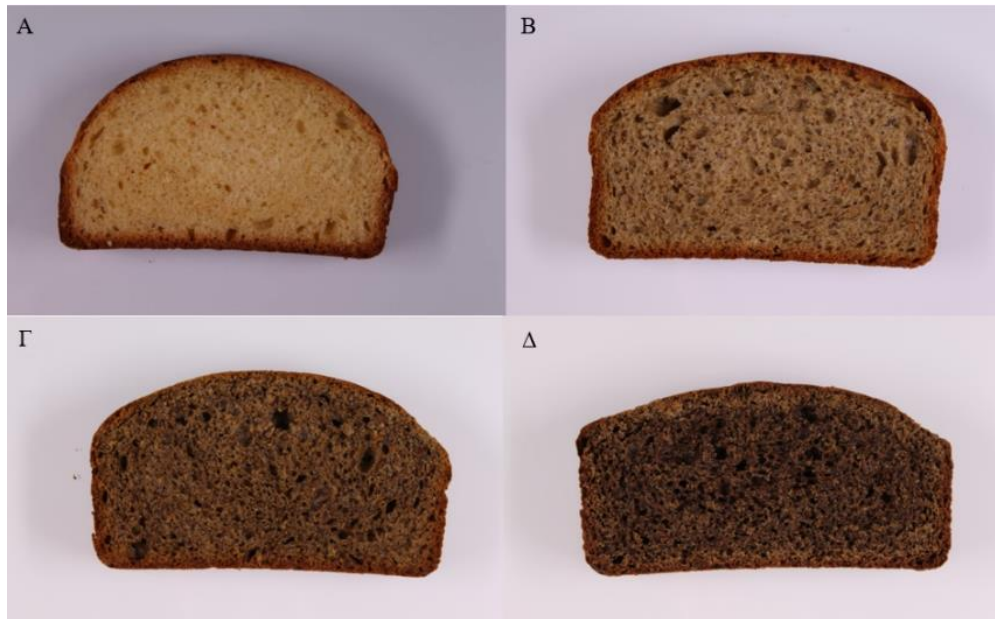
**ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΓΡΑΜΜΑ ΣΤΟΝ ΕΚΘΕΤΗ ΣΤΗΝ ΙΔΙΑ ΣΤΗΛΗ ΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ (P<0,05)**

Στον Πίνακα 4.10 είναι συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα όσον αφορά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της φέτας του τσουρεκιού. Όσον αφορά τη συνολική επιφάνεια, ο χρόνος αποθήκευσης δεν φάνηκε να την επηρέασε ενώ παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με το ποσοστό αλεύρου κάρναβης, όμως στο 10% υποκατάσταση παρουσίασε αύξηση και μετά μείωση. Πιο συγκεκριμένα την ημέρα παραγωγής το τσουρέκι χωρίς υποκατάσταση είχε συνολική επιφάνεια φέτας 4991,609 mm ενώ αυτό με 10% υποκατάσταση αλεύρου κάρναβης είχε 5861,68 mm, το τσουρέκι με 30% υποκατάσταση είχε 5717,324 mm και αυτό με 50% υποκατάσταση είχε 5220,734 mm. Ακόμη, παρατηρήθηκε μείωση στις τιμές της ανομοιογένειας με την αύξηση του ποσοστού αλεύρου κάρναβης ενώ ο χρόνος αποθήκευσης στο κάθε ποσοστό φαίνεται να την αυξάνει ελάχιστα. Η πυκνότητα της φέτας τσουρεκιού φαίνεται να αυξάνεται ελαφρώς με την

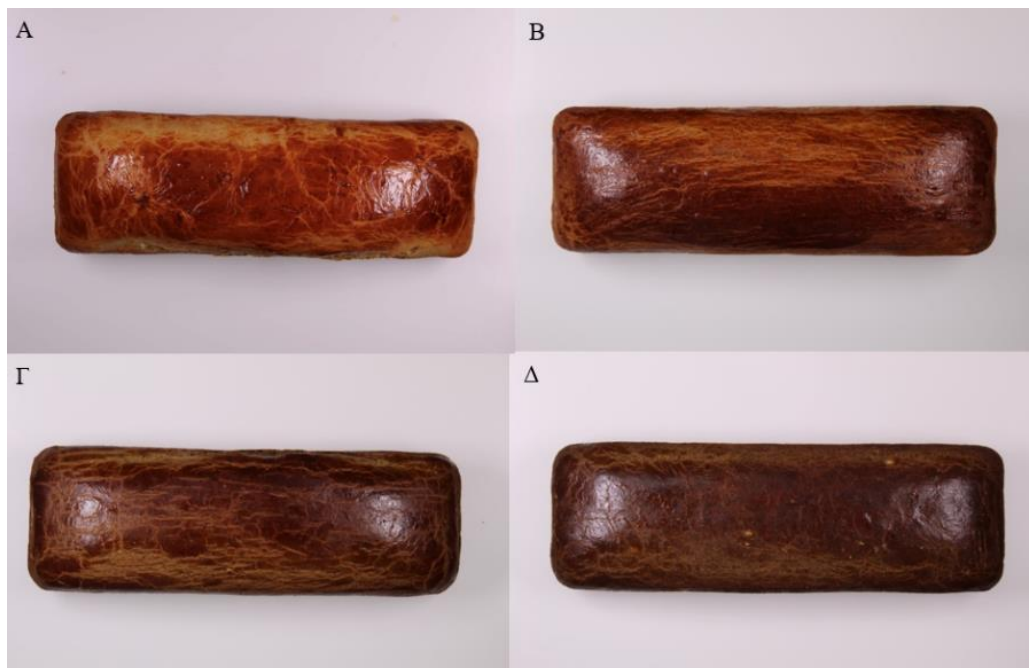
πάροδο των ημερών στο κάθε ποσοστό αλεύρου κάρναβης ενώ παρουσίασε μείωση καθώς το ποσοστό του αλεύρου κάρναβης αυξήθηκε.

Ο αριθμός των πόρων ανά  $\text{cm}^2$  επιφάνειας φαίνεται ότι αυξήθηκε με την αύξηση του ποσοστού αλεύρου κάρναβης εκτός από το τσουρέκι με ποσοστό αλεύρι κάρναβης 50% που είχε περίπου ίδιο αριθμό με το τσουρέκι με 10% αλεύρι κάρναβης. Δεν παρατηρήθηκε επίδραση του χρόνου αποθήκευσης καθώς δεν υπήρξε κάποια σταδιακή μεταβολή με την πάροδο των ημερών. Το τσουρέκι χωρίς υποκατάσταση αλεύρου κάρναβης την ημέρα παραγωγής είχε αριθμό κυψελίδων 34, το τσουρέκι με 10% αλεύρι κάρναβης είχε 38,01, το τσουρέκι με 30% αλεύρι κάρναβης είχε 42,59 ενώ το τσουρέκι με 50% αλεύρι κάρναβης είχε 38,59. Σε προηγούμενη έρευνα των Αναστασιάδη & Προβατά, 2021, παρατηρήθηκε αύξηση του αριθμού των κυψελίδων του τσουρεκιού σε όλα τα ποσοστά αλεύρου κάρναβης όσο αυξανόταν αυτό, κάτι που επιβεβαιώθηκε και στην έρευνα των Švec & Hrušková, 2013. Τέλος. Ο συνολικός αριθμός πόρων/ συνολική μετρούμενη επιφάνεια (%) δεν επηρεάστηκε από τον χρόνο αποθήκευσης αλλά παρατηρήθηκε μια μικρή μείωση με την αύξηση του ποσοστού αλεύρου κάρναβης. Ένας ακόμη παράγοντας που καθορίζει την ποιότητα των αρτοσκευασμάτων είναι το πορώδες, το οποίο και χαρακτηρίζει τη δομή, τον όγκο και την ευπεπτότητα. Στην Εικόνα 4.1 απεικονίζεται μια φέτα τσουρεκιού με διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάρναβης. Φαίνεται ότι με την αύξηση του ποσοστού αλεύρου κάρναβης το πορώδες μειώνεται. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητας φυτικών ινών που υπάρχουν στο άλευρο κάρναβης και αν και το μεγάλο ποσοστό πρωτεϊνών που επίσης περιέχει δεν είναι ικανό να συγκρατήσει το πλέγμα και τα παραγόμενα αέρια που δημιουργούνται κατά τον κλιβανισμό. (Mikulec et al., 2019).

Παρακάτω απεικονίζονται η φέτα και το συνολικό τσουρέκι με τα διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάρναβης, καθώς επίσης και οι ημέρες αποθήκευσης του.



**ΕΙΚΟΝΑ 4.1:** Δομή της ψίχας με διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάρναβης. Α. 0% υποκατάσταση, Β. 10% υποκατάσταση, Γ. 30% υποκατάσταση, Δ. 50% υποκατάσταση

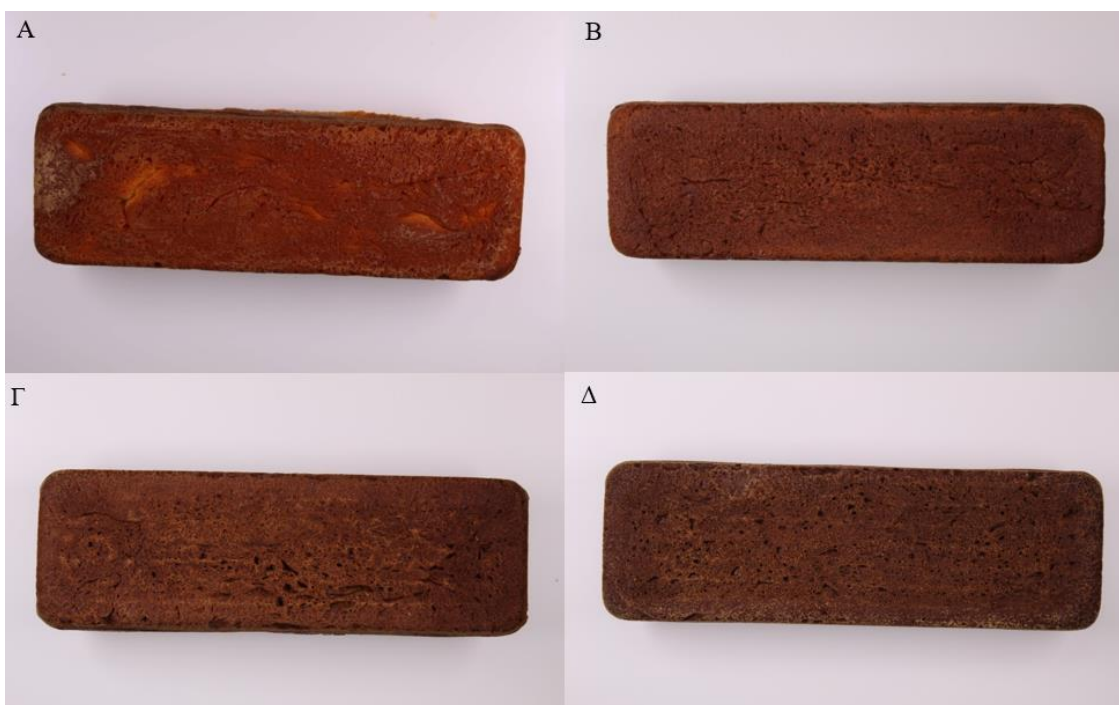


**ΕΙΚΟΝΑ 4.2:** Πανοραμική όψη του τσουρεκιού με διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάρναβης. Α. 0% υποκατάσταση, Β. 10% υποκατάσταση, Γ. 30% υποκατάσταση, Δ. 50% υποκατάσταση

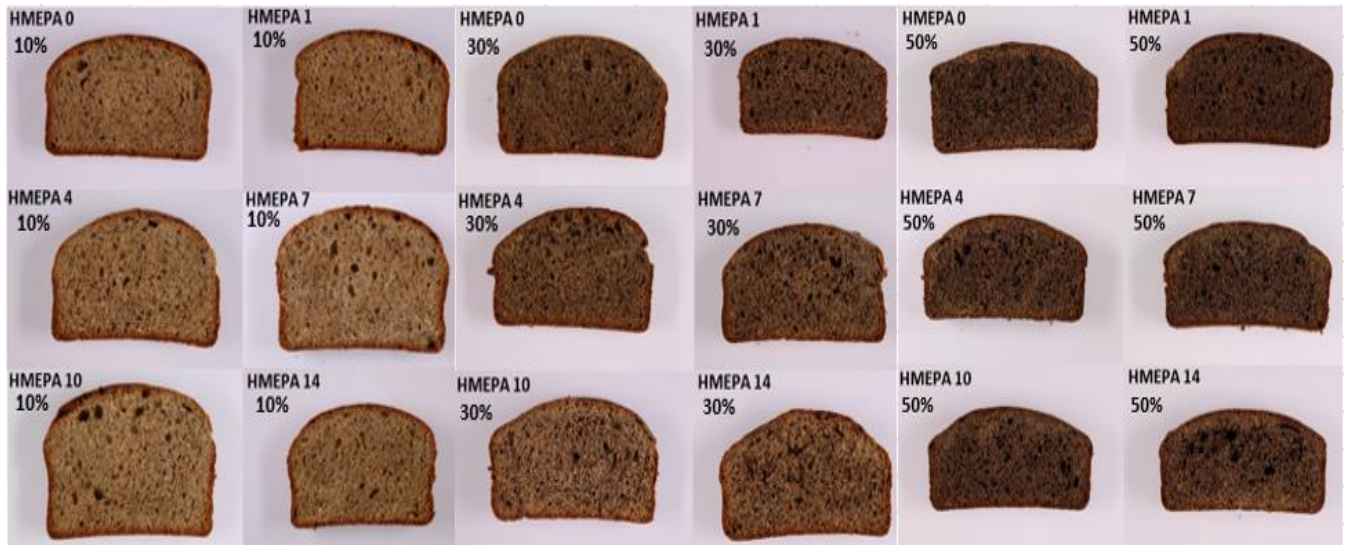




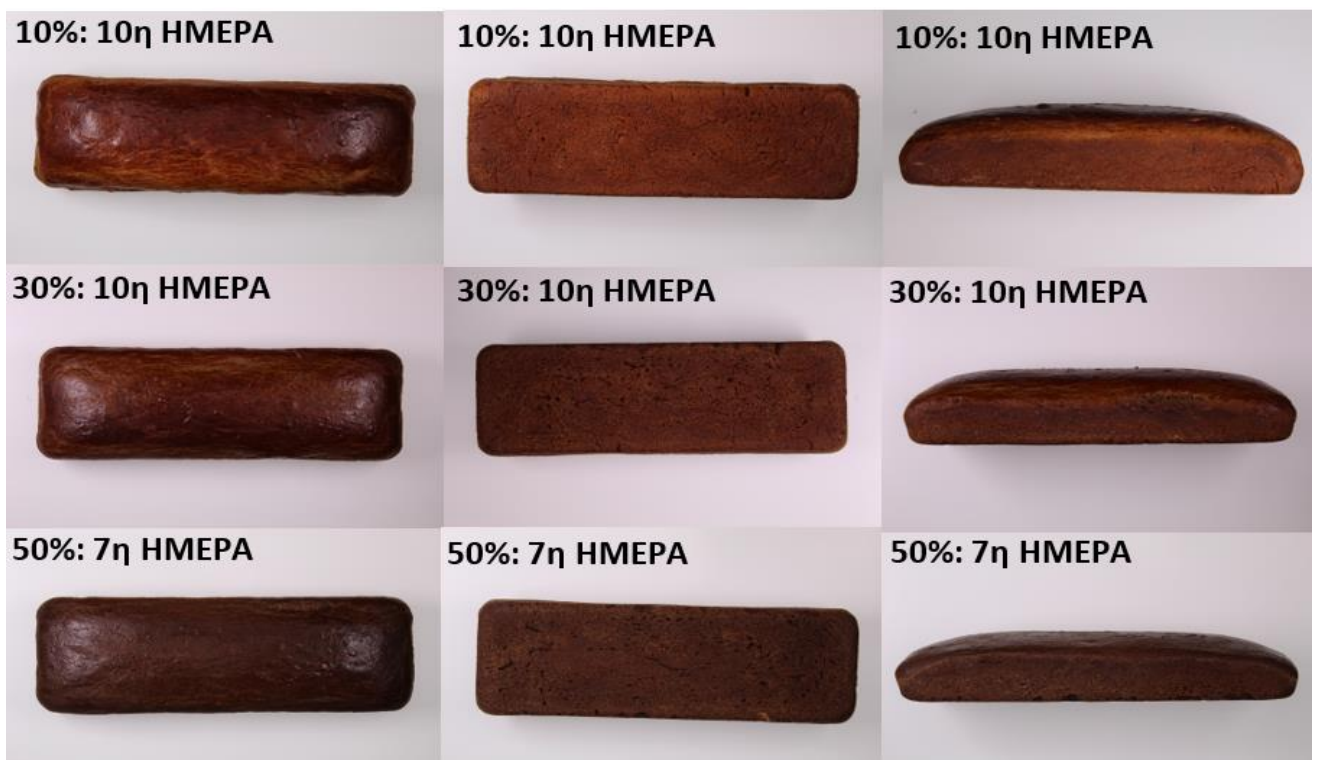
**ΕΙΚΟΝΑ 4.3:** Πλάγια όψη του τσουρεκιού με διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάνναβης. Α. 0% υποκατάσταση, Β. 10% υποκατάσταση, Γ. 30% υποκατάσταση, Δ. 50% υποκατάσταση



**ΕΙΚΟΝΑ 4.4:** Κάτω όψη του τσουρεκιού με διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάνναβης. Α. 0% υποκατάσταση, Β. 10% υποκατάσταση, Γ. 30% υποκατάσταση, Δ. 50% υποκατάσταση



**ΕΙΚΟΝΑ 4.5:** Δομή της ψίχας στα διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάνναβης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης



**ΕΙΚΟΝΑ 4.6:** Πανοραμική, κάτω και πλάγια όψη του τσουρεκιού στα διαφορετικά ποσοστά αλεύρου κάνναβης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης



## 5 Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Στην παρούσα έρευνα, όπου έγινε παρασκευή τσουρεκιών με προσθήκη αλεύρου κάνναβης σε ποσοστά 0%,10%,30% και 50% και αποθηκεύτηκαν στους 25°C για 0,1,4,7,10 και 14 ημέρες, μετά την μελέτη που έγινε όσον αφορά την επίδραση της προσθήκης του αλεύρου κάνναβης σε συνδυασμό με τον χρόνο αποθήκευσης φάνηκε ιδιαίτερα η επίδραση τους στις μηχανικές ιδιότητες και πιο συγκεκριμένα στην σκληρότητα, συνεκτικότητα, μασητικότητα, κολλητικότητα ενώ στην ελαστικότητα επηρέασε κυρίως η προσθήκη αλεύρου κάνναβης. Κυρίως στα δείγματα με 30% και 50% αλεύρου κάνναβης σε συνδυασμό με τον χρόνο αποθήκευσης η αύξηση της σκληρότητας ήταν αρκετά σημαντική σε σύγκριση με το βασικό τσουρέκι και με εκείνο που είχε 10%. Αντίστοιχη ήταν η αύξηση και στη μασητικότητα και κολλητικότητα για τα τσουρέκια με 30% και 50% ιδιαίτερα από την 7<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης, συνεπώς μπορεί να θεωρηθεί ότι μια μεγαλύτερη αύξηση του ποσοστού πάνω από 10% επηρεάζει σημαντικά. Στην συνεκτικότητα παρατηρήθηκε μείωση για όλα τα ποσοστά κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και ειδικά στο ποσοστό 10% η μείωση ήταν σταδιακή ενώ την τελευταία μέρα αποθήκευσης, δηλαδή την 14<sup>η</sup> ημέρα φάνηκε η μείωση σε όλα τα ποσοστά. Ο συνδυασμός χρόνου αποθήκευσης με προσθήκη αλεύρου κάνναβης στο τσουρέκι φάνηκε ότι επηρέασε την υγρασία στην ψίχα καθώς παρατηρήθηκε μια μείωση η οποία εν μέρει οφείλεται στην μεταφορά υγρασίας από την ψίχα στην κόρα κατά την αποθήκευση του τσουρεκιού η οποία συμβαίνει καθώς το αρτοσκεύασμα παλαιώνει. Αντίστοιχα, παρατηρήθηκε και μείωση στην ενεργότητα ύδατος η οποία ήταν σχετικά παράλληλη με τη μείωση της υγρασίας. Ο χρόνος αποθήκευσης δεν φάνηκε να επηρέασε καμία παράμετρο του χρώματος ούτε της ψίχας ούτε της κόρας. Αντιθέτως, η επίδραση στο χρώμα που παρατηρήθηκε και ήταν ιδιαίτερα ευδιάκριτη ήταν λόγω της προσθήκης του αλεύρου κάνναβης, όπου παρατηρήθηκε μείωση στη φωτεινότητα  $L^*$  και αύξηση της διαφοράς χρώματος όσο αυξήθηκε το ποσοστό. Η διαφορά χρώματος έγινε αντιληπτή με γυμνό μάτι καθώς ήταν  $\Delta E > 3$ . Τέλος, η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης  $T_g$  για το τσουρέκι χωρίς άλευρο κάνναβης φάνηκε να αυξάνεται ελαφρώς με την πάροδο των ημερών αλλά την τελευταία μέρα μειώθηκε ξανά ενώ αντίστοιχα μια πολύ μικρή αυξητική τάση παρατηρήθηκε και για τα ποσοστά 10% και 50%. Σε γενικές γραμμές αναμενόταν αύξηση λόγω της μείωσης της υγρασίας η οποία δεν παρατηρήθηκε, αντιθέτως σε σχέση με την αύξηση του ποσοστού αλεύρου κάνναβης φάνηκε ότι μειώθηκε η  $T_g$ .

## 5.1 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Με βάση τα ανωτέρω συμπεράσματα, η έρευνα θα μπορούσε να συνεχιστεί μελλοντικά με:

- ❖ Διερεύνηση της παλαίωσης τσουρεκιών τόσο των παραδοσιακών όσο και των χορτοφαγικών εμπλουτισμένων με άλευρο κάνναβης σε συνδυασμό με προσθήκη άλλων εναλλακτικών αλεύρων με σκοπό τον προσδιορισμό του χρόνου ζωής τους.
- ❖ Μελέτη κατάλληλης συσκευασίας για τσουρέκια εμπλουτισμένα με άλευρο κάνναβης με σκοπό την καλύτερη διατηρησιμότητά τους .
- ❖ Διερεύνηση της παλαίωσης τσουρεκιών εμπλουτισμένων με άλευρο κάνναβης σε διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης.
- ❖ Μελέτη παραδοσιακών και χορτοφαγικών τσουρεκιών εμπλουτισμένων με άλευρο κάνναβης με προσθήκη λιπαρών υλών, όπως γαλακατωματοποιητές με σύγκριση δειγμάτων χωρίς προσθήκη λιπαρής ύλης.
- ❖ Οργανοληπτική αξιολόγηση τσουρεκιού εμπλουτισμένου με άλευρο κάνναβης μετά από αποθήκευση με σκοπό την εξέταση αποδοχής του από το καταναλωτικό κοινό.
- ❖ Διερεύνηση ρεολογίας πλουσίου ζυμαριού εμπλουτισμένο με άλευρο κάνναβης
- ❖ Περαιτέρω διερεύνηση της υαλώδους μετάπτωσης τόσο σε παραδοσιακά όσο και χορτοφαγικά τσουρέκια εμπλουτισμένα με άλευρο κάνναβης με μεγαλύτερη αρχική περιεχόμενη υγρασία, διαφορετική αναλογία υλικών και διαφορετικές συνθήκες σάρωσης στο θερμιδόμετρο.
- ❖ Παραγωγή τσουρεκιών με άλευρο χωρίς γλουτένη εμπλουτισμένων με άλευρο κάνναβης και μελέτη των ιδιοτήτων τους όπως και διερεύνηση της παλαίωσης τους.
- ❖ Διερεύνηση βέλτιστου τρόπου επιβράδυνσης του ρυθμού παλαίωσης τσουρεκιών εμπλουτισμένων με άλευρο κάνναβης.
- ❖ Μελέτη της επίδρασης ενζύμων στο φαινόμενο της παλαίωσης τσουρεκιών εμπλουτισμένων με άλευρο κάνναβης.

## 6 Βιβλιογραφία

- Abang Zaidel, D. N., Chin, N. L., Abdul Rahman, R., & Karim, R. (2008). Rheological characterisation of gluten from extensibility measurement. *Journal of Food Engineering*, 86(4), 549–556. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.005>
- Andre, C. M., Hausman, J. F., & Guerriero, G. (2016). Cannabis sativa: The plant of the thousand and one molecules. *Frontiers in Plant Science*, 7(FEB2016). <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00019>
- Apostol, L., Popa, M., & Mustatea, G. (2015). Cannabis sativa L partially skimmed flour as source of bio-compounds in the bakery industry. In *Romanian Biotechnological Letters* (Vol. 20, Issue 5).
- Attard, T. M., Bainier, C., Reinaud, M., Lanot, A., McQueen-Mason, S. J., & Hunt, A. J. (2018). Utilisation of supercritical fluids for the effective extraction of waxes and Cannabidiol (CBD) from hemp wastes. *Industrial Crops and Products*, 112, 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.045>
- Axford DWE, Colwell KH, Cornford SJ, & Elton GAH. (1968). Effect of loaf specific volume on the rate and extent of staling in bread. *Journal Science Food Agric*, 95.
- Baik, M. Y., & Chinachoti, P. (2000). Moisture redistribution and phase transitions during bread staling. *Cereal Chemistry*, 77(4), 484–488. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2000.77.4.484>
- Bearman D. (2018). *Cannabis: One of the most thoroughly studied plants ever*.
- Blanshard JMV. (1998). Elements of cereal product structure. In Mitchell JR (Ed.), *Food Structure. Its Creation and Evaluation* (pp. 313–330). Butterworths.
- Caballero, P. A., Gómez, M., & Rosell, C. M. (2007). Improvement of dough rheology, bread quality and bread shelf-life by enzymes combination. *Journal of Food Engineering*, 81(1), 42–53. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.007>
- Cauvain SP. (1998). *Improving the control of staling in frozen bakery products*.
- Cauvain SP, & Young LS. (2000). *Bakery Food Manufacture and Quality: Water Control and Effects*. Blackwell Science.
- Chieh C. (2006). *Bakery Products* (Y. H. Hui, Ed.). Blackwell Publishing. <https://doi.org/10.1002/9780470277553>
- Cho, I. H., & Peterson, D. G. (2010). Chemistry of bread aroma: A review. *Food Science and Biotechnology*, 19(3), 575–582. <https://doi.org/10.1007/s10068-010-0081-3>
- Chung O.K, Pomeranz Y., & Finney K.F. (1982). Relation of Polar Lipid Content to Mixing Requirement and Loaf Volume of Hard Red Winter Wheat Flour. In *Cereal Chemistry* (pp. 14–20).

- Curti, E., Carini, E., Bonacini, G., Tribuzio, G., & Vittadini, E. (2013). Effect of the addition of bran fractions on bread properties. *Journal of Cereal Science*, *57*(3), 325–332. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.12.003>
- Curti, E., Carini, E., Tribuzio, G., & Vittadini, E. (2014). Bread staling: Effect of gluten on physico-chemical properties and molecular mobility. *LWT - Food Science and Technology*, *59*(1), 418–425. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.057>
- Davies A.P. (1986). Protein functionality in bakery products . In Blanshard JMV & Mitchell JR (Eds.), *Chemistry and Physics of Baking* (pp. 313–330). Butterworths.
- Dini, C., García, M. A., & Viña, S. Z. (2012). Non-traditional flours: Frontiers between ancestral heritage and innovation. In *Food and Function* (Vol. 3, Issue 6, pp. 606–620). <https://doi.org/10.1039/c2fo30036b>
- Diprat, A. B., Silveira Thys, R. C., Rodrigues, E., & Rech, R. (2020). Chlorella sorokiniana: A new alternative source of carotenoids and proteins for gluten-free bread. *LWT*, *134*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109974>
- Doerry W. (1995). *Baking Technology- Controlled Baking* (Vol. 2).
- Duan, X., Li, M., Shao, J., Chen, H., Xu, X., Jin, Z., & Liu, X. (2018). Effect of oxidative modification on structural and foaming properties of egg white protein. *Food Hydrocolloids*, *75*, 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.008>
- Farinon, B., Molinari, R., Costantini, L., & Merendino, N. (2020). The seed of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.): Nutritional quality and potential functionality for human health and nutrition. In *Nutrients* (Vol. 12, Issue 7, pp. 1–60). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu12071935>
- Farrera-Rebollo, R. R., Salgado-Cruz, Ma. de la P., Chanona-Pérez, J., Gutiérrez-López, G. F., Alamilla-Beltrán, L., & Calderón-Domínguez, G. (2012). Evaluation of Image Analysis Tools for Characterization of Sweet Bread Crumb Structure. *Food and Bioprocess Technology*, *5*(2), 474–484. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0513-y>
- Fennema, O. R. (1996). *Food chemistry*. Marcel Dekker.
- Frassinetti, S., Moccia, E., Caltavuturo, L., Gabriele, M., Longo, V., Bellani, L., Giorgi, G., & Giorgetti, L. (2018). Nutraceutical potential of hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds and sprouts. *Food Chemistry*, *262*, 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.078>
- Gao, J., Tay, S. L., Koh, A. H. S., & Zhou, W. (2017). Dough and bread made from high- and low-protein flours by vacuum mixing: Part 2. Yeast activity, dough proofing and bread quality. *Journal of Cereal Science*, *77*, 275–283. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.08.015>
- Geddes WF, & Bice CW. (1946). *The role of starch in bread staling*.

- Gélinas, P., Roy, G., & Guillet, M. (1999). Relative Effects of Ingredients on Cake Staling Based on an Accelerated Shelf-life Test. In *JOURNAL OF FOOD SCIENCE* (Vol. 64, Issue 5).
- Giovanelli G, Peri C, & Borri V. (1997). Effects of baking temperature on crumb staling kinetics. *Cereal Chemistry*, 710.
- Glinas, P. (2006). Yeast. In *Bakery Products* (pp. 173–192). Blackwell Publishing. <https://doi.org/10.1002/9780470277553.ch9>
- Gray, J. A., & Bemiller, J. N. (2003). Bread Staling: Molecular Basis and Control. In *COMPREHENSIVE REVIEWS IN FOOD SCIENCE AND FOOD SAFETY* (Vol. 2).
- Hempika. (2021). *This why hemp protein is considered the best vegetable protein source.*
- Hodge D.G. (1977). A fresh look at cake staling. . *Baking Industries Journal*, 4, 14–17.
- Hoseney, R. C., & Rogers, D. E. (1990). The Formation and Properties of Wheat Flour Doughs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 29(2), 73–93. <https://doi.org/10.1080/10408399009527517>
- Hoseney RC. (1989). *The interactions that produce unique products from wheta flour* (Pomeranz Y., Ed.; pp. 595–606).
- Hui Y.H. (2006). *Bakery Products: Science and Technology*. Blackwell Publishing.
- Hutkins, R. W. (n.d.). *Microbiology and Technology of Fermented Foods*.
- Iftikhar, A., Zafar, U., Ahmed, W., Shabbir, M. A., Sameen, A., Sahar, A., Bhat, Z. F., Kowalczewski, P. Ł., Jarzębski, M., & Aadil, R. M. (2021). Applications of cannabis sativa L. In food and its therapeutic potential: From a prohibited drug to a nutritional supplement. In *Molecules* (Vol. 26, Issue 24). MDPI. <https://doi.org/10.3390/molecules26247699>
- Istrate, A. M., Dabija, A., Codină, G. G., & Rusu, L. (2021). *INFLUENCE OF HEMP FLOUR ON DOUGH RHEOLOGY AND BREAD QUALITY* (Vol. 22, Issue 4).
- Iuga, M., Boestean, O., Ghendov-Mosanu, A., & Mironeasa, S. (2020). Impact of Dairy Ingredients on Wheat Flour Dough Rheology and Bread Properties. *Foods*, 9(6), 828. <https://doi.org/10.3390/foods9060828>
- Jagannath JH, Jayaraman KS, & Arya SS. (1999). Studies on glass transition temperature during staling of bread containing different monomeric and polymeric additives. *J Appl Polym Science*, 1147.
- Jamal Nasir, M., Carmen LilianaInt, B., Carmen Liliana, B., Livia, A., & Laura, M. (2018). Effects of Hemp Flour, Seeds And Oil Additions on Bread Quality Related papers Effect s of Several Purple Pot at o Addit ions on Bread Qualit y IJERA Journal Charact erizat ion of Maize Germ from Various Hybrids and Use of It s Component s

- for Value Added Ba... Effects of Hemp Flour, Seeds And Oil Additions on Bread Quality. *Journal of Engineering Research and Application Wwww.Ijera.Com*, 8, 73–78. <https://doi.org/10.9790/9622-0805037378>
- Jovanovich, G., Anon<sup>~</sup>, M. C., & Anon<sup>~</sup>, A. (1999). *Amylose-lipid Complex, Physicochemical Properties and the Effects of Different Variables* (Vol. 32). [www.idealibrary.com](http://www.idealibrary.com)
- Karim, A. A., Norziah, M. H., & Seow, C. C. (n.d.). *Methods for the study of starch retrogradation*. [www.elsevier.com/locate/foodchem](http://www.elsevier.com/locate/foodchem)
- Kenny S. et al. (2000). Incorporation of dairy ingredients into wheat bread: Effects on dough rheology and bread quality. *European Food Research and Technology*, 391–396.
- Korus, J., Witczak, M., Ziobro, R., & Juszczak, L. (2017). Hemp (*Cannabis sativa* subsp. *sativa*) flour and protein preparation as natural nutrients and structure forming agents in starch based gluten-free bread. *LWT - Food Science and Technology*, 84, 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.046>
- Kulp, K., & Ponte, J. G. (1981). Staling of white pan bread: Fundamental causes. *C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15(1), 1–48. <https://doi.org/10.1080/10408398109527311>
- Kumar, A., Nayak, R., Purohit, S. R., & Rao, P. S. (2021). Impact of UV-C irradiation on solubility of Osborne protein fractions in wheat flour. *Food Hydrocolloids*, 110. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105845>
- Lai H.M, & Lin T.C. (2006). *Bakery Products: Science and Technology* (pp. 3–68). John Wiley & Sons Ltd.
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., & Biliaderis, C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 1033–1047. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032>
- León, A., Durán, E., & de Barber, C. B. (1997). A new approach to study starch changes occurring in the dough-baking process and during bread storage. *Zeitschrift Für Lebensmitteluntersuchung Und -Forschung A*, 204(4), 316–320. <https://doi.org/10.1007/s002170050083>
- Lin W, & Lineback DR. (1990). *Changes in carbohydrate fractions in enzyme supplemented bread and the potential relationship to staling*. 42, 385.
- Linchpinseo. (2019). *Trends That Will Transform The Cannabiw and CBD Industry*.
- Mannie E, & Asp EH. (1999). Dairy ingredients for bread baking. In *Cereal Food World* (pp. 143–146).

- Mariotti, M., & Alamprese, C. (2012). About the use of different sweeteners in baked goods. Influence on the mechanical and rheological properties of the doughs. *LWT - Food Science and Technology*, 48(1), 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.03.001>
- Michailidis P.A, Krokida M.K, & Rahman M.S. (2008). Data and models of density, shrinkage and porosity. In Rahman M.S (Ed.), *Food Properties Handbook*.
- Mikulec, A., Kowalski, S., Sabat, R., Skoczylas, Ł., Tabaszewska, M., & Wywrocka-Gurgul, A. (2019). Hemp flour as a valuable component for enriching physicochemical and antioxidant properties of wheat bread. *LWT*, 102, 164–172. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.028>
- Mine, Y. (2002). Recent advances in egg protein functionality in the food system. In *World's Poultry Science Journal* (Vol. 58, Issue 1, pp. 31–39). <https://doi.org/10.1079/WPS20020005>
- Miranda-Ramos, K. C., Sanz-Ponce, N., & Haros, C. M. (2019). Evaluation of technological and nutritional quality of bread enriched with amaranth flour. In *LWT* (Vol. 114). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108418>
- Mondal, A., & Datta, A. K. (2008). Bread baking - A review. In *Journal of Food Engineering* (Vol. 86, Issue 4, pp. 465–474). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.014>
- Mustafa, R., He, Y., Shim, Y. Y., & Reaney, M. J. T. (2018). Aquafaba, wastewater from chickpea canning, functions as an egg replacer in sponge cake. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(10), 2247–2255. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13813>
- Newbold MW. (1976). *Crumb softeners and dough conditioners*. 37.
- Nip WK. (2006). Sweeteners In Bakery products. In Hui YH (Ed.), *Bakery products. Science and Technology* (pp. 137–159). Blackwell Publishing.
- Oreopoulou V. (2006). *Bakery Products* (Y. H. Hui, Ed.). Blackwell Publishing. <https://doi.org/10.1002/9780470277553>
- Oreopoulou, V., & Tzia, C. (2007). Utilization of Plant By-Products for the Recovery of Proteins, Dietary Fibers, Antioxidants, and Colorants. In V. Oreopoulou & W. Russ (Eds.), *Utilization of By-Products and Treatment of Waste in the Food Industry* (pp. 209–232). Springer US.
- Pareyt, B., Finnie, S. M., Putseys, J. A., & Delcour, J. A. (2011). Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality. In *Journal of Cereal Science* (Vol. 54, Issue 3, pp. 266–279). <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.08.011>
- Parry, J. W., Cheng, Z., Moore, J., & Yu, L. L. (2008). Fatty acid composition, antioxidant properties, and antiproliferative capacity of selected cold-pressed seed flours. *JAOCS*,

*Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85(5), 457–464.  
<https://doi.org/10.1007/s11746-008-1207-0>

- Piazza L, & Masi P. (1995). Moisture redistribution throughout the bread loaf during staling and its effect on mechanical properties. *Cereal Chemistry*, 320.
- Pojić, M., Dapčević Hadnadev, T., Hadnadev, M., Rakita, S., & Brlek, T. (2015). Bread Supplementation with Hemp Seed Cake: A By-Product of Hemp Oil Processing. *Journal of Food Quality*, 38(6), 431–440. <https://doi.org/10.1111/jfq.12159>
- Ponte JG, & Faubion JM. (1985). Rheology of bread crumb. In Faridi H (Ed.), *Rheology of Wheat Products* (pp. 241–273).
- Psimouli, V., & Oreopoulou, V. (2012). The effect of alternative sweeteners on batter rheology and cake properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(1), 99–105. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4547>
- Purlis, E. (2010). Browning development in bakery products - A review. In *Journal of Food Engineering* (Vol. 99, Issue 3, pp. 239–249). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.008>
- Ribotta, P., & Le-Bail, A. (2007). Thermophysical assessment of bread during staling. *Lwt - Food Science and Technology*, 40, 879–884. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.03.023>
- Rosell, C. M. (2011). Chapter 1 - The Science of Doughs and Bread Quality. In V. R. Preedy, R. R. Watson, & V. B. Patel (Eds.), *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention* (pp. 3–14). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380886-8.10001-7>
- Schiraldi A., & Fessas D. (2001). Mechanism of staling: an overview. In Chinachoti P. & Vodovotz Y. (Eds.), *Bread staling* (pp. 1–17). CRC Press.
- Schoch T.J, & French D. (1947). Studies on bread staling . Role of starch. *Cereal Chemistry*, 231–249.
- Schofield JD. (1986). Flour proteins:structure and functionality in baked products. In Blanshard JMV, Franzier PJ, & Galliard T (Eds.), *Chemistry and Physics of Baking* (pp. 14–29).
- Short AL, & Roberts EA. (1971). Pattern of firmness within a bread loaf. *Journal Science Food Agricultural*, 470.
- Sidhu JS, Al-Saqer J, & Al-Zenki S. (1996). Comparison of methods for the assessment of the extent of staling in bread. *Food Chemistry*, 161.
- Smith, P. R., & Johansson, J. (2004). INFLUENCES OF THE PROPORTION OF SOLID FAT IN A SHORTENING ON LOAF VOLUME AND STALING OF BREAD. In *Journal of Food Processing and Preservation* (Vol. 28). [www.pdfliib.com](http://www.pdfliib.com)



- Šottníková, V., Langová, R., Hřivna, L., Nedomová, Š., & Jůzl, M. (2019). Quality of biscuits as affected by addition of fibre. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 13(1), 206–211. <https://doi.org/10.5219/1034>
- Stauffer C.E. (2000). Emulsifiers as anti-staling agents. *Cereal Foods World*, 106–110.
- Stear AC. (1990). Chemical changes in yeasted doughs during fermentation . In *Handbook of Breadmaking Technology* (pp. 479–491). Elsevier Science.
- Struyf, N., van der Maelen, E., Hemdane, S., Verspreet, J., Verstrepen, K. J., & Courtin, C. M. (2017). Bread Dough and Baker's Yeast: An Uplifting Synergy. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 850–867. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12282>
- Švec, I., & Hrušková, M. (2013). Crumb evaluation of bread with hemp products addition by means of image analysis. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 61(6), 1867–1872. <https://doi.org/10.11118/actaun201361061867>
- Švec, I., & Hrušková, M. (2015). The Mixolab parameters of composite wheat/hemp flour and their relation to quality features. *LWT - Food Science and Technology*, 60(1), 623–629. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.07.034>
- Tolstoguzov V.B. (2000). The importance of glassy biopolymer components in food . *Food*, 44(2), 76–84.
- Trinh, T., Tuoc, K., & Glasgow, S. (2012). *On the texture profile analysis test*. <https://www.researchgate.net/publication/316093466>
- Vodovotz Y, Baik M, Vittadini E, & Chinachoti P. (2001). Instrumental techniques used in bread staling analysis. In Chinachoti P & Vodovotz Y (Eds.), *Bread Staling* (pp. 93–11). CRC Press.
- Wang, Q., & Xiong, Y. L. (2019). Processing, Nutrition, and Functionality of Hempseed Protein: A Review. In *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12450>
- Wang, R., Zhou, W., & Isabelle, M. (2007). Comparison study of the effect of green tea extract (GTE) on the quality of bread by instrumental analysis and sensory evaluation. *Food Research International*, 40(4), 470–479. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.07.007>
- Wilderjans, E., Pareyt, B., Goesaert, H., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2008). The role of gluten in a pound cake system: A model approach based on gluten–starch blends. *Food Chemistry*, 110(4), 909–915. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.079>
- Williams KP, Taillie S, Abdelrahman A, & Engelbrecht DA. (1995). Process for reducing the staling of baked goods. *U.S Patent*.

- Yan, X., Tang, J., dos Santos Passos, C., Nurisso, A., Simões-Pires, C. A., Ji, M., Lou, H., & Fan, P. (2015). Characterization of Lignanamides from Hemp (*Cannabis sativa* L.) Seed and Their Antioxidant and Acetylcholinesterase Inhibitory Activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(49), 10611–10619.  
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b05282>
- Zelenzak K.J, & Hoseney R.C. (1987). The Glass Transition in Starch . *Cereal Chemistry*, 64(2), 121–124.
- Zhou, by W., Hui, Y. H., de Leyn, I., Pagani, M. A., Rosell, C. M., Selman, J. D., & Therdthai, N. (2014). *Bakery Products Science and Technology, Second Edition. Edited.*
- Δημόπουλος Ι.Σ. (1987). *Τεχνολογία Σιτηρών*. Εκδόσεις Διδακτικών βιβλίων.
- Κεφαλάς Π.Σ. (2009). *Τρόφιμα από Σιτηρά. Χημεία-Βιοχημεία-Τεχνολογία*. Γαρταγάνης Άγης- Σάββας.
- Λάζος Ε. & Λάζου Α. (2016). *Επιστήμη και Τεχνολογία Σιτηρών*. Παπαζήσης.
- Λάζος Ε., & Λάζου Α. (2016). *Επεξεργασία Τροφίμων 2* (Vol. 2). Εκδόσεις Παπαζήσης.
- Μποσδίκος Δ. (2005). *Από το στάρι στο ψωμί*. Εκδόσεις Κορμός.
- Παπαεμμανουήλ Δ. (2006). *Οι διάφοροι τύποι αλεύρων. Ο αρτοποιός και η δουλειά*.