



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ & ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία**

Αξιοποίηση πιτύρου βρώμης και κλάσματος καρπού φραγκοσυκιάς (*Opuntia ficus – indica L.*) για την παρασκευή εμπλουτισμένων με ίνες μπισκότων

**Απόστολος Κ. Συμεωνίδης**

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Ιωάννα Μαντάλα, Καθηγήτρια ΓΠΑ

**Αθήνα  
2022**

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ & ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία**

Αξιοποίηση πιτύρου βρώμης και κλάσματος καρπού φραγκοσυκιάς (*Opuntia ficus – indica L.*) για την παρασκευή εμπλουτισμένων με ίνες μπισκότων

“Utilization of oat bran and fraction of prickly pear fruit (*Opuntia ficus - indica L.*) for the production of fiber-enriched biscuits”

**Απόστολος Κ. Συμεωνίδης**

Εξεταστική επιτροπή

Μαντάλα Ιωάννα, Καθηγήτρια (Επιβλέπουσα)

Στοφόρος Νικόλαος, Καθηγητής ΓΠΑ

Τσιρώνη Θεοφάνια, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ

## **Αξιοποίηση πιτύρου βρώμης και κλάσματος καρπού φραγκοσυκιάς (*Opuntia ficus – indica L.*) για την παρασκευή εμπλουτισμένων με ίνες μπισκότων**

ΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Τροφίμων

Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου

Εργαστήριο Μηχανικής και Επεξεργασίας Τροφίμων

### **Περίληψη**

Η παρούσα διατριβή εστιάζει στη μελέτη των φυσικών ιδιοτήτων του ζυμαριού, αλλά και των μπισκότων που παρήχθησαν κατά την υλοποίηση συνταγών, εμπλουτισμένων και μη, με διαιτητικές ίνες. Για τον εμπλουτισμό χρησιμοποιήθηκαν δύο πρώτες ύλες: εμπορικό πίτυρο βρώμης και κλάσμα καρπού φραγκοσυκιάς. Οι υποκαταστάσεις στις συνταγές έγιναν με τέτοιο τρόπο, ώστε το τελικό μπισκότο να περιέχει 3 % διαιτητικές ίνες. Σχεδιάστηκαν δύο είδη συνταγών μπισκότων. Το πρώτο αφορούσε την παρασκευή μπισκότων σίτου, ενώ το δεύτερο μπισκότων εμπλουτισμένων με πίτυρο βρώμης. Ο πειραματικός σχεδιασμός βασίστηκε σε ένα τριών επιπέδων παραγοντικό σχεδιασμό (3k factorial design), θέτοντας ως παραμέτρους προς εξέταση, την υγρασία του ζυμαριού και τον χρόνο ψησίματος και ως μεταβλητές, τις διαστάσεις, το χρώμα, την υφή, την υγρασία και την ενεργότητα ύδατος των μπισκότων. Ορίζοντας τα ελάχιστα και μέγιστα όρια των δύο παραμέτρων, προέκυψαν τρεις περιεκτικότητες νερού στο ζυμάρι (12,7 %, 15 % και 17,3%) και τρεις χρόνοι ψησίματος (5, 6,5 και 8 min). Σχεδιάστηκαν δηλαδή δύο σειρές πειραμάτων, μία για την παρασκευή μπισκότων από αλεύρι σίτου και μία για την παρασκευή μπισκότων εμπλουτισμένων με πίτυρο βρώμης. Κάθε σειρά αποτελούνταν από δεκαοκτώ πειράματα (εννέα επί δύο επαναλήψεις), όπου εναλλάσσονταν η υγρασία του ζυμαριού, καθώς και ο χρόνος ψησίματος. Αναφορικά με το δεύτερο υλικό εμπλουτισμού, σχεδιάστηκαν έξι δοκιμές, θέτοντας ως παράμετρο προς εξέταση τον χρόνο ψησίματος. Στις πρώτες τρεις δοκιμές, ενσωματώθηκε στο ζυμάρι κλάσμα καρπού φραγκοσυκιάς μωβ ποικιλίας (*Opuntia stricta*), ενώ στις υπόλοιπες τρεις χρησιμοποιήθηκε αντίστοιχο κλάσμα φραγκοσυκιάς κίτρινης ποικιλίας (*Opuntia ficus – indica*). Κάθε δοκιμή αφορούσε διαφορετικό χρόνο ψησίματος των μπισκότων (5, 6,5 και 8 min). Ο σχεδιασμός των συνταγών βασίστηκε στην ίδια ιδέα (μπισκότο με 3 % διαιτητικές ίνες). Οι διαθέσιμοι υδατάνθρακες του κλάσματος υποκατέστησαν μέρος της ζάχαρης στις συνταγές. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στις συνταγές εμπλουτισμού με ίνες από πίτυρο βρώμης, προέκυψαν μπισκότα μεγαλύτερων διαστάσεων, με χαμηλότερη υγρασία και πιο σκοτεινά σε σχέση με τα αντίστοιχα του Μάρτυρα. Αντιθέτως, στις συνταγές εμπλουτισμού με ίνες φραγκόσυκου, προέκυψαν πιο χλωμά μπισκότα, σημαντικά μικρότερων διαστάσεων και με αυξημένη υγρασία.

**Επιστημονική Περιοχή:** Προϊόντα αρτοποιίας

**Λέξεις-Κλειδιά:** Μπισκότα, Πίτυρο Βρώμης, Φραγκόσυκο, Διαιτητικές ίνες

## **Utilization of oat bran and fraction of prickly pear fruit (*Opuntia ficus - indica L.*) for the production of fiber-enriched biscuits**

*MSc Food Science and Technology  
Department of Food Science and Human Nutrition  
Laboratory of Food Process Engineering*

### **ABSTRACT**

The present thesis focuses on the study of the physical properties of the dough and the biscuits produced during the implementation of recipes, fortified or not, with dietary fibers. For dough enrichment, two raw materials were used: commercial oat bran and prickly pear fruit fraction. The substitutions in the recipes were made in such a way that the final biscuit contained 3% dietary fiber. Two types of biscuit recipes were designed. The biscuits of the first type were made from wheat flour, and those of the second type were enriched with oat bran. The experimental design was based on a three-level factorial design (3k factorial design). The parameters to be examined were the moisture of the dough and the baking time of the biscuits. Dimensions, color, texture, moisture, and water activity of the biscuits were set as variables. By defining the minimum and maximum limits of the two parameters, three water contents in the dough (12.7%, 15% and 17.3%) and three baking times (5, 6.5 and 8 min) were obtained. In other words, two series of experiments were designed, one for the preparation of biscuits from wheat flour and the other for the preparation of biscuits enriched with oat bran. Each series consisted of eighteen experiments (nine for two repetitions), where the moisture of the dough and biscuits baking time were alternated. Regarding the second material for the enrichment, six tests were designed. Biscuits baking time was set as a parameter to be examined. In the first three tests, a fraction of purple prickly pear fruit (*Opuntia stricta*) was incorporated into the dough, while in the remaining three a corresponding fraction of yellow prickly pear fruit (*Opuntia ficus - indica*) was used. Each test involved a different baking time of the biscuits (5, 6.5 and 8 min). The design of the recipes was based on the same idea (biscuit with 3% dietary fiber). The available carbohydrates of the fraction replaced part of the sugar in the recipes. The results showed that in the oat bran fiber fortification recipes, biscuits of larger dimensions, with lower moisture, but with a darker color emerged, compared to those of Control. In contrast, in the prickly pear fiber fortification recipes, paler biscuits, significantly smaller in size and with increased moisture emerged.

**Scientific area:** Bakery products

**Keywords:** Biscuits, Oat Bran, Prickly Pear, Dietary fibers

## **Ευχαριστίες**

*Η παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη εκπονήθηκε στο εργαστήριο Μηχανικής και Επεξεργασίας Τροφίμων του τμήματος Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών υπό την επίβλεψη της Καθηγήτριας Ιωάννας Μαντάλα.*

*Θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια Ιωάννα Μαντάλα για την πολύτιμη καθοδήγηση, τη στήριξη και τις συμβουλές της, τόσο κατά την υλοποίηση της παρούσας εργασίας, όσο και καθ' όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος.*

*Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον Καθηγητή Στοφόρο Νικόλαο και την Επ. Καθηγήτρια Τσιρώνη Θεοφανία.*

*Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη του εργαστηρίου μεταξύ των οποίων, τον κύριο Μανώλη Αναγνωσταρά (ΕΔΙΠ), τους διδακτορικούς φοιτητές Αποστολίδη Ευτύχιο και Λουκόπουλο Παναγιώτη για την στήριξή τους και ιδιαίτερα τον Χαλούλο Παναγιώτη, για την καθοδήγηση, την υποστήριξη και την ευχάριστη συνεργασία που είχαμε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.*

*Τέλος οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια και τους φίλους μου για την υπομονή και τη στήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.*

*Συμεωνίδης Απόστολος*

*Αθήνα, Ιανουάριος 2022*

*«Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της»*

## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Το φυτό <i>Opuntia ficus – indica</i> (prickly pear) .....	1
1.1.1 Προέλευση και κατανομή των φυτών του γένους Οπουντία ( <i>Opuntia spp.</i> ) .....	1
1.1.2 Μορφολογία - ανατομία φυτού .....	1
1.1.3 Χημική σύσταση του καρπού και του βλαστού .....	2
1.2 Βρώμη .....	4
1.2.1 Προέλευση και μορφολογικά χαρακτηριστικά.....	4
1.2.2 Δομή του σπόρου.....	5
1.2.3 Πίτυρο Βρώμης .....	6
1.3 Διαιτητικές ίνες .....	7
1.3.1 Γενικά στοιχεία.....	7
1.3.2 Κατηγοριοποίηση και ιδιότητες διαιτητικών ινών .....	7
1.4 Μπισκότα: Βασικά συστατικά και ιδιότητες.....	8
1.4.1 Γενικά στοιχεία – Είδη μπισκότων.....	8
1.4.2 Συστατικά ζυμαριού και ρόλος τους .....	10
1.5 Παρασκευή Μπισκότων .....	13
1.5.1 Διαδικασία παρασκευής μπισκότων.....	13
1.6 Σκοπός της Εργασίας – Πειραματικός σχεδιασμός.....	15
2. Υλικά και Μέθοδοι.....	16
2.1 Συνταγή – Εκτέλεση μπισκότων .....	16
2.2 Εμπλουτισμός με διαιτητικές ίνες .....	17
2.3 Προσδιορισμός διαιτητικών ινών και διαθέσιμων υδατανθράκων στο συμπυκνωμένο κλάσμα φραγκοσυκιάς.....	19
2.4 Προσδιορισμός βηταλαϊνών στο συμπυκνωμένο κλάσμα φραγκοσυκιάς.....	20
2.5 Ανάλυση υφής ζυμαριού (Texture Profile Analysis) .....	21
2.6 Προσδιορισμός διαστάσεων μπισκότων.....	23
2.7 Μέτρηση Χρώματος.....	23
2.8 Δοκιμή σπασίματος τριών σημείων (Three-Point Bending Test).....	24
2.9 Προσδιορισμός υγρασίας μπισκότων .....	25
2.10 Προσδιορισμός ενεργότητας ύδατος (aw) των μπισκότων .....	25
2.11 Στατιστική ανάλυση δεδομένων.....	26
3. Αποτελέσματα – συζήτηση .....	27
3.1 Ανάλυση σκόνης συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσυκιάς.....	27
3.2 Ανάλυση υφής ζυμαριού .....	28
3.3 Διαστάσεις μπισκότων.....	33

3.4 Χρώμα επιφάνειας μπισκότων .....	36
3.5 Υγρασία και ενεργότητα ύδατος των μπισκότων .....	43
3.6 Δύναμη Σπασίματος .....	45
4. Συμπεράσματα - Προτάσεις .....	48
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	49

## 1. Εισαγωγή

### 1.1 Το φυτό *Opuntia ficus – indica* (prickly pear)

#### 1.1.1 Προέλευση και κατανομή των φυτών του γένους Οπουντία (*Opuntia spp.*)

Η Οπουντία (*Opuntia spp.*) ανήκει στην οικογένεια των κακτοειδών (*Cactaceae*). Το επιστημονικό όνομα Οπουντία αποδόθηκε από τον Tournefort το 1700, λόγω της ομοιότητας των συγκεκριμένων φυτών με τα αγκαθωτά φυτά που καλλιεργούνταν στην πόλη της Οπούντας στην Ελλάδα (Scheinvar, 1999, Velásquez, 1998).

Τα φυτά του γένους Οπουντία (*Opuntia spp.*) προέρχονται από τις τροπικές και υποτροπικές περιοχές της Αμερικής τα οποία, άγρια ή καλλιεργημένα, μπορούν να εντοπιστούν σε ένα ευρύ φάσμα αγροκλιματικών ζωνών κατά μήκος της Αμερικανικής ηπείρου. Αφού εισήχθησαν στην Ισπανία από το Μεξικό, το είδος εξαπλώθηκε γρήγορα μέσω της Μεσογειακής λεκάνης.

#### 1.1.2 Μορφολογία - ανατομία φυτού

Τα φυτά του γένους Οπουντία προσαρμόζονται σε πολλά περιβάλλοντα. Αυτά κυμαίνονται από περιοχές ερήμου κάτω από το επίπεδο της θάλασσας έως περιοχές μεγάλου υψομέτρου, όπως οι Περουβιανές Άνδεις, καθώς και από τις τροπικές περιοχές του Μεξικού, όπου οι θερμοκρασίες είναι πάντα πάνω από τους 5 °C, σε περιοχές στον Καναδά που μπορούν να πέσουν στους - 40 °C το χειμώνα (Nobel, 1999).

Τα συγκεκριμένα φυτά ξεχωρίζουν για την ανατομία και τη μορφολογία τους, που επιτρέπουν την ανάπτυξή τους σε καλλιεργητικές συνθήκες υψηλού στρες. Ειδικότερα, το ριζικό σύστημα του φυτού είναι εκτεταμένο, πυκνά διακλαδισμένο και με πολλές λεπτές, ρηχές και απορροφητικές ρίζες, επιτρέποντας κατ' αυτόν τον τρόπο την εκμετάλλευση των σπάνιων βροχοπτώσεων που επικρατούν στις ξηρές περιοχές (Nobel, 1998).

Ο βλαστός του φυτού είναι γνωστός ως κλαδώδιο. Πρόκειται για έναν ωοειδή ή επιμήκη βλαστό που μπορεί να μεγαλώσει έως 60-70 cm, ανάλογα με τη διαθέσιμη ποσότητα νερού και θρεπτικών συστατικών (Sudzuki, Muñoz & Berger, 1993). Στο κλαδώδιο λαμβάνει χώρα η φωτοσύνθεση. Προστατεύεται από παχιά επιδερμίδα, η οποία περιστασιακά είναι καλυμμένη με κηρό, μειώνοντας περαιτέρω την απώλεια νερού. Τα κλαδώδια έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν σημαντικές ποσότητες



νερού καθώς διαθέτουν άφθονο παρέγχυμα, γεγονός που επιτρέπει στα φυτά να επιβιώσουν για μεγάλες περιόδους ξηρασίας.

Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει επίσης και η βλεννώδης ουσία. Πρόκειται για ένα υδροκολλοειδές που απαντά στον ιστό και χαρακτηρίζεται από υψηλή ικανότητα δέσμευσης νερού (Nobel, Cavelier & Andrade, 1992).

Το σχήμα και το μέγεθος του καρπού ποικίλλει, ενώ η ωοθήκη του είναι απλή και σαρκώδης. Το πάχος της φλούδας του καρπού ποικίλλει, όπως και η ποσότητα της περιεχόμενης πούλπας. Ιδίως η τελευταία περιέχει πολλούς σπόρους που καταναλώνονται μαζί της. Ωστόσο, σε ορισμένους καρπούς η αναλογία της εδώδιμης πούλπας συγκριτικά με τους περιεχόμενους σπόρους αυξάνεται. Συγκεκριμένα, η κατά βάρος αναλογία του καρπού σε πούλπα, φλούδα και σπόρους κυμαίνεται μεταξύ 28 – 58 %, 37 – 67 % και 2 – 10 % αντίστοιχα (Jimenez-Aguilar, Mujica-Paz & Welti-Chanes, 2014, Jimenez-Aguilar et al., 2015).



**Εικόνα 1:** Καρπός και βλαστός φραγκοσυκιάς (Cota-Sánchez, Mexico, 2016)

### 1.1.3 Χημική σύσταση του καρπού και του βλαστού

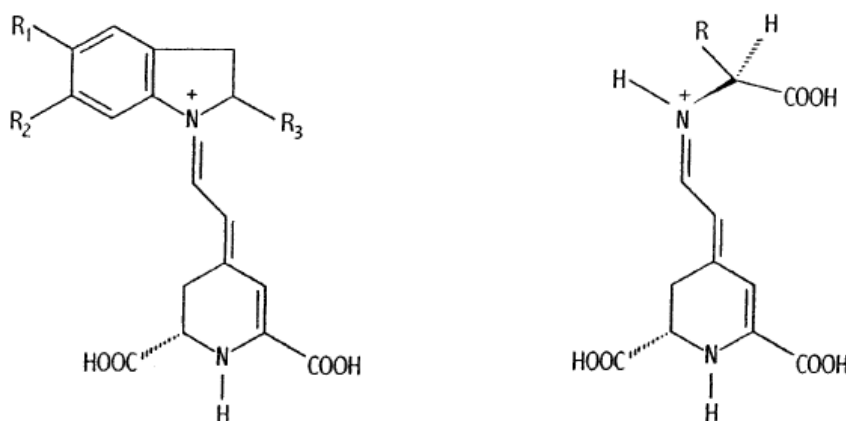
Τα κύρια σάκχαρα που απαντούν στον καρπό της φραγκοσυκιάς είναι η γλυκόζη σε ποσοστό 53%, με το υπόλοιπο ποσοστό να αποτελείται από την φρουκτόζη (Rodríguez et al., 1996).

Επιπλέον, οι περιεκτικότητες σε πρωτεΐνη (0.21 – 1.6 g/100g), λίπος (0.09 – 0.7 g/100g), ίνες (0.02 – 3.5 g/100g) και τέφρα (0.4 – 1.0 g/100g) είναι παρόμοιες με αυτές άλλων καρπών (Rodríguez et al., 1996, Muñoz de Chávez et al., 1995).

Ο καρπός περιέχει υψηλή συγκέντρωση ασκορβικού οξέος, του οποίου η συγκέντρωση φτάνει έως και τα 40 mg (/100g). Ο καρπός θεωρείται επίσης καλή πηγή ιχνοστοιχείων, όπως το κάλιο (217 mg/100g), ενώ χαμηλά είναι τα επίπεδα του νατρίου (0.6 – 1.19 mg/100g) (Sepúlveda & Sáenz, 1990, Rodríguez et al., 1996).

Επιπλέον είναι πλούσιος σε ασβέστιο και φώσφορο, με συγκεντρώσεις των 15.4 – 32.8 mg (/100g) και 12.8 – 27.6 mg (/100g) αντίστοιχα (Sepúlveda & Sáenz, 1990).

Χαρακτηριστικές στα φραγκόσυκα είναι οι κίτρινες και μωβ χρωστικές (βηταλαΐνες). Πρόκεινται για χρωστικές με αντιοξειδωτικές ιδιότητες (Butera et al., 2002, Stintzing et al., 2005, Tesoriere et al., 2005), υπεύθυνων για τις διαφορές και την ένταση στο χρωματισμό του καρπού (Cota-Sánchez, 2016). Ανάλογα με την ποικιλία, η συγκέντρωσή τους στον καρπό κυμαίνεται μεταξύ 40,6 (*Opuntia ficus-indica*) και 80,1 (*Opuntia stricta*) mg/100 g καρπού (Fernández-López et al., 2010).



**Σχήμα 1:** Χημική δομή μωβ (βητακυανίνη) και κίτρινης (βηταξανθίνη) χρωστικής (Castellar et al., 2003).

Εκτός από το νερό, στα κλαδώδια περιέχονται ίνες (4 – 6 %), πρωτεΐνες (1 – 2 %) και πηκτίνες (0.8 – 3.3 %), ανάλογα με το είδος του φυτού (Ciriminna et al., 2019). Επιπλέον περιέχουν σημαντικές ποσότητες φυτοχημικών, όπως φαινολικών συστατικών και φλαβονοειδών, καροτενοειδών, γλωροφύλλης, πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (Stintzing & Carle, 2005, Martínez-Soto et al., 2015).

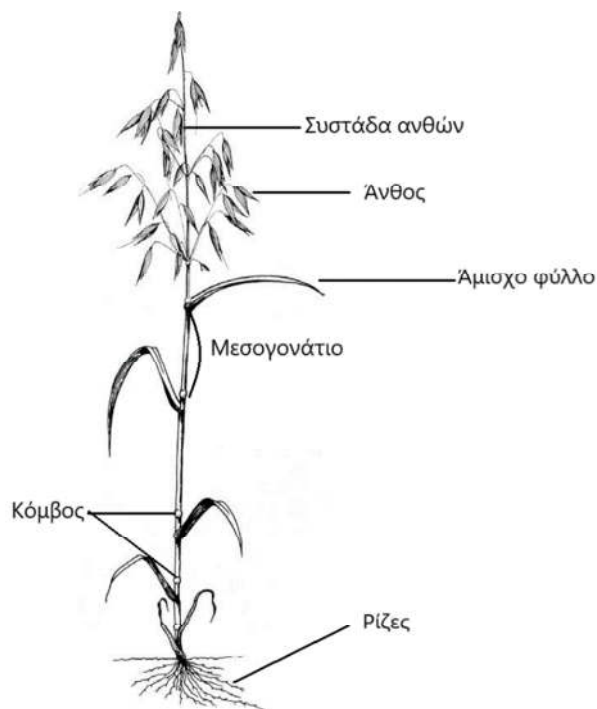
Περίπου το ήμισυ της συνολικής μάζας ξηρής σκόνης από κλαδώδια φραγκοσυκιάς αποτελείται από αδιάλυτες φυτικές ίνες (Ayadi et al., 2009). Ειδικότερα, κατά τον προσδιορισμό των ολικών διαιτητικών ινών, βρέθηκε ότι ανά 100 gr ξηρού βάρους περιέχονται 46.31 gr ινών, εκ των οποίων τα 30.65 gr αποτελούν το αδιάλυτο κλάσμα, ενώ μόλις τα 15.66 gr αποτελούν το διαλυτό (Sáenz, 1997). Το διαλυτό κλάσμα αποτελείται κυρίως από κολλοειδή (mucilage) (Medina-Torres et al., 2000) και πηκτίνη κυτταρικού τοιχώματος (Cárdenas, Goycoolea & Rinaudo, 2008).

## 1.2 Βρώμη

### 1.2.1 Προέλευση και μορφολογικά χαρακτηριστικά

Η βρώμη είναι ένα δημητριακό της οικογένειας των αγρωστωδών (Graminaceae). Η Αβένη η ήμερος (*Avena sativa* L.) είναι το πιο σημαντικό καλλιεργούμενο είδος και αναπτύσσεται κυρίως στις εύκρατες ζώνες. Εξαπλώθηκε από την Ανατολή προς την Κεντρική – Βόρεια Ευρώπη στην ύστερη εποχή του Χαλκού, ενώ εισήχθη στη Βόρεια Αμερική τον 16<sup>ο</sup> αιώνα (Coffman, 1977).

Η καλλιέργεια της βρώμης ευδοκimei σε ένα ευρύ φάσμα εδαφικών συνθηκών, όπως όξινων (4,5) και αλκαλικών (8,5), ωστόσο η καλύτερη απόδοση παρατηρείται σε εδάφη με τιμές pH από 5 έως 6. Επιπλέον, η καλλιέργεια είναι ανθεκτική σε εδάφη με υψηλά επίπεδα μαγγανίου (Zwer, 2004). Πρόκειται για μία ετήσια καλλιέργεια με ψηλό και κοντό ανάστημα, ανάλογα με την παρουσία νάνων αλληλόμορφων. Το ινώδες ριζικό σύστημα διακρίνεται στις ρίζες δενδρυλλίων και στις μόνιμες ρίζες, που ποικίλλουν ανάλογα με την ανάπτυξη στο έδαφος και την ωριμότητα, με βάθος περίπου 1 m (Bonnett, 1961, Zwer, 2004). Ανάλογα με την καλλιεργητική περίοδο κάθε φυτό αποδίδει περίπου πέντε μίσχους ή βλαστούς. Σε κάθε βλαστό απαντά μία σειρά από κόμβους και μεσογονάτια, όπου εναλλάσσονται άμισχα φύλλα. Σε ώριμο πλέον στάδιο, οι βλαστοί καταλήγουν σε μία διακλαδισμένη συστάδα ανθών (panicle), όπου αναπτύσσονται οι σπόροι. Η συστάδα αυτή αποτελείται από τον κύριο άξονα που καταλήγει σε ένα μονό ή πολύνανθο στάχυ (Arendt & Zannini, 2013).

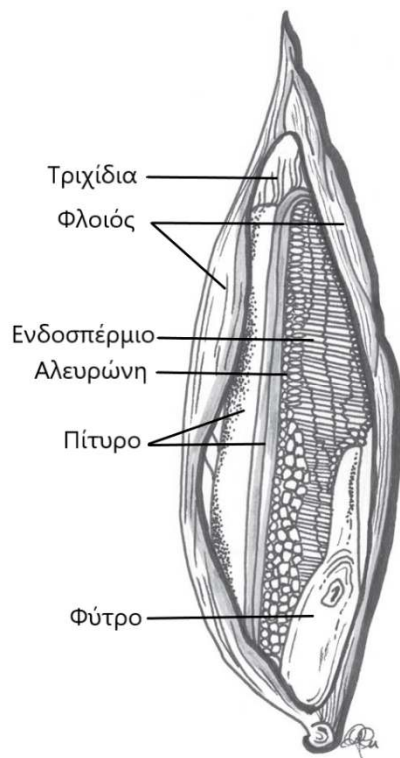


**Εικόνα 2:** Το φυτό της βρώμης (Zwer, 2004).

### 1.2.2 Δομή του σπόρου

Ο σπόρος της βρώμης, γνωστός ως καρύωση ή πλιγούρι, περιβάλλεται από φλοιό που αποτελεί το 30 με 40 % του ολικού βάρους του σπόρου. Τα κύρια συστατικά του φλοιού αποτελούν η κυτταρίνη και η ημικυτταρίνη (Welch, 1995), ενώ χαμηλότερα είναι τα ποσοστά λιγνίνης. Ο σπόρος της βρώμης, αν και παρόμοιος στην εμφάνιση με αυτό του σίτου και του κριθαριού, είναι γενικά πιο μακρύς και λεπτός. Επιπλέον, καλύπτεται από πολυάριθμα τριχίδια.

Τα τρία κύρια μέρη του σπόρου είναι το ενδοσπέρμιο, το πίτυρο και το φύτρο. Το φύτρο αποτελεί μόλις το 3 % του βάρους του σπόρου, το πίτυρο το 38 με 40 % και το αμυλούχο ενδοσπέρμιο το 58 με 60 % (Lásztity, 1998). Οι στρώσεις του πιτύρου στην καρύωση και ειδικότερα η στοιβάδα της αλευρώνης περιέχουν σε υψηλά ποσοστά βιταμίνες, ιχνοστοιχεία, φυτικές και αντιοξειδωτικές ενώσεις (Marlett, 1993, Kent & Evers, 1994). Το περικάρπιο, το κέλυφος του σπόρου, ο πυρήνας, η στοιβάδα αλευρώνης και ένα μέρος του αμυλούχου ενδοσπερμίου, συνιστούν τις στρώσεις του πιτύρου. Συγκεκριμένα στο τελευταίο αποθηκεύονται οι πρωτεΐνες, το άμυλο, τα λιπίδια και οι β – γλυκάνες, οι οποίες απαντούν κυρίως στα κυτταρικά τοιχώματα του ενδοσπερμίου.



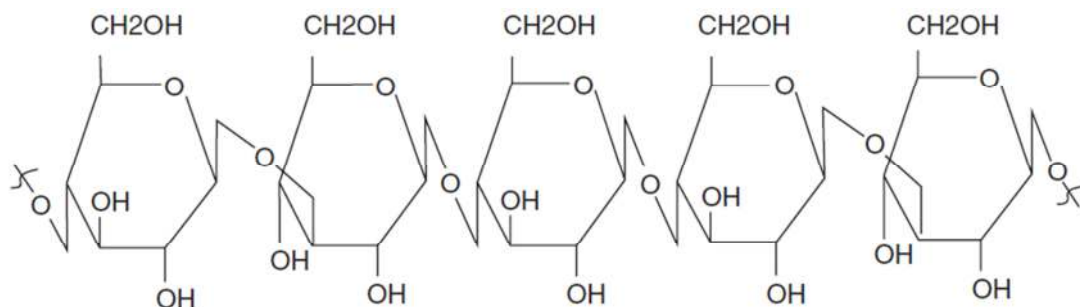
**Εικόνα 3:** Ο σπόρος της βρώμης (Arendt & Zannini, 2013).

### 1.2.3 Πίτυρο Βρώμης

Το πίτυρο βρώμης αποτελεί το εξωτερικό στρώμα και μέρος του εξωτερικού ενδοσπερμίου του σπόρου της αποφλοιωμένης βρώμης, το οποίο αλέθεται σε ένα αδρόκοκκο αλεύρι με υψηλή περιεκτικότητα σε διαλυτές διαιτητικές ίνες ( $\beta$  – γλυκάνες) (Λαζαρίδου & Μπυλιαδέρης, 2018). Πρόκειται για μη διακλαδισμένους πολυσακχαρίτες, που αποτελούνται από μονάδες  $\beta$ -D-γλυκοπυρανόζης, όπου το 70% συνδέεται με 1-4 γλυκοζιτικούς δεσμούς, ενώ το 30% με 1-3 (Butt et al., 2008) (Σχήμα 2).

Ως πίτυρο βρώμης ορίζεται το τρόφιμο που παράγεται κατά την άλεση νιφάδων ή καθαρής αποφλοιωμένης βρώμης και τον μετέπειτα διαχωρισμό του αλεύρου με κοσκίνιση ή άλλους τρόπους διαχωρισμού κλασμάτων, ώστε να μην αποτελεί παραπάνω από 50% του αρχικού υλικού και η περιεκτικότητά του σε ολικές  $\beta$  – γλυκάνες και διαιτητικές ίνες να είναι τουλάχιστον 5,5 και 16 % επί ξηρού βάρους αντίστοιχα, με το 1/3 των ολικών διαιτητικών ινών να είναι διαλυτές (AACC).

Για την απομόνωση του πτύρου, η αποφλοιωμένη βρώμη αρχικά ατμίζεται με ατμό σε ατμοσφαιρική πίεση, πρακτική που αδρανοποιεί τα λιπολυτικά ένζυμα (Λαζαρίδου & Μπυλιαδέρης, 2018). Ακολούθως, πραγματοποιείται η άλεση με μυλόπετρα, όπου ο σπόρος σπάει σε μικρά, ακανόνιστα κομμάτια. Το τελικό στάδιο αποτελεί η κοσκίνιση, όπου το λεπτόκοκκο αλεύρο που περιέχει κυρίως το αμυλώδες ενδοσπέρμιο διαχωρίζεται από το αδρόκοκκο πίτυρο, το οποίο δεν διαπερνά τα κόσκινα (Λαζαρίδου & Μπυλιαδέρης, 2018).



**Σχήμα 2:** Δομή  $\beta$ -γλυκάνης (Butt et al., 2008)

### 1.3 Διαιτητικές ίνες

#### 1.3.1 Γενικά στοιχεία

Σύμφωνα με την επιτροπή του Codex Alimentarius (2009), οι διαιτητικές ίνες χαρακτηρίζονται ως πολυμερή υδατανθράκων με περισσότερα από εννέα μονομερή, τα οποία δεν είναι εύπεπτα από τα ενδογενή ένζυμα στο λεπτό έντερο. Τα μόρια αυτά μπορούν να είναι μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες, καθώς και ολιγοσακχαρίτες και άλλοι υδατάνθρακες, όπως το τροποποιημένο άμυλο (RS), υδατάνθρακες που λαμβάνονται με φυσικά, ενζυματικά ή χημικά μέσα και συνθετικά πολυμερή υδατανθράκων. Ο προαναφερθέντας ορισμός περιλαμβάνει και άλλες ίνες, όπως η λιγνίνη, η οποία είναι ένα πολυμερές της οποίας η δομή δεν βασίζεται σε υδατάνθρακες και απαντά μαζί με την κυτταρίνη στο φυτικό κυτταρικό τοίχωμα, καθώς και ζωικής προέλευσης ίνες, όπως η χιτίνη (Holscher, 2017, Wong et al., 2017, Makki et al., 2018).

#### 1.3.2 Κατηγοριοποίηση και ιδιότητες διαιτητικών ινών

Οι φυτικές ίνες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση της διαλυτότητά τους και τη δυνατότητα ζύμωσης (Dhingra et al., 2012). Γενικά, οι διαλυτές διαιτητικές ίνες (SDF) ζυμώνονται από την εντερική μικροχλωρίδα και έτσι ενισχύεται η παραγωγή μεταβολιτών, όπως τα λιπαρά οξέα βραχείας αλυσίδας (SCFAs), ενώ οι αδιάλυτες διαιτητικές ίνες (IDF) είναι ανθεκτικές στη ζύμωση από την εντερική μικροχλωρίδα και ως επί το πλείστον διαδραματίζουν διογκωτικό ρόλο. Επιπλέον, οι διαλυτές διαιτητικές ίνες χαρακτηρίζονται για την ικανότητά τους να διαλύονται στο νερό και να σχηματίζουν ιξώδεις πηκτές. Κατά αυτόν τον τρόπο μειώνεται η ταχύτητα εντερικής διέλευσης και επιβραδύνεται η απορρόφηση και πλήρης πέψη των θρεπτικών ουσιών, γεγονός που σχετίζεται και με την μείωση των επιπέδων γλυκόζης στο αίμα (Sierra et al., 2002). Αντιθέτως, οι αδιάλυτες διαιτητικές ίνες αυξάνουν την ικανότητα συγκράτησης νερού, ενώ ένα από τα κύρια οφέλη τους είναι ότι σχετίζονται με την παρουσία βιοδραστικών συστατικών, όπως οι φαινολικές ενώσεις (Giulia Falchi et al., 2016).

Η λιγνίνη, η κυτταρίνη και κάποιες ημικυτταρίνες τυπικά αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των αδιάλυτων διαιτητικών ινών, ενώ οι πηκτινικοί πολυσακχαρίτες, οι β – γλυκάνες, οι γαλακτομαννάνες, οι φρουκτάνες, τα κόμμεα και οι μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες αποτελούν τις διαλυτές διαιτητικές ίνες (Maphosa & Jideani, 2016).

Οι διαιτητικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης ως μιμητές ζάχαρης. Συγκεκριμένα, ολιγοσακχαρίτες αραβινοξυλάνης έχουν χρησιμοποιηθεί ως δυνητικοί υποκαταστάτες σακχαρόζης σε ζαχαρούχα μπισκότα, υποκαθιστώντας έως και το 30 % της περιεχόμενης σακχαρόζης. Το αποτέλεσμα ήταν η επίτευξη συγκρίσιμης διαμέτρου και πάχους στα παραγόμενα μπισκότα, τα οποία ωστόσο χαρακτηρίζονταν από πιο σκοτεινό χρώμα σε σχέση με τον μάρτυρα (Pareyt et al., 2011).

Πέρα από τα προαναφερθέντα οφέλη των διαιτητικών ινών, η ενσωμάτωσή τους στα τρόφιμα προάγει σειρά δομικών αλλαγών. Ειδικότερα, τα μπισκότα είναι προϊόντα με πολύ περίπλοκη δομή, όπου το κάθε συστατικό διαδραματίζει σημαντικό ρόλο. Το χαμηλό ποσοστό νερού σε συνδυασμό με το υψηλό περιεχόμενο σε λίπος και ζάχαρη παρεμποδίζουν την ανάπτυξη του δικτύου της γλουτένης, που είναι ανεπιθύμητη σε αυτού του είδους τα προϊόντα. Ως συστατικό, το νερό επηρεάζει τη φύση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συστατικών και συνεισφέρει στη δομή του ζυμαριού, τροποποιώντας την ρεολογική του συμπεριφορά. Κατά το ψήσιμο αποβάλλονται σημαντικές ποσότητες νερού από το ζυμάρι των μπισκότων μεταβάλλοντας τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών, ανάλογα με τη συγγένεια καθενός από αυτά με το νερό (Canalis, León & Ribotta, 2019).

Κατά την προσθήκη στη συνταγή συστατικών με υψηλή συγγένεια στο νερό, όπως οι διαιτητικές ίνες, το νερό αναδιανέμεται μεταξύ των συστατικών του ζυμαριού, μεταβάλλοντας τις ρεολογικές ιδιότητές του. Ωστόσο, οι συντελούμενες διακυμάνσεις στη σύσταση των μπισκότων, πέρα των τεχνολογικών προβλημάτων, πυροδοτούν σειρά μεταβολών ως προς την υφή, τη γεύση και τις ποιοτικές παραμέτρους τους που δύνανται να επισκιάσουν την αποδοχή τους από το καταναλωτικό κοινό (Maache-Rezzoug et al., 1998).

## 1.4 Μπισκότα: Βασικά συστατικά και ιδιότητες

### 1.4.1 Γενικά στοιχεία – Είδη μπισκότων

Μεταξύ των προϊόντων αρτοποιίας, τα μπισκότα κατέχουν αξιοσημείωτη θέση ως ευέλικτα προϊόντα της βιομηχανίας τροφίμων. Σε αυτή τους την διάκριση έχουν συμβάλλει τα ελκυστικά τους χαρακτηριστικά όπως η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και η ποικιλία γεύσεων και υφών, σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος. Σύμφωνα με το άρθρο 142 του Κώδικα Τροφίμων και Ποτών, τα μπισκότα συγκαταλέγονται στην κατηγορία των «ζαχαρούχων δίπυρων».

Με τον όρο αυτό νοούνται προϊόντα που παρασκευάζονται με ξήρανση, σε ειδικούς κλίβανους, μάζας που αποτελείται από αλεύρι ή αμυλάλευρο, ζάχαρη, λιπαρές ύλες, γάλα, αφρόγαλα, καφέ, κακάο, σοκολάτα, και άλλες επιτρεπόμενες ύλες από τον παρόντα Κώδικα.

Τα μπισκότα ταξινομούνται κυρίως ανάλογα με το είδος του ζυμαριού από το οποίο παρασκευάστηκαν. Διακρίνονται δύο βασικοί τύποι ζυμαριού:

- I. Μαλακά ζυμάρια (Short dough)
- II. Σκληρά ζυμάρια (Hard dough)

Ωστόσο, κάποιες φορές ταξινομούνται και αναλόγως με τη γεύση τους. Έτσι διακρίνονται σε:

- I. Γλυκά (Sweet)
- II. Ημίγλυκα (Semi sweet)
- III. Αλμυρά (Salted)

Τα γλυκά μπισκότα παρασκευάζονται από μαλακά ζυμάρια, ενώ τα ημίγλυκα και αλμυρά από σκληρά ζυμάρια (Rao, 2017). Αναφορικά με τα μπισκότα από μαλακό ζυμάρι (τύπου short dough) παρασκευάζονται με βάση τρία κύρια συστατικά (αλεύρι, ζάχαρη, λίπος), ξεχωρίζουν από άλλα μπισκότα ως προς την απώλεια συνεκτικότητας υπό πίεση και συνεπώς σπάνε εύκολα (Baltsavias, Jurgens, & van Vliet, 1997). Επιπλέον, ο συγκεκριμένος τύπος μπισκότων περιέχει χαμηλή ποσότητα νερού (< 20 % κατά βάρος) (Baldino et al., 2014). Οι ιδιότητες του ζυμαριού είναι παρόμοιες με αυτές του αφρού, καθώς φυσαλίδες αέρα που ενσωματώνονται κατά την ανάμιξη διαχωρίζονται και περιβάλλονται από μία συνεχή φάση (Baldino et al., 2014). Ειδικότερα, το μπισκότο μπορεί να θεωρηθεί ως μία «μήτρα» στην οποία ενσωματώνονται φυσαλίδες αέρα ποικίλου μεγέθους και σχήματος (Baltsavias, Jurgens, & van Vliet, 1999).

Αναφορικά με την ρεολογική συμπεριφορά του μαλακού ζυμαριού, αυτό δεν επιδεικνύει ελαστικές και εκτατικές ιδιότητες. Τα ζυμάρια αυτού του τύπου δεν είναι συνεκτικά, όμως επιδεικνύουν συνεκτικές ιδιότητες εφόσον τους ασκηθεί πίεση (Rao, 2017). Επιπλέον, στα ζυμάρια αυτά η ανάπτυξη του δικτύου της γλουτένης ελαχιστοποιείται εξαιτίας των ακόλουθων παραγόντων (Rao, 2017):

- I. Ανάμιξη του ζυμαριού για μικρό χρονικό διάστημα.
- II. Προσθήκη πολύ χαμηλής ποσότητας νερού κατά την παρασκευή του ζυμαριού, με αποτέλεσμα η γλουτένη να μην προσροφά το απαραίτητο νερό για την ανάπτυξη του δικτύου της στο αλεύρι.



III. Προσθήκη υψηλών ποσοτήτων ζάχαρης (30 – 40 %) και λίπους (20 – 30%), συστατικών που παρεμποδίζουν την ανάπτυξη του δικτύου της γλουτένης, καθώς περιορίζουν τη διαθεσιμότητα του νερού.

IV. Χρήση μαλακού αλεύρου σίτου με χαμηλό ποσοστό γλουτένης.

Η παρασκευή των μαλακών ζυμαριών πραγματοποιείται με δύο βασικές μεθόδους. Η πρώτη μέθοδος, γνωστή ως “creaming method”, περιλαμβάνει την ανάμιξη του λίπους και της ζάχαρης, ώστε να σχηματιστεί ένα ομοιογενές γαλάκτωμα (Whiteley, 1971). Ενώ παρασκευάζεται το γαλάκτωμα, τα χημικά διογκωτικά και το αλάτι διαλύονται σε λίγο από το νερό του ζυμαριού. Τα συστατικά αυτά προστίθενται στο γαλάκτωμα και αναμιγνύονται για σύντομο χρονικό διάστημα. Τέλος προστίθεται το αλεύρι και καθώς αρχίζει να αναμιγνύεται με το γαλάκτωμα, προστίθεται επιπλέον ποσότητα νερού.

Η δεύτερη μέθοδος, γνωστή ως “all-in method” πραγματοποιείται με προσθήκη όλων των υλικών στη μηχανή ανάμιξης και καθώς η ανάμιξη ξεκινά, προστίθενται τα διαλυμένα στο νερό χημικά διογκωτικά και το αλάτι, ενώ ακολουθεί τελική προσθήκη συγκεκριμένης ποσότητας νερού. Αν και η μέθοδος αυτή είναι πιο άμεση και απλή, ωστόσο το ζυμάρι που προκύπτει είναι πιο σκληρό συγκριτικά με αυτό της πρώτης μεθόδου (Whiteley, 1971).

#### 1.4.2 Συστατικά ζυμαριού και ρόλος τους

##### 1.4.2.1 Αλεύρι

Το αλεύρι είναι το κύριο συστατικό των μπισκότων. Αποτελείται κυρίως από άμυλο, πρωτεΐνη και νερό και συνεισφέρει τα μέγιστα ως προς την ψημένη υφή, τη σκληρότητα και το σχήμα των μπισκότων. Ωστόσο, η φύση αυτών των επιδράσεων ανά κατηγορία μπισκότων σχετίζεται με τον εμπλουτισμό τους σε λίπος και ζάχαρη, καθώς και με τον τρόπο με τον οποίο το ζυμάρι έχει αναμιχθεί (Manley, 2011). Κατά την παρασκευή μπισκότων ιδιαίτερο ενδιαφέρον αποδίδεται στην ποιότητα και την ποσότητα των πρωτεϊνών στο αλεύρι, ιδίως της γλουτένης που σχηματίζεται κατά την ανάμιξη του αλεύρου με νερό. Συγκεκριμένα, για την μπισκοτοποιία προτιμάται η χρήση αλεύρων χαμηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη (< 9 %) και κατεστραμμένο άμυλο (Misra & Tiwari, 2014), ώστε να παραχθεί μαλακό και ελαστικό ζυμάρι με επιθυμητή υφή.

#### 1.4.2.2 Σάκχαρα

Τα σάκχαρα αποτελούν σημαντικά συστατικά των μπισκότων τύπου short dough. Γενικά στην μπισκοτοποιία χρησιμοποιούνται είτε απλά σάκχαρα, όπως γλυκόζη και φρουκτόζη, είτε σύνθετα σάκχαρα, όπως η σακχαρόζη (κοινώς ζάχαρη) και η μαλτόζη. Κυρίως χρησιμοποιείται στερεή σακχαρόζη, καθώς και σιρόπι γλυκόζης. Λακτόζη μπορεί να είναι παρούσα απευθείας ως συστατικό, ή σε σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος ή ορού γάλακτος. Μερικές φορές προστίθενται και μαλτοδεξτρίνες, με στόχο την ενίσχυση της τραγανότητας (Misra & Tiwari, 2014).

Η ζάχαρη, εκτός από τη γλυκύτητα, συνεισφέρει στη δομή, ενώ συνάμα τροποποιεί και ενισχύει τη γεύση. Διαλύεται ολόκληρη ή μερικώς στο ζυμάρι των μπισκότων, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα του νερού και επανακρυσταλλώνει κατά το ψήσιμο (Arepally et al., 2020). Κατά τη διάρκεια του ψησίματος, οι κρύσταλλοι της μη διαλυμένης ζάχαρης λιώνουν προοδευτικά, με αποτέλεσμα το άπλωμα του ζυμαριού και την ψύξη σε μια μη κρυσταλλική – γυάλινη κατάσταση, η οποία ευθύνεται για την τραγανή υφή των μπισκότων (Hoseney, 1994). Επιπρόσθετα, το μέγεθος των κρυστάλλων και ο βαθμός διαλυτότητας της ζάχαρης διαμορφώνουν την τραγανότητα των ψημένων μπισκότων. Συγκεκριμένα κατά τη προσθήκη χονδρών κρυστάλλων ζάχαρης σε ζυμάρι, παρατηρήθηκε μειωμένο άπλωμα του ζυμαριού με αυξημένη επιφανειακή ρωγμή (Lai & Lin, 2006). Ωστόσο, η αύξηση της ποσότητας της ζάχαρης οδηγεί σε πιο σκληρό προϊόν. Ειδικότερα, υπερβολική ποσότητα ζάχαρης επιφέρει μαλάκωμα του ζυμαριού, το οποίο διακατέχεται από μειωμένη συνοχή (Arepally et al., 2020). Για το σκοπό αυτό συνιστάται προσθήκη λεπτότερων κόκκων ζάχαρης σε υψηλή συγκέντρωση, ώστε να επιτευχθεί σημαντικό άπλωμα του μπισκότου (Arepally et al., 2020). Επιπλέον, η ζάχαρη ελέγχει την ενυδάτωση, διασκορπίζοντας τα μόρια του αμύλου και της πρωτεΐνης, ώστε να αποτραπεί ο σχηματισμός μίας συνεχούς μάζας (Arepally et al., 2020).

Τέλος, λόγω της υγροσκοπικότητάς της, η ζάχαρη συνεισφέρει στην μείωση της ενεργότητας ύδατος του συστήματος, παρατείνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής του προϊόντος. Εξίσου σημαντική είναι και η συνεισφορά της ως προς το χρώμα των μπισκότων, εξαιτίας των αντιδράσεων καραμελοποίησης, καθώς και της αντίδρασης σακχάρου – αμίνης (κοινώς αντίδραση Maillard) (Misra & Tiwari, 2014).

#### *1.4.2.3 Άμυλο*

Το άμυλο αποτελεί ένα ακόμη σημαντικό δομικό συστατικό του ζυμαριού και των μπισκότων, με τους αμυλόκοκκους να καταλαμβάνουν χώρο μέσα στη συνολική δομή (Brennan & Samyue, 2004). Κατά το ψήσιμο συντελούνται βιοχημικές και φυσικοχημικές μεταβολές, όπως η εξάτμιση του νερού, η μετουσίωση των πρωτεϊνών και οι αντιδράσεις Maillard, που σχετίζονται με την ζελατινοποίηση του αμύλου (Brennan & Samyue, 2004).

Αύξηση της συγκέντρωσης του αμύλου αποδίδει ζυμάρι αυξημένης πυκνότητας και συνεκτικότητας. Επίσης, αυξάνεται η ικανότητα συγκράτησης του νερού, και έτσι τα μπισκότα που προκύπτουν χαρακτηρίζονται από υψηλή υγρασία και ενεργότητα ύδατος (Laguna et al., 2011). Τα μπισκότα που παρήχθησαν με υψηλή συγκέντρωση αμύλου χαρακτηρίζονται από μειωμένο άπλωμα, ενώ δεν παρατηρείται διαφορά ως προς το πάχος τους (φούσκωμα) (Laguna et al., 2011). Ως προς το χρώμα, τα μπισκότα αυτού του τύπου είναι πιο γλωμά, εξαιτίας της μειωμένης επίδρασης της αντίδρασης Maillard που οφείλεται στο χαμηλό πρωτεϊνικό περιεχόμενο και την υψηλή υγρασία. Τέλος, ως προς την υφή των μπισκότων, η αύξηση της συγκέντρωσης του αμύλου συνεπάγεται αύξηση της δύναμης σπασίματος και τριψίματος (crumbliness) (Laguna et al., 2011).

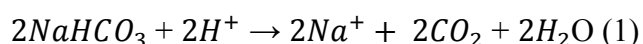
#### *1.4.2.4 Λίπη και Έλαια*

Τα λίπη και τα έλαια (shortenings) αποτελούν τα επόμενα κύρια συστατικά στο ζυμάρι των μπισκότων μετά το αλεύρι και τη ζάχαρη. Τα κύρια λίπη που χρησιμοποιούνται συνήθως στη μπισκοτοποιία είναι το ηλιέλαιο και το φοινικέλαιο. Κατά την ανάμιξη, το λίπος παρεμποδίζει την ενυδάτωση του αλεύρου και συνεπώς τον σχηματισμό του δικτύου της γλουτένης (Agerally et al., 2020). Ειδικότερα, κατά την ανάμιξη του ζυμαριού, το λίπος σχηματίζει μία επικάλυψη γύρω από το αλεύρι, ώστε να περιοριστεί η επαφή του νερού στο μίγμα με αυτό. Η ιδιότητα αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική σε ένα μπισκότο, καθώς εάν το νερό έρθει σε επαφή με το αλεύρι κατά την ανάμιξη, το μοριακό δίκτυωμα της γλουτένης θα αναπτυχθεί, με αποτέλεσμα αυτή να γίνει πιο εκτατή και να ενδυναμώσει το ζυμάρι. Αν και η ιδιότητα αυτή είναι επιθυμητή σε προϊόντα όπως τα ψωμιά, σε ένα μπισκότο, μετά το ψήσιμο καταλήγει σε ένα σκληρό, εύθρυπτο και επομένως μη αποδεκτό προϊόν (Atkinson, 2011). Επιπλέον, η επικάλυψη των σωματιδίων του αλεύρου από στρώμα λίπους, περιορίζει τη δράση των διογκωτικών παραγόντων (Davidson, 2016).

Επίσης σημαντική είναι και η συνεισφορά του λίπους στην παράταση της διάρκειας ζωής του μπισκότου (Renzyaeva, 2013). Κατά το ψήσιμο η λιπαρή ύλη σχηματίζει σύμπλοκα με την αμυλόζη, περιορίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο την διαθεσιμότητα του νερού στους αμυλόκοκκους, με αποτέλεσμα την καθυστέρηση του φαινομένου της ζελατινοποίησης.

#### 1.4.2.5 Αλάτι και διογκωτικοί παράγοντες

Το αλάτι χρησιμοποιείται για την ενδυνάμωση της γλουτένης και την αύξηση της συνεκτικότητας του ζυμαριού, ώστε αυτό να καταστεί μεταχειρίσιμο. Επιπλέον επιβραδύνει την αντίδραση Maillard και ευνοεί το σχηματισμό κρούστας (Arepally et al., 2020). Από την άλλη, τα χημικά διογκωτικά χρησιμοποιούνται για τον αερισμό του ζυμαριού, καθιστώντας το ελαφρύ και πορώδες, προσδίδοντας το σωστό πάχος και απαλή υφή στα μπισκότα (Arepally et al., 2020). Κυρίως χρησιμοποιούνται baking powder (μίγμα διττανθρακικού νατρίου και οξέος), πυροφωσφορικό νάτριο, διττανθρακικό νάτριο ( $NaHCO_3$ ) και διττανθρακικό αμμώνιο ( $NH_4HCO_3$ ). Το διττανθρακικό νάτριο διαλύεται και αντιδρά με όξινα μέσα στο ζυμάρι, παράγοντας διοξείδιο του άνθρακα σύμφωνα με την αντίδραση (1).



### 1.5 Παρασκευή Μπισκότων

#### 1.5.1 Διαδικασία παρασκευής μπισκότων

Το πρώτο στάδιο για την παρασκευή των μπισκότων είναι ο σχηματισμός του ζυμαριού. Η ποιότητα και η ποσότητα των χρησιμοποιούμενων συστατικών, οι συνθήκες ανάμιξης, ο χρόνος ανάπαυσης και η θερμοκρασία του ζυμαριού, επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του (Blokma & Bushuk, 1988). Ιδίως η ανάμιξη των συστατικών λογίζεται ως το πιο σημαντικό και συνάμα κρίσιμο σημείο στην παρασκευή των μπισκότων, καθώς επηρεάζει την ανάπτυξη του δικτύου της γλουτένης και συνεπώς τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του ζυμαριού. Τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του ζυμαριού είναι ιδιαίτερα σημαντικά καθώς επηρεάζουν την κατεργασία του ζυμαριού, καθώς και τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος (Manohar & Rao, 1999c). Έτσι, στα μαλακά ζυμάρια, το αλεύρι υπόκειται σε πολύ σύντομη ανάμιξη, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η ανάπτυξη του πρωτεϊνικού δικτύωματος.

Συγκεκριμένα, για τα μαλακά ζυμάρια, απαιτείται ελαφριά ανάπτυξη της γλουτένης, ώστε να εξασφαλιστεί επαρκής συνοχή για το χειρισμό και τη

διαμόρφωση του ζυμαριού (Olewnik & Kulp, 1984). Ωστόσο, ο Hosoney (1986), υποστηρίζει ότι μεγάλο μέρος της συνοχής του ζυμαριού των μπισκότων, που παρατηρείται όταν πιέζεται σε ένα καλούπι, οφείλεται στην παρουσία λίπους - πλαστικοποιητή (plastic shortening).

Τυπικά, για την παρασκευή των μαλακών ζυμαριών χρησιμοποιείται η μέθοδος της κρέμας (“creaming method”), ώστε να ελαχιστοποιηθεί η ανάπτυξη του δικτύματος της γλουτένης (Smith, 1972). Ωστόσο, ο Vettern (1984) παρατήρησε ότι τα μπισκότα που παρασκευάστηκαν με τη μέθοδο της όλα σε ένα (“all-in-one”) χαρακτηρίζονταν από μεγαλύτερο άπλωμα.

Το δεύτερο στάδιο είναι αυτό της μορφοποίησης του ζυμαριού των μπισκότων. Κατά το στάδιο αυτό παραλαμβάνονται φύλλα ζυμαριού ομοιόμορφου πάχους από το ζυμάρι με εφαρμογή συνεχούς δύναμης συμπίεσης, ενώ μέσω καλουπιών αποκτούν το επιθυμητό σχήμα.

Ακολούθως, τα μορφοποιημένα ζυμάρια των μπισκότων τοποθετούνται για ψήσιμο στο φούρνο. Σε βιομηχανική κλίμακα, τα μπισκότα ψήνονται σε φούρνους τύπου τούνελ, ποικίλου μήκους (15 – 100 m) και πλάτους (0.8 – 1.2 m) (Misra & Tiwari, 2014). Οι θερμοκρασίες ψησίματος κυμαίνονται από τους 180 έως τους 250°C, ανάλογα με τον τύπο των μπισκότων. Καθώς τα ζυμάρια των μπισκότων εισέρχονται στο φούρνο, αρχίζει η τήξη του λίπους, ενώ η ζάχαρη και τα διάφορα χημικά διαλύονται στο νερό. Ολόκληρο το κομμάτι του μπισκότου καθίσταται μαλακό και ρευστό. Η θέρμανση συμβάλλει στη διαστολή του διοξειδίου του άνθρακα, που αποδίδεται από τους διογκωτικούς παράγοντες, καθώς και του περιεχόμενου, στο ρευστό διάλυμα, αέρα, συνεισφέροντας στην αύξηση του όγκου του μπισκότου (Rao, 2017). Καθώς η θερμοκρασία προσεγγίζει το σημείο βρασμού, οι πρωτεΐνες πήζουν και το μπισκότο αρχίζει να αποκτά δομή. Ταυτόχρονα διαδραματίζεται και μερική ζελατινοποίηση του αμύλου. Όταν η θερμοκρασία φτάσει το σημείο βρασμού, το διαθέσιμο νερό εξατμίζεται συνεισφέροντας στην αύξηση του όγκου του μπισκότου, ενώ ο μέγιστος όγκος επιτυγχάνεται στο στάδιο αυτό (Rao, 2017). Στο τελικό στάδιο, σχηματίζονται δεξτρίνες και η ζάχαρη καραμελώνει. Ωστόσο τα μπισκότα παραμένουν εύκαμπτα και απαλά χάρη στην υγρή μορφή του λίπους και τη μορφή σιροπιού της ζάχαρης (Rao, 2017).

Κατά την ψύξη, η εύκαμπτη δομή των μπισκότων καθίσταται άκαμπτη, καθώς η ζάχαρη και το λίπος στερεοποιούνται (Rao, 2017). Στη συνέχεια, τα μπισκότα συσκευάζονται κατάλληλα ώστε να διατεθούν στην αγορά.

### 1.6 Σκοπός της Εργασίας – Πειραματικός σχεδιασμός

Σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν η ανάπτυξη ενός προϊόντος μπισκότου με 3 % διαιτητικές ίνες. Ως κύριο υλικό για τον εμπλουτισμό χρησιμοποιήθηκε πίτυρο βρώμης. Αρχικά εξετάστηκε η επίδραση της υγρασίας του ζυμαριού στην υφή των εμπλουτισμένων και μη, με διαιτητικές ίνες, ζυμαριών. Στη συνέχεια, σχεδιάστηκαν δύο σειρές πειραμάτων, μία για την παρασκευή μπισκότων σίτου και μία για την παρασκευή μπισκότων, εμπλουτισμένων με πίτυρο βρώμης. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η επίδραση τόσο της υγρασίας του ζυμαριού, όσο και του χρόνου ψησίματος στα φυσικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων μπισκότων. Ο πειραματικός σχεδιασμός βασίστηκε σε έναν τριών επιπέδων παραγοντικό σχεδιασμό (3k factorial design), θεωρώντας δύο παράγοντες (υγρασία ζυμαριού, χρόνος ψησίματος), των οποίων η επίδραση μελετήθηκε σε δεκαοκτώ πειράματα (εννιά πειράματα επί δύο επαναλήψεις), όπου εναλλάσσονταν η υγρασία του ζυμαριού (12,7 %, 15 % και 17,3 %), καθώς και ο χρόνος ψησίματος (5, 6,5 και 8 min).

Για τις δύο επιπλέον συνταγές μπισκότων που εμπλουτίστηκαν με ίνες φραγκόσυκου, για κάθε συνταγή εξετάστηκε από μία φορά η επίδραση του χρόνου ψησίματος. Διενεργήθηκαν δηλαδή τρεις δοκιμές, για μία συγκεκριμένη υγρασία ζυμαριού (15 %), αλλά για τρεις διαφορετικούς χρόνους ψησίματος (5, 6,5 και 8 min) αντίστοιχα.

## 2. Υλικά και Μέθοδοι

### 2.1 Συνταγή – Εκτέλεση μπισκότων

Η συνταγή που ακολουθήθηκε παρατίθεται παρακάτω:

**Πίνακας 1:** Συνταγή μπισκότων σε ποσοστό τοις εκατό επί του αλεύρου και σε γραμμάρια.

Συστατικά	Ποσοστό (%) επί του βάρους του αλεύρου	Σύσταση (g) ανά 200 g αλεύρου
Ζάχαρη	24	48
Λακτόζη	6,5	13
Άμυλο	4,8	9,6
Γλυκόζη	1	2
Ηλιέλαιο	18	36
Διττανθρακική Σόδα	0,02	0,04
Αμμωνία	0,5	1
Αλάτι	1	2

Αρχικά η ζάχαρη, η λακτόζη, το άμυλο, η γλυκόζη, το νερό και το ηλιέλαιο αναμείχθηκαν κατά την πρώτη φάση ανάμιξης στο μίξερ στη μεσαία ταχύτητα για τρία λεπτά. Αναφορικά με το προστιθέμενο νερό, αρχικά προστέθηκαν 22 g νερού ανά 200 g αλεύρου (11 %). Ωστόσο η ποσότητα αυτή δεν επαρκούσε για την ενυδάτωση του αλεύρου και συνεπώς το σχηματισμό ζύμης. Για το λόγο αυτό το προστιθέμενο νερό ρυθμίστηκε επί του ποσοστού του αλεύρου μέσω δοκιμών, θέτοντας ένα ελάχιστο (12,7 %) και ένα μέγιστο (17,3 %) ποσοστό νερού. Στη συνέχεια προστέθηκε η σόδα, η αμμωνία, το αλάτι και το αλεύρι και ακολούθησε η δεύτερη φάση της ανάμιξης στη μεσαία ταχύτητα για τρία ακόμα λεπτά. Η ζύμη απλώθηκε στη λαδόκολλα και στη συνέχεια με χρήση πλάστη και κατάλληλων δρομέων απλώθηκε σε ύψος επτά χιλιοστών και κόπηκε με κουπάτ διαμέτρου έξι εκατοστών. Στη συνέχεια, από την παραγόμενη ποσότητα ζυμαριού για 200 gr αλεύρου, τα μπισκότα χωρίστηκαν σε τρεις παρτίδες των τεσσάρων. Και οι τρεις παρτίδες ψήθηκαν στους 180°C, αλλά για διαφορετικό χρονικό διάστημα. Έτσι, η πρώτη παρτίδα μπισκότων αφέθηκε στο φούρνο για 5 min, η δεύτερη για 6,5 min και η τρίτη για 8 min. Έπειτα αφέθηκαν να κρυώσουν για μία ώρα και πραγματοποιήθηκαν οι διάφορες μετρήσεις.

## 2.2 Εμπλουτισμός με διαιτητικές ίνες

Για τον εμπλουτισμό των μπισκότων με διαιτητικές ίνες χρησιμοποιήθηκε εμπορικό πύτρο βρώμης (Fytro) που αλέστηκε σε εργαστηριακό μύλο (-A-10 Analytical Mill, Tekmar), προκειμένου να έχουμε καλύτερη ενσωμάτωση και ομοιόμορφη κατανομή στο ζυμάρι. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2) παρατίθεται η σύσταση του πτύρου που χρησιμοποιήθηκε σε διαιτητικές ίνες, διαλυτές και αδιάλυτες.

**Πίνακας 2:** Σύσταση εμπορικού πτύρου βρώμης (Fytro) σε διαιτητικές ίνες

Ιδιότητα	Πύτρο βρώμης
Αδιάλυτες διαιτητικές ίνες (IDF) % (d.b.)	9,25
Διαλυτές διαιτητικές ίνες (SDF) % (d.b.)	6
Σύνολο ινών επί ξηρού % (d.b.)	15,25
SDF/IDF	1/1,5

Επιδιώκοντας το ψημένο μπισκότο να περιέχει 3 % συνολικές διαιτητικές ίνες, έπειτα από υπολογισμό έγινε μία υποκατάσταση επί του ποσοστού του αλεύρου, ώστε να προστεθούν 9,25 g ξηρής ουσίας. Έτσι προστέθηκαν 139,32 g αλεύρου σίτου και 60,68 g από το αλεσμένο πύτρο βρώμης. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3) παρατίθενται αναλυτικά οι συνταγές που υλοποιήθηκαν για τρία διαφορετικά ποσοστά νερού.

**Πίνακας 3:** Σύμβολα και επεξήγηση συνταγών

Συνταγή	Επεξήγηση Συνταγής
Σ1	Μάρτυρας – 12,7% νερό
Σ2	Μάρτυρας – 15% νερό
Σ3	Μάρτυρας – 17,3% νερό
ΣΒ1	9,25 g ξηρής ουσίας Πτύρου Βρώμης – 12,7% νερό
ΣΒ2	9,25 g ξηρής ουσίας Πτύρου Βρώμης – 15% νερό
ΣΒ3	9,25 g ξηρής ουσίας Πτύρου Βρώμης – 17,3% νερό



Σε δεύτερη φάση, ως πηγή διαιτητικών ινών χρησιμοποιήθηκε κλάσμα που παρελήφθη κατά την φυγοκέντρωση χυμού φραγκόσυκου κίτρινης και μωβ ποικιλίας. Και στις δύο περιπτώσεις το κλάσμα συμπυκνώθηκε σε ξηραντήρα memert στους 55°C για χρονικό διάστημα τουλάχιστον 10 ωρών. Έπειτα ακολούθησε άλεση του συμπυκνωμένου κλάσματος.

Και για τις δύο ποικιλίες παρασκευάστηκε από μία συνταγή, ΣΦ1 και ΣΦ2, σε κάθε μία από τις οποίες προστέθηκε σκόνη από το συμπυκνωμένο κλάσμα ώστε να προστεθούν 9,25 g ξηρής ουσίας. Υπολογίστηκε δηλαδή πόση ποσότητα σκόνης του συμπυκνωμένου κλάσματος έπρεπε να προστεθεί σε κάθε μια από τις δύο συνταγές ώστε να έχουμε την επιθυμητή ποσότητα ξηρής ουσίας, δηλαδή 3 % διαιτητικές ίνες στο ψημένο μπισκότο. Οι διαθέσιμοι υδατάνθρακες υποκατέστησαν ποσότητα της ζάχαρης.

Έτσι, στη ΣΦ1 προστέθηκαν 30,51 g σκόνης συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκόσυκου μωβ ποικιλίας (*Opuntia stricta*), ενώ αφαιρέθηκαν 18,26 g από τα 200 g αλεύρου της αρχικής συνταγής, καθώς και 12,25 g ζάχαρης από τα 48 g της αρχικής συνταγής. Ομοίως, στη ΣΦ2 προστέθηκαν 27,68 g σκόνης συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκόσυκου κίτρινης ποικιλίας (*Opuntia ficus – indica*), ενώ αφαιρέθηκαν 14,47 g από τα 200 g αλεύρου της αρχικής συνταγής, καθώς και 13,21 g ζάχαρης από τα 48 g της αρχικής συνταγής. Επιπλέον, και για τις δύο συνταγές ρυθμίστηκε το ποσοστό του προστιθέμενου νερού στο ζυμάρι.

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4), παρατίθενται αναλυτικά οι δύο συνταγές.

**Πίνακας 4:** Σύμβολα και επεξήγηση συνταγών εμπλουτισμού με διαιτητικές ίνες φραγκόσυκου

Συνταγή	Επεξήγηση Συνταγής
ΣΦ1	9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος μωβ ποικιλίας ( <i>Opuntia Stricta</i> ) – 15% νερό
ΣΦ2	9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος κίτρινης ποικιλίας ( <i>Opuntia ficuas – indica</i> ) – 15% νερό

Να σημειωθεί ότι το συμπυκνωμένο και αλεσμένο κλάσμα προστέθηκε και αυτό κατά την δεύτερη φάση ανάμιξης, ενώ τα υπόλοιπα στάδια της συνταγής ακολουθήθηκαν κανονικά. Επίσης, η επιλογή της θερμοκρασίας συμπύκνωσης του κλάσματος έγινε μεταξύ τριών θερμοκρασιών: στους 40°C για 14 ώρες και 50 λεπτά, στους 55°C για 10 ώρες και 50 λεπτά και στους 70°C για 5 ώρες. Επιλέχθηκε η θερμοκρασία των 55°C, καθώς το άρωμα του συμπυκνωμένου κλάσματος ήταν λιγότερο έντονο και πιο αρεστό.

### 2.3 Προσδιορισμός διαιτητικών ινών και διαθέσιμων υδατανθράκων στο συμπυκνωμένο κλάσμα φραγκοσυκιάς

Οι διαιτητικές ίνες και οι διαθέσιμοι υδατάνθρακες μετρήθηκαν με το KIT της Megazyme για διαιτητικές ίνες (K-ACHDF assay kit, Megazyme Ltd., Bray, Ireland).

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε δείγμα του συμπυκνωμένου κλάσματος έπειτα από ολονύκτια ξήρανση σε ξηραντήριο memert στους 55°C και άλεση στον A-10 Analytical Mill της Tekmar. Έπειτα ζυγίστηκε  $1,000 \pm 0,005$  g δείγματος μέσα σε φιάλη Duran των 250 mL, προστέθηκαν 40 mL ρυθμιστικού διαλύματος MES-TRIS και ακολούθησε ανάδευση με μαγνήτη έως ότου διαλυθεί τελείως το δείγμα (Εικόνα 2, αριστερά). Σε δεύτερη φάση πραγματοποιήθηκε η διαδοχική ενζυματική πέψη του αμύλου, των πρωτεϊνών και των μαλτοδεξτρινών, όπως περιγράφεται στο εγχειρίδιο του KIT. Με την ολοκλήρωση της πέψης, ξεκίνησε η προετοιμασία των ηθμών για τον διαχωρισμό και την παραλαβή αρχικά των αδιάλυτων διαιτητικών ινών (Εικόνα 2, δεξιά).

Αφού περατώθηκε η διήθηση, το υπόλειμμα που παρέμεινε στους ηθμούς αφέθηκε για ξήρανση στους 105°C για τον υπολογισμό των αδιάλυτων διαιτητικών ινών. Το μέρος του δείγματος που διαπέρασε τον ηθμό αραιώθηκε με τετραπλάσιο όγκο αιθανόλης 95 % θερμοκρασίας 60°C και τέθηκε εκ νέου προς διήθηση. Έτσι με την ξήρανση των ηθμών υπολογίστηκαν οι διαλυτές διαιτητικές ίνες.

Για τον προσδιορισμό των διαθέσιμων υδατανθράκων χρησιμοποιήθηκε φωτόμετρο UV-Vis και η διαδικασία ακολουθήθηκε όπως περιγράφεται στο εγχειρίδιο του KIT.



**Εικόνα 2:** Ανάδευση σκόνης συμπυκνωμένου κλάσματος με ρυθμιστικό διάλυμα (αριστερά) και διήθηση υπό κενό (δεξιά) για τον προσδιορισμό των αδιάλυτων διαιτητικών ινών.

#### 2.4 Προσδιορισμός βηταλαϊνών στο συμπυκνωμένο κλάσμα φραγκοσουκιάς

Στο ίδιο δείγμα συμπυκνωμένου κλάσματος προσδιορίστηκαν οι κόκκινες και κίτρινες χρωστικές του φραγκόσουκου (Stintzing et al., 2005) (Εικόνα 3). Ειδικότερα 0,5 g δείγματος αραιώθηκαν με 10 mL ρυθμιστικού διαλύματος (Mellvaine buffer) σε δοκιμαστικό σωλήνα. Μετά από ανάδευση στο vortex, ακολούθησε φυγοκέντρηση στα 3000 rpm για 10 λεπτά αποσκοπώντας στον αποτελεσματικότερο διαχωρισμό των χρωστικών. Μετά τη φυγοκέντρηση πραγματοποιήθηκε αραιώση με το ίδιο ρυθμιστικό διάλυμα σε ογκομετρική φιάλη των 50 mL.

Οι κόκκινες χρωστικές (βητακυανίνες) προσδιορίστηκαν φωτομετρικά μετρώντας την απορρόφηση στα 538 nm, ενώ για τις κίτρινες (βηταξανθίνες) μετρήθηκε η απορρόφηση στα 480 nm. Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης (mol/L) των χρωστικών χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση:

$$C = \frac{A}{\varepsilon * b}$$

,όπου C: η συγκέντρωση των χρωστικών σε mol/L

A: η απορρόφηση (nm)

$\varepsilon$ : ο μοριακός συντελεστής απορρόφησης (60000 L/mol\*cm για τις βητακυανίνες και 48000 L/mol\*cm για τις βηταξανθίνες)

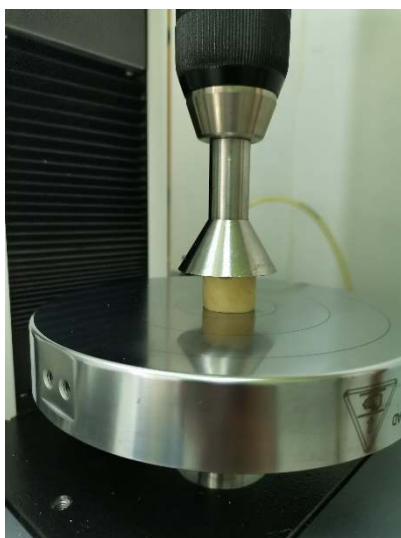
b: το βάθος της κυψελίδας, ισοδύναμο με 1 cm



**Εικόνα 3:** Ανάλυση συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσυκιάς κίτρινης και μωβ ποικιλίας.

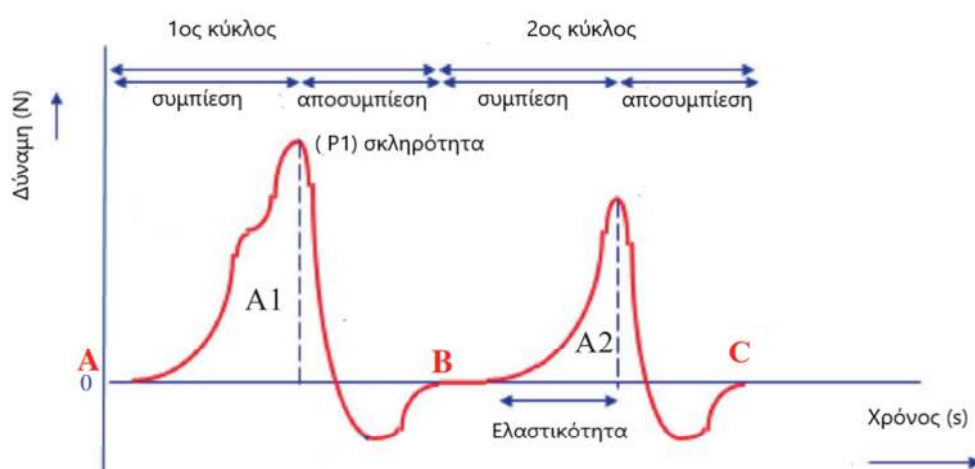
### 2.5 Ανάλυση υφής ζυμαριού (Texture Profile Analysis)

Η ανάλυση του προφίλ της υφής των παραγόμενων ζυμαριών έγινε με την συσκευή καταπόνησης υλικών INSTRON 3343 μέσω δοκιμών συμπίεσης (Εικόνα 4). Πρόκειται για μία δοκιμή μονοαξονικής συμπίεσης δύο κύκλων για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της υφής ενός τροφίμου, συμπεριλαμβανομένης της σκληρότητας, της συνεκτικότητας και της ελαστικότητας (Liu, Cao & Liu, 2019). Από κάθε ζυμάρι με τη χρήση δειγματολήπτη κόπηκαν κυλινδρικά δείγματα ύψους 1 cm και διαμέτρου 21 mm. Το έμβολο που χρησιμοποιήθηκε για την δοκιμή ήταν κυλινδρικό διαμέτρου 4 cm. Οι συνθήκες κάτω από τις οποίες διεξήχθη η δοκιμή ήταν οι ακόλουθες: ταχύτητα εμβόλου: 1 mm/s, εφαρμοζόμενη παραμόρφωση 20 % του αρχικού ύψους του δείγματος, χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ των δύο κύκλων «συμπίεσης – αποσυμπίεσης» 3 s.



**Εικόνα 4:** Δοκιμή συμπίεσης σε δείγμα ζυμαριού

Η σκληρότητα (N) του δείγματος, δηλαδή η δύναμη που απαιτείται για μία προκαθορισμένη παραμόρφωση, αντιστοιχεί στην κορυφή της καμπύλης (P<sub>1</sub>) του πρώτου κύκλου «συμπίεσης – αποσυμπίεσης» (Σχήμα 2) (Friedman et al., 1963, Liu, Cao & Liu, 2019). Το σημείο A (Σχήμα 2) είναι το σημείο έναρξης της πρώτης συμπίεσης, ενώ το B αντιστοιχεί στη δεύτερη. Ακολούθως, η συνεκτικότητα, δηλαδή η ισχύς των εσωτερικών δεσμών στο δείγμα, ορίζεται ως ο λόγος του εμβαδού A2 προς το εμβαδό A1 (Σχήμα 2) (Guinee, 2003, Liu, Cao & Liu, 2019). Τέλος, η ελαστικότητα (m), δηλαδή ο ρυθμός με τον οποίο ένα παραμορφωμένο υλικό επανέρχεται στο αρχικό του σχήμα και μέγεθος, ορίζεται ως η απόσταση d<sub>2</sub> (Guinee, 2003, Liu, Cao & Liu, 2019).

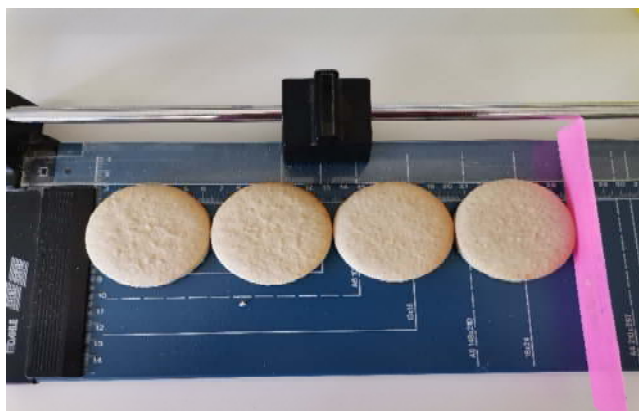


**Σχήμα 2:** Καμπύλες δύναμης – χρόνου για δοκιμή διπλής συμπίεσης (Liu, Cao & Liu, 2019).

## 2.6 Προσδιορισμός διαστάσεων μπισκότων

Το άπλωμα, δηλαδή το πλάτος των μπισκότων, υπολογίστηκε από την παράταξη τεσσάρων μπισκότων κάθε συνταγής σε αριθμημένη κλίμακα (εικόνα 5) και με παράλληλη περιστροφή τους κατά 90° καταγράφηκαν τρεις μετρήσεις και υπολογίστηκε το άπλωμα ως ο μέσος όρος των μετρήσεων.

Από την άλλη, για τον προσδιορισμό του φουσκώματος (πάχους) τοποθετήθηκαν τέσσερα μπισκότα της κάθε συνταγής το ένα πάνω στο άλλο και με την αναδιάταξή τους πραγματοποιήθηκαν τρεις μετρήσεις. Το πάχος υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος των μετρήσεων. Ο παράγοντας απλώματος (spread ratio) υπολογίστηκε διαιρώντας το άπλωμα με το φούσκωμα (Baumgartner et al., 2018, Sudha, Vetrimani & Leelavathi, 2007).



**Εικόνα 5:** Υπολογισμός απλώματος των μπισκότων κατά το ψήσιμο.

## 2.7 Μέτρηση Χρώματος

Η μέτρηση του χρώματος έγινε χρησιμοποιώντας το χρωματόμετρο χειρός 3nh High-Quality Spectrophotometer NS800S (SHENZHEN 3NH TECHNOLOGY CO., LTD., COLOR CONTROLLER HK LIMITED, Xili, Nanshan District, Shenzhen, China).

Οι μετρήσεις του χρώματος στηρίχτηκαν στον προσδιορισμό των χρωματικών παραμέτρων  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  του συστήματος CIE (1976). Ειδικότερα, το  $L^*$  αντιπροσωπεύει τη φωτεινότητα, με την τιμή  $L^*=0$  να αντιστοιχεί στο μαύρο και την τιμή  $L^*=100$  να αντιστοιχεί στο λευκό. Οι τιμές των  $a^*$ ,  $b^*$  αντικατοπτρίζουν τις ορθογώνιες συντεταγμένες του χρώματος πάνω στο επίπεδο διατομής του χρώματος, κάθετο στον άξονα μαύρου-άσπρου. Όταν η τιμή του  $a^*$  είναι θετική υποδεικνύει το κόκκινο χρώμα, ενώ όταν είναι αρνητική το πράσινο. Αντιστοίχως για το  $b^*$ , η θετική τιμή υποδεικνύει το κίτρινο, ενώ η αρνητική το μπλε χρώμα.

Για τον προσδιορισμό του χρώματος της επιφάνειας των μπισκότων η μέτρηση έγινε πάνω στην επιφάνεια του κάθε δείγματος. Από κάθε συνταγή, ανά χρόνο ψησίματος, πραγματοποιήθηκε μέτρηση σε τρία μπισκότα, σε τρία διαφορετικά σημεία ανά μπισκότο για τον ακριβή προσδιορισμό και την αξιοπιστία των μετρήσεων. Πριν τις μετρήσεις γινόταν βαθμονόμηση του χρωματόμετρου.

## 2.8 Δοκιμή σπασίματος τριών σημείων (Three-Point Bending Test)

Ο προσδιορισμός της αντοχής των μπισκότων έγινε με τη συσκευή καταπόνησης υλικών INSTRON 3343 με δοκιμές κάμψης (Εικόνα 5). Κατά τη διεξαγωγή της δοκιμής καταγράφηκε η μέγιστη δύναμη κατά το σπάσιμο του μπισκότου. Αναλυτικότερα, αφού τοποθετήθηκε το δείγμα σε κατάλληλα διαμορφωμένο χώρο, πραγματοποιήθηκε η μέτρηση με κατερχόμενο έμβολο. Με τη δοκιμή αυτή, γνωστή ως δοκιμή σπασίματος τριών σημείων, μετρήθηκε η δύναμη σπασίματος. Η μέγιστη δύναμη κατά το σπάσιμο (N) αντιπροσωπεύει τη σκληρότητα και εκφράζει τη δύναμη σπασίματος.

Η υποδοχή πάνω στην οποία τοποθετούνταν το μπισκότο αποτελούνταν από δύο δοκούς (μήκους 5 cm και ύψους 6 cm) που απείχαν μεταξύ τους 4 cm σε οριζόντιο επίπεδο. Για τη συγκεκριμένη δοκιμή συνδέθηκε στο όργανο γέφυρα 1 kN και το συνδεδεμένο έμβολο (μήκους 5 cm και ύψους 4,65 cm) κατερχόταν με ταχύτητα 2 mm/s προκειμένου να «σπάσει» το μπισκότο που στηρίζονταν πάνω στις δύο δοκούς. Για κάθε χρόνο ψησίματος ανά συνταγή πραγματοποιήθηκαν τέσσερις επαναλήψεις.



**Εικόνα 6:** Δοκιμή σπασίματος τριών σημείων

## 2.9 Προσδιορισμός υγρασίας μπισκότων

Για τον προσδιορισμό της υγρασίας των μπισκότων χρησιμοποιήθηκε εργαστηριακός φούρνος, ενώ η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η ακόλουθη, σύμφωνα με τη μέθοδο AACC44-15 A, 1999:

- Εισαγωγή γυάλινων φιαλιδίων ξήρανσης σε κλίβανο στους 100°C για μία ώρα ώστε να απομακρυνθεί η υπάρχουσα υγρασία.
- Εισαγωγή φιαλιδίων σε ξηραντήριο με αφυγραντικό μέσο (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) για είκοσι λεπτά ώστε να κρυώσουν.
- Ζύγιση των φιαλιδίων σε αναλυτικό ζυγό ώστε να προσδιοριστεί το απόβαρό τους.
- Άλεση των δειγμάτων των μπισκότων σε γουδί και τοποθέτηση περίπου 2 g στα φιαλίδια.
- Τοποθέτηση των γυάλινων φιαλιδίων στον φούρνο σε θερμοκρασία 130°C με ενδιάμεσες ζυγίσεις έως ότου επιτευχθεί σταθερό βάρος.
- Υπολογισμός της περιεχόμενης υγρασίας με τον ακόλουθο τύπο (1):

$$\text{Υγρασία (\% w. b.)} = \frac{W_{\alpha\rho\chi} - W_{\tau\epsilon\lambda}}{W_{\alpha\rho\chi}} * 100 \quad (1)$$

Για τον υπολογισμό της υγρασίας πραγματοποιήθηκαν 2 επαναλήψεις ανά χρόνο ψησίματος για την κάθε συνταγή και η τελική υγρασία προκύπτει ως ο μέσος όρος των επαναλήψεων αυτών.

## 2.10 Προσδιορισμός ενεργότητας ύδατος (aw) των μπισκότων

Ο προσδιορισμός της ενεργότητας νερού έγινε με το Hygrolab C1 (Rotronic AG, Switzerland). Το σύστημα αυτό απαρτίζεται από ένα κεντρικό μηχάνημα που επικοινωνεί με έναν ανιχνευτή/μετρητή. Για τον προσδιορισμό της ενεργότητας ύδατος των μπισκότων πραγματοποιήθηκαν 2 επαναλήψεις ανά χρόνο ψησίματος για την κάθε συνταγή και η τελική ενεργότητα ύδατος προκύπτει ως ο μέσος όρος των επαναλήψεων αυτών.



## 2.11 Στατιστική ανάλυση δεδομένων

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το Statgraphics Centurion XVI. Όλα τα αποτελέσματα παρατίθενται ως  $\text{mean} \pm \text{SD}$ , όπου mean είναι ο μέσος τουλάχιστον δύο επαναλήψεων και SD (standard deviation) η τυπική απόκλιση. Για τον σχεδιασμό των συνταγών των μπισκότων σίτου, καθώς και των εμπλουτισμένων με πίτυρο βρώμης μπισκότων, χρησιμοποιήθηκε ένας τριών επιπέδων παραγοντικός σχεδιασμός (3k factorial design), όπου κάθε εξεταζόμενος παράγοντας (υγρασία ζυμαριού, χρόνος ψησίματος) χαρακτηρίζονταν από τρεις τιμές ( $3^2$ ). Πραγματοποιώντας δύο επαναλήψεις των πειραματικών διαδικασιών, προέκυψαν δεκαοκτώ δοκιμές για την παρασκευή μπισκότων σίτου, καθώς και άλλες τόσες για την παρασκευή μπισκότων εμπλουτισμένων με ίνες πιτύρου βρώμης. Σε κάθε δοκιμή εναλλάσσονταν η υγρασία του ζυμαριού (12,7 %, 15 % και 17,3 %) με τον χρόνο ψησίματος (5, 6,5 και 8 min). Κατά την ανάλυση των πειραματικών διαδικασιών, οι στατιστικές αποκλίσεις ελέγχθηκαν μέσω του ελέγχου Anova (Analysis of Variance). Επίσης, μέσω των διαγραμμάτων Pareto, εξετάστηκε και ο βαθμός στον οποίο επιδρά κάθε παράγοντας στην εξεταζόμενη μεταβλητή. Για τις δύο συνταγές μπισκότων που εμπλουτίστηκαν με ίνες φραγκόσυκου οι στατιστικές αποκλίσεις ελέγχθηκαν μέσω one – way ANOVA (Analysis of Variance). Τέλος για τον προσδιορισμό της σημαντικότητας των διαφορών μεταξύ των μέσων χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο Fischer's least significant difference (LSD), ενώ για τη συσχέτιση δύο μεταβλητών ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson. Όλοι οι έλεγχοι πραγματοποιήθηκαν σε 95 % διάστημα εμπιστοσύνης ( $P < 0,05$ ).

**Υποσημείωση:** Σε μελλοντική μελέτη προτείνεται η εφαρμογή του κριτηρίου LSD για κάθε χρόνο ψησίματος ξεχωριστά.

### 3. Αποτελέσματα – συζήτηση

#### 3.1 Ανάλυση σκόνης συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσυκιάς

Παρακάτω παρατίθενται τα χαρακτηριστικά της σκόνης του συμπυκνωμένου κλάσματος, όπως αυτά υπολογίστηκαν με τις μεθόδους που αναφέρθηκαν παραπάνω.

**Πίνακας 5:** Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά σκόνης συμπυκνωμένου κλάσματος κίτρινης και μωβ ποικιλίας φραγκοσυκιάς.

Ιδιότητα		Κίτρινη ποικιλία (mean ± SD)	Μωβ ποικιλία (mean ± SD)
Υγρασία (% w.b.)		5,85 ± 0,03	6,59 ± 0,22
Χρώμα	L*	59,16 ± 0,30	30,75 ± 0,16
	a*	11,28 ± 0,08	20,47 ± 0,72
	b*	12,17 ± 0,06	-2,857 ± 0,212
Αδιάλυτες διαιτητικές ίνες (IDF) % (d.b.)		29,92 ± 1,09	23,66 ± 1,15
Διαλυτές διαιτητικές ίνες (SDF) % (d.b.)		3,51 ± 0,31	6,66 ± 0,24
Σύνολο ινών επί ξηρού % (d.b.)		33,43	30,32
SDF/IDF		1/9	1/3,5
Διαθέσιμοι υδατάνθρακες (ACH) % (d.b.)		47,73 ± 1,70	40,15
Βητακυανίνες (mg/100 g συμπυκνωμένου κλάσματος)		13,66 ± 0,78	167,19 ± 4,68
Βηταξανθίνες (mg/100 g συμπυκνωμένου κλάσματος)		50,02 ± 0,05	50,09 ± 2,76

\*Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως μέσος όρος ± τυπική απόκλιση.

Η σύσταση του καρπού της φραγκοσυκιάς είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το στάδιο της ωρίμανσης. Γενικά, η περιεκτικότητα σε σάκχαρα, διαλυτά στερεά και βιταμίνη C αυξάνεται σημαντικά κατά την διάρκεια της ωρίμανσης, ενώ η οξύτητα μειώνεται (Barbera & Inglese, 1992, Kutí, 1992).

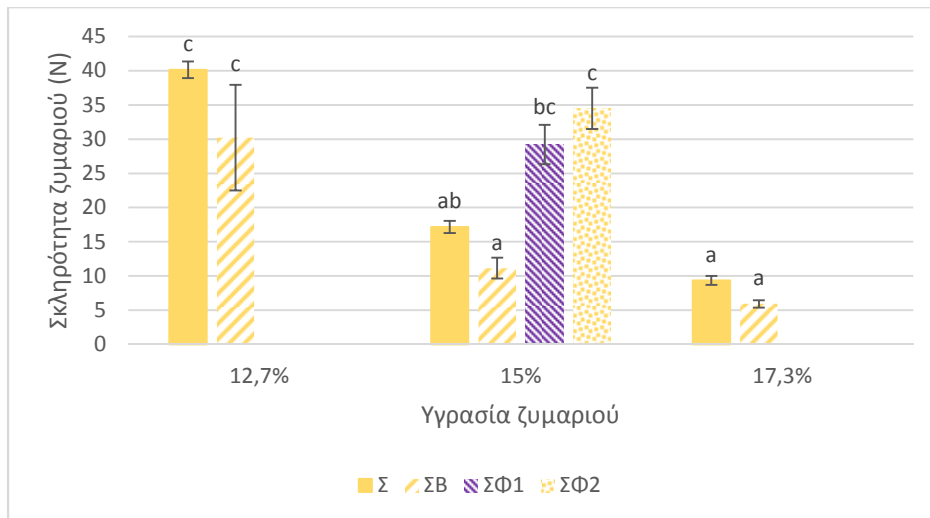
Αναφορικά με την υγρασία της σκόνης του συμπυκνωμένου κλάσματος, ήταν ιδιαίτερα χαμηλή. Σε παρόμοια έρευνα (Monter-Arciniega et al., 2018) σε κλάσμα που παρελήφθη κατά την φυγοκέντρωση χυμού φραγκοσυκιάς και ακολούθως υπέστη λυοφιλίωση, προσδιορίστηκαν χαμηλά ποσοστά υγρασίας που κυμαίνονταν από 6 έως 9,8 %, τιμές κοντινές στις πειραματικές του Πίνακα 5. Η περιεκτικότητα σε διαθέσιμους υδατάνθρακες επί ξηρού δείγματος ήταν σημαντικά αυξημένη, ωστόσο μικρότερη από την αντίστοιχη των Monter-Arciniega et al., 2018 (>49%). Αντίθετα, η περιεκτικότητα σε ολικές διαιτητικές ίνες επί ξηρού δείγματος ήταν σημαντικά υψηλότερη συγκριτικά με εκείνη της βιβλιογραφίας (14%) (Monter-Arciniega et al., 2018).

### 3.2 Ανάλυση υφής ζυμαριού

Το ζυμάρι αποτελεί το ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ του αλεύρου και του μπισκότου. Τα ρεολογικά του χαρακτηριστικά επηρεάζουν τόσο τη μηχανική του επεξεργασία, όσο και την ποιότητα του τελικού προϊόντος (Faridi & Faubion, 1986).

Οι ρεολογικές ιδιότητες του ζυμαριού διαμορφώνονται με τη συνεισφορά του αμύλου, της γλουτένης και του προστιθέμενου νερού (Marchetti et al., 2012). Η αλληλεπίδραση του νερού με το αλεύρι το καθιστούν ως το δεύτερο σημαντικότερο συστατικό του ζυμαριού. Κατά την επαφή τους με το νερό, το άμυλο και η γλουτένη σχηματίζουν ένα συνεχές δικτύωμα με διεσπαρμένα σωματίδια, καθιστώντας το ζυμάρι ελαστικό και εύπλαστο (Bhattacharya, 2010). Ακόμα και μία μεταβολή της τάξης του 1 % στη συγκέντρωση του νερού είναι ικανή να επηρεάσει σημαντικά τις ρεολογικές ιδιότητες του ζυμαριού του μπισκότου (Manohar & Rao, 2015).

Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα των παραμέτρων της σκληρότητας, της συνεκτικότητας και της ελαστικότητας του ζυμαριού ανά συνταγή:



**Διάγραμμα 1:** Επίδραση του προστιθέμενου νερού στην σκληρότητα των εμπλουτισμένων με ίνες ζυμαριών. Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση. Οι τιμές που έχουν διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά ( $P < 0,05$ ). Όπου **Σ**: Ζύμη Μάρτυρα, **ΣΒ**: Ζύμη με 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης, **ΣΦ1**: Ζύμη με 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος (μωβ ποικιλίας), **ΣΦ2**: Ζύμη με 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος (κίτρινης ποικιλίας).

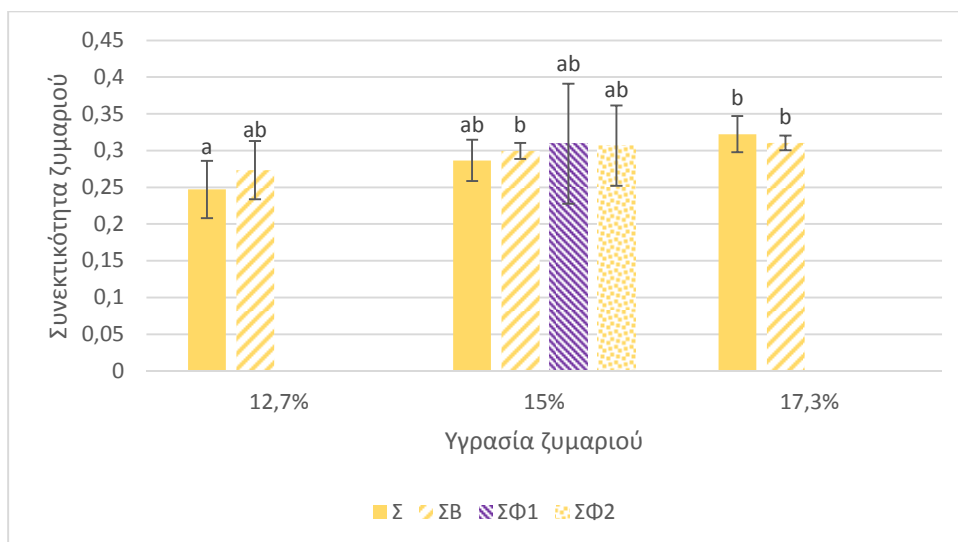
Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα, αύξηση της ποσότητας του προστιθέμενου στο ζυμάρι νερού συντελεί σε μείωση της σκληρότητας του ζυμαριού. Στη βέλτιστή του ανάμιξη, το ζυμάρι είναι πλήρως ενυδατωμένο και χαρακτηρίζεται από την υψηλότερη ελαστικότητα. Επιπλέον, το νερό διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των ιξωδοελαστικών ιδιοτήτων του ζυμαριού. Συγκεκριμένα ο ρόλος του στο ζυμάρι είναι διττός, καθώς από τη μία συμπεριφέρεται ως αδρανές πληρωτικό που μειώνει αναλογικά τις δυναμικές ιδιότητες του ζυμαριού, ενώ δρα και ως λιπαντικό που ενισχύει τη χαλάρωση του (Masi et al., 1998).

Στις συνταγές που πραγματοποιήθηκε μερική υποκατάσταση του αλεύρου σίτου με άλευρο από πίτυρο βρώμης, τα ζυμάρια που προέκυψαν και για τις τρεις περιεκτικότητες νερού ήταν λιγότερο σκληρά σε σχέση με τα αντίστοιχα του Μάρτυρα. Γενικά οι  $\beta$  – γλυκάνες έχουν την ικανότητα να κατακρατούν υψηλές ποσότητες νερού, καθώς διαθέτουν έναν μεγάλο αριθμό υδροξυλομάδων που τους επιτρέπει να αλληλεπιδρούν με το νερό μέσω δεσμών υδρογόνου (Ahmed, 2015). Κατά την προσθήκη τους σε ένα σύνθετο ζυμάρι, ανταγωνίζονται το αλεύρι σίτου ως προς το νερό κατά την ανάπτυξη του ζυμαριού.

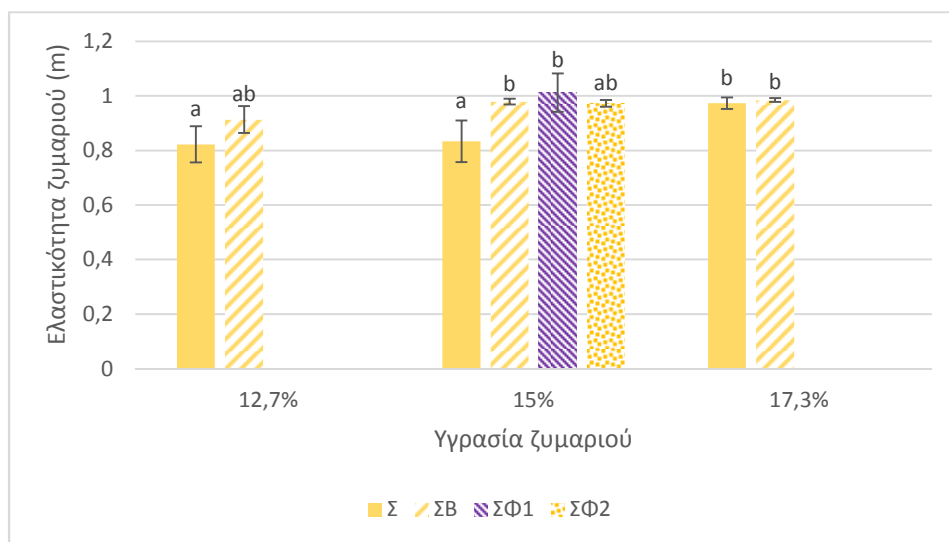
Επιπλέον, τόσο η ποσότητα, όσο και η κατάσταση στην οποία απαντά το νερό επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα του ζυμαριού και των προϊόντων του. Στο ζυμάρι που ενσωματώθηκε πίτυρο βρώμης (ΣΒ) περιέχεται σημαντικά λιγότερο δεσμευμένο και περισσότερο ακινητοποιημένο νερό συγκριτικά με το ζυμάρι του Μάρτυρα (Σ). Αυτό οφείλεται στην εξαιρετική ικανότητα των β – γλυκανών να δεσμεύουν νερό, γεγονός που προκαλεί μετανάστευση του νερού από την γλουτένη (Wang et al., 2017). Επιπρόσθετα, η προσθήκη β – γλυκανών διακόπτει τον σχηματισμό δισουλφιδικών δεσμών από ελεύθερες σουλφυδρυλομάδες. Αυτό οφείλεται στον ανταγωνισμό για το νερό μεταξύ των β – γλυκανών και των πρωτεϊνών της γλουτένης, με τις τελευταίες να έχουν περιορισμένη πρόσβαση ως προς αυτό. Παρομοίως, ο Liu και οι συνεργάτες του (2016) διαπίστωσαν πως η προσθήκη ινουλίνης μείωνε σημαντικά τους δισουλφιδικούς δεσμούς της γλουτένης.

Στις συνταγές που έγινε εμπλουτισμός του ζυμαριού με ίνες φραγκόσουκου, με υποκατάσταση μέρους του αλεύρου σίτου και της ζάχαρης, για την ίδια συγκέντρωση νερού (15 %), το ζυμάρι ήταν πιο σκληρό σε σχέση με αυτό του Μάρτυρα και του σύνθετου ζυμαριού με άλευρο από πίτυρο βρώμης. Σύμφωνα με αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών (Nawrocka et al., 2015, Nawrocka et al., 2016, Nawrocka, Mis & Szymanska-Chargot, 2016) σε μίγματα εμπλουτισμένα με υψηλά ποσοστά αδιάλυτων διαιτητικών ινών σχηματίζεται ένα πιο συμπαγές δίκτυο γλουτένης, γεγονός που υποδηλώνει την αναδίπλωση ή συσσωμάτωση των πρωτεϊνών της γλουτένης.

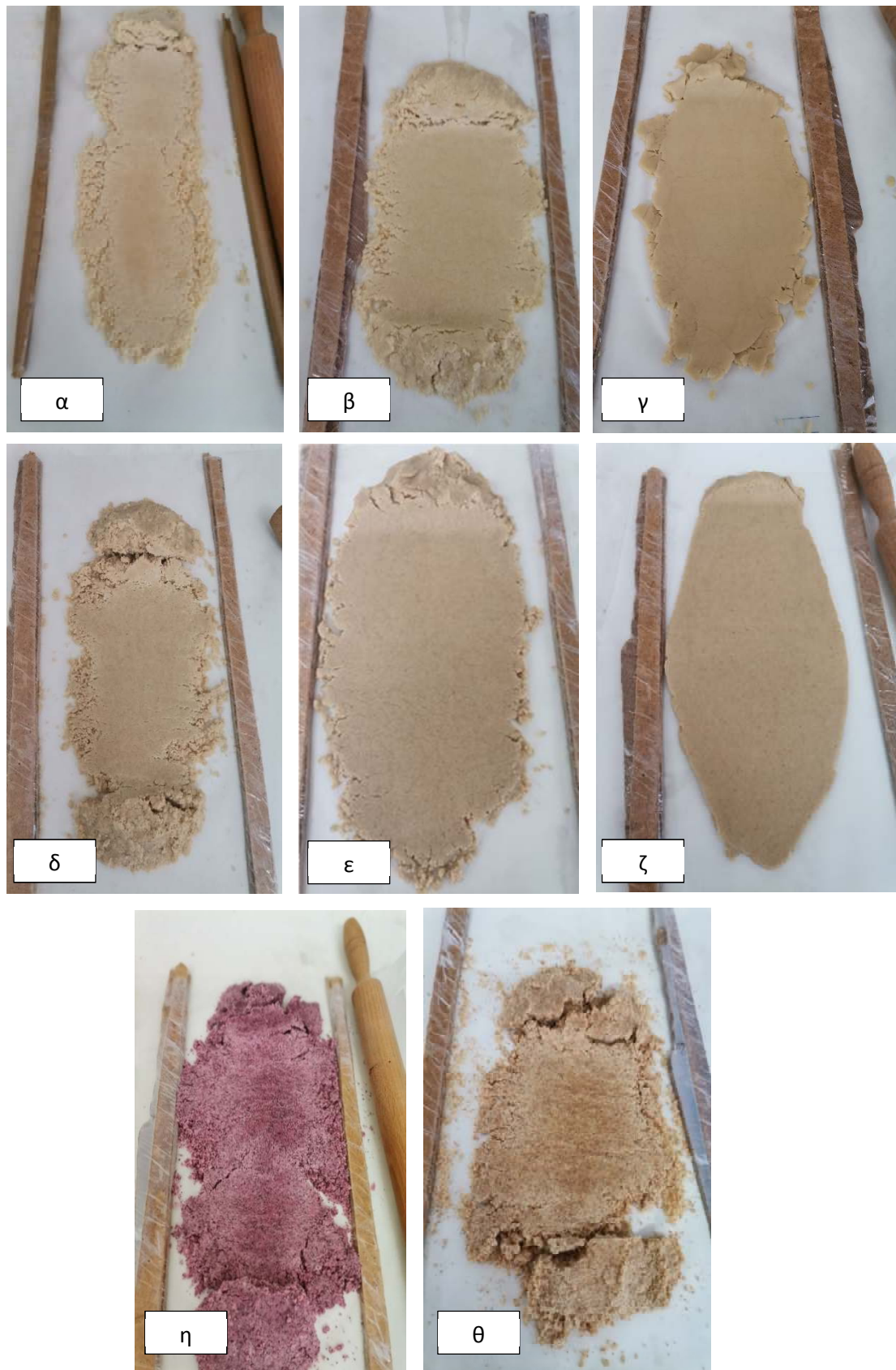
Τέλος, ως προς τη συνεκτικότητα (Διάγραμμα 2) και την ελαστικότητα (Διάγραμμα 3) των ζυμαριών κάθε συνταγής δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του προστιθέμενου νερού ( $P > 0,05$ ), ενδεχομένως λόγω της κυρίαρχης επίδρασης του λίπους, του οποίου η ποσότητα συγκριτικά με την αντίστοιχη του νερού ήταν αρκετά υψηλότερη. Παρουσία επαρκών επιπέδων λίπους στο ζυμάρι, τα σωματίδια του αλεύρου καλύπτονται και παρεμποδίζεται η ανάπτυξη του δικτύου της γλουτένης, με αποτέλεσμα το μαλάκωμα και την μειωμένη ελαστικότητα του ζυμαριού. Παρά τη χαμηλή ποσότητα νερού, πιο ομοιογενές και μαλακό ζυμάρι μπορεί να παραχθεί παρουσία υψηλότερων επιπέδων λίπους (15 – 20 %), εξαιτίας των λιπαντικών ιδιοτήτων του (Maache-Rezzoug et al., 1998).



**Διάγραμμα 2:** Επίδραση του προστιθέμενου νερού στην συνεκτικότητα των εμπλουτισμένων με ίνες ζυμαριών. Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση. Οι τιμές που έχουν ίδια γράμματα δεν διαφέρουν σημαντικά ( $P > 0,05$ ). Όπου **Σ**: Ζύμη Μάρτυρα, **ΣΒ**: Ζύμη με 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης, **ΣΦ1**: Ζύμη με 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος (μωβ ποικιλίας), **ΣΦ2**: Ζύμη με 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος (κίτρινης ποικιλίας).



**Διάγραμμα 3:** Επίδραση του προστιθέμενου νερού στην ελαστικότητα των εμπλουτισμένων με ίνες ζυμαριών. Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση. Οι τιμές που έχουν ίδια γράμματα δεν διαφέρουν σημαντικά ( $P > 0,05$ ). Όπου **Σ**: Ζύμη Μάρτυρα, **ΣΒ**: Ζύμη με 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης, **ΣΦ1**: Ζύμη με 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος (μωβ ποικιλίας), **ΣΦ2**: Ζύμη με 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος (κίτρινης ποικιλίας).

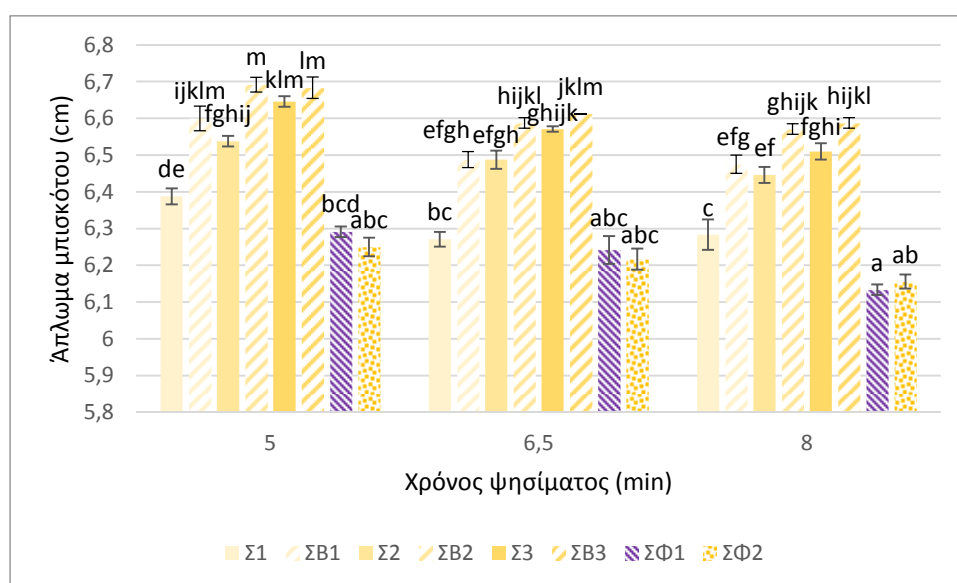


**Εικόνα 7:** Ζυμάρια: 1) Μάρτυρα α. 12,7 %, β. 15 % και γ. 17,3 % νερό, 2) 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης δ. 12,7 %, ε. 15 % και ζ. 17,3 % νερό, 3) 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος η. μωβ και θ. κίτρινης φραγκοσυκιάς 15% νερό.

### 3.3 Διαστάσεις μπισκότων

Οι διαστάσεις των μπισκότων διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αποδοχή τους από το καταναλωτικό κοινό, καθώς μπισκότα με μεγαλύτερη διάμετρο και μεγαλύτερο άπλωμα είναι πιο ελκυστικά (Yamamoto et al. 1996). Για την παραγωγή ποιοτικών μπισκότων συνήθως προτιμάται επεκτάσιμο ζυμάρι, καθώς αποδίδει μπισκότα μεγαλύτερης διαμέτρου (απλώματος) και μικρότερου ύψους (φουσκώματος) (Devi & Khatkar, 2016).

Στα παρακάτω διαγράμματα που ακολουθούν φαίνεται πως μεταβάλλεται το άπλωμα, το φούσκωμα και ο παράγοντας απλώματος ανά συνταγή, συναρτήσει της περιεκτικότητας του ζυμαριού σε νερό και του χρόνου ψησίματος.



**Διάγραμμα 4:** Μεταβολή του απλώματος των μπισκότων. Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση. Οι τιμές που έχουν διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά ( $P < 0,05$ ). **Σ1:** Μάρτυρας – 12,7 % νερό, **Σ2:** Μάρτυρας – 15 % νερό, **Σ3:** Μάρτυρας – 17,3 % νερό, **ΣΒ1:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης - 12,7 % νερό, **ΣΒ2:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης - 15 % νερό, **ΣΒ3:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης – 17,3 % νερό, **ΣΦ1:** 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσυκιάς μωβ ποικιλίας – 15 % νερό, **ΣΦ2:** 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσυκιάς κίτρινης ποικιλίας – 15 % νερό

Γενικά παρατηρείται ότι στα μπισκότα που παρασκευάστηκαν με τη βασική συνταγή (Μάρτυρας), καθώς και με τη συνταγή όπου έγινε εμπλουτισμός με ίνες



πίτυρου Βρώμης, τόσο το προστιθέμενο νερό, όσο και ο χρόνος ψησίματος επιδρούν σημαντικά στο άπλωμα του μπισκότου ( $P < 0,05$ ).

Συγκεκριμένα, θετικά επιδρά η αύξηση της συγκέντρωσης του νερού στο ζυμάρι, καθώς όπως φαίνεται οδηγεί σε μεγαλύτερο άπλωμα του μπισκότου κατά το ψήσιμο. Με βάση τη βιβλιογραφία, παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων λίπους και ζάχαρης στη συνταγή, οι πρωτεΐνες του αλεύρου δεν ενυδατώνονται επαρκώς ώστε να σχηματιστεί το δίκτυο της γλουτένης, ενώ κατά το ψήσιμο το νερό είναι ανεπαρκές για να ζελατινοποιήσει μεγάλο μέρος του αμύλου (Manley, 1991). Αυξάνοντας λοιπόν τη συγκέντρωση του νερού στο ζυμάρι, μειώνεται όλο και περισσότερο το ιξώδες του, επιτρέποντας το άπλωμα του μπισκότου να συντελείται με ταχύτερο ρυθμό (Hoseney & Rogers, 1994).

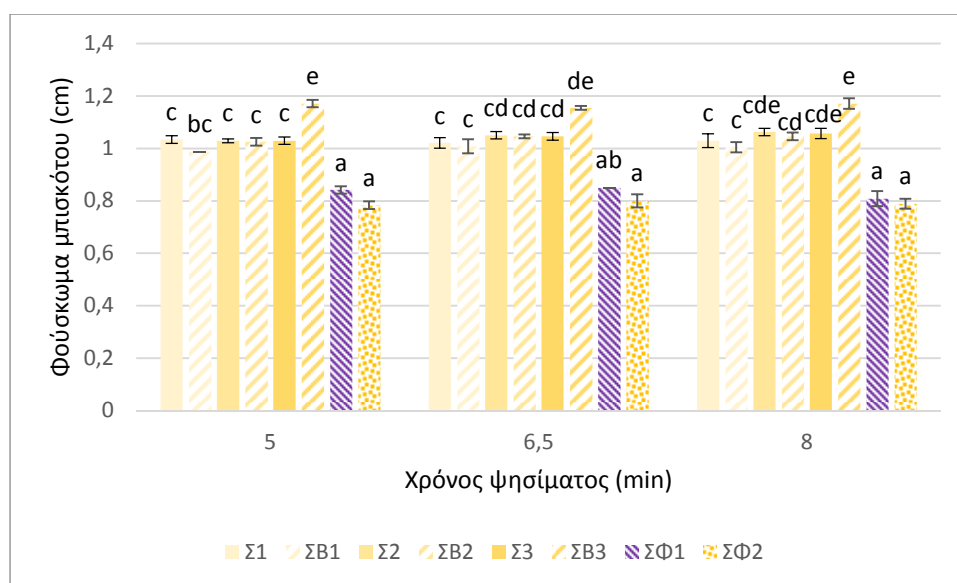
Αντιθέτως, αρνητικά επιδρά ο χρόνος ψησίματος, καθώς για τα ίδια επίπεδα νερού στο ζυμάρι, παρατείνοντας το χρόνο ψησίματος, παρατηρείται ελαφριά μείωση στο άπλωμα του μπισκότου ως απόρροια της εξάτμισης του νερού που συντελείται κατά το ψήσιμο (Chevallier et al., 2002).

Ωστόσο, στις συνταγές που έγινε υποκατάσταση του αλεύρου σίτου με πίτυρο βρώμης, παρήχθησαν μπισκότα μεγαλύτερης διαμέτρου (απλώματος) σε σχέση με τα αντίστοιχα του Μάρτυρα. Παρόμοιες έρευνες κατέληξαν στο ίδιο πόρισμα, όπου αύξηση του ποσοστού υποκατάστασης του αλεύρου σίτου με πίτυρο βρώμης είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της διαμέτρου και του πάχους των παραγόμενων μπισκότων (Sudha et al., 2007, Baumgartner et al., 2018). Η αύξηση αυτή μπορεί να αποδοθεί στη μείωση του ιξώδους του ζυμαριού (Baumgartner et al., 2018). Επιπλέον, όπως διατυπώθηκε από τον Miller και τους συνεργάτες του (1996), ακόμα και αν η δομή της γλουτένης δεν σχηματίζεται κατά την ανάμιξη, αυτή σχηματίζει ένα συνεχές δίκτυο κατά το ψήσιμο μεταπίπτοντας σε μία φαινομενική υαλώδης μετάπτωση. Έτσι το άπλωμα του ζυμαριού του μπισκότου σταματά όταν το δίκτυο αυτό είναι επαρκές ώστε να σταματήσει η εξάπλωση του ζυμαριού. Ο εμπλουτισμός του ζυμαριού με πίτυρο βρώμης μπορεί να επηρεάσει το φαινόμενο αυτό, καθώς εξασθενεί τη δομή της γλουτένης (Baumgartner et al., 2018).

Τέλος, στις δύο τελευταίες συνταγές (ΣΦ1 και ΣΦ2), η προσθήκη ξηρής ουσίας υποκατέστησε μέρος του αλεύρου σίτου, καθώς και της ζάχαρης, αποδίδοντας μπισκότα σημαντικά μικρότερου απλώματος σε σχέση με τα αντίστοιχα του Μάρτυρα και των εμπλουτισμένων με ίνες από πίτυρο βρώμης. Συγκεκριμένα η υποκατάσταση της σακχαρόζης με δεξτρόζη, φρουκτόζη, σιρόπια καλαμποκιού και σιρόπια

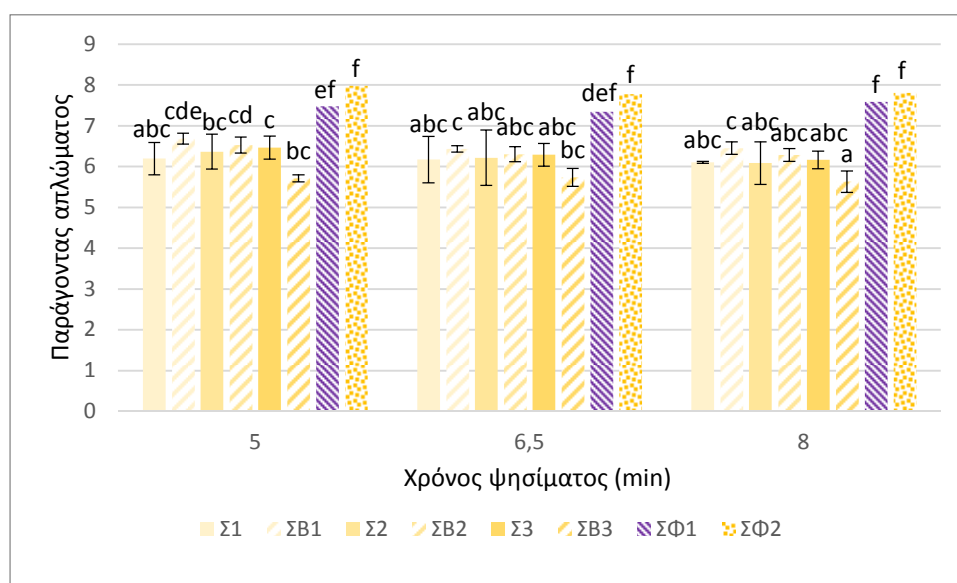
καλαμποκιού υψηλής συγκέντρωσης σε φρουκτόζη, έχει ως αποτέλεσμα την παρασκευή μπισκότων μικρότερου απλώματος (Kulr, Lorenz & Stone, 1991, Doescher, Hosenev & Milliken, 1987). Επίσης και εδώ παρατηρείται μείωση του απλώματος του μπισκότου συναρτήσει του χρόνου ψησίματος ( $P = 0,0223$ ).

Αναφορικά με το ύψος (φούσκωμα) των μπισκότων, αν και αυξάνεται σε σχέση με το αρχικό πριν το ψήσιμο (0,7 cm), ωστόσο για όλες τις συνταγές δεν φαίνεται να επηρεάζεται σημαντικά από τον χρόνο ψησίματος ( $P > 0,05$ ). Γενικά στις συνταγές Σ1, Σ2, Σ3 το φούσκωμα του μπισκότου δεν διαφέρει σημαντικά και για τους τρεις χρόνους ψησίματος ( $P = 0,3437$ ). Αντιθέτως στις συνταγές ΣΒ1, ΣΒ2 και ΣΒ3, φαίνεται πως η αύξηση της συγκέντρωσης του νερού στο ζυμάρι συνεισφέρει σημαντικά στο φούσκωμα του μπισκότου ( $P = 0,0000$ ) Τέλος, στις συνταγές ΣΦ1 και ΣΦ2, η προσθήκη ξηρής ουσίας με ταυτόχρονη υποκατάσταση της ζάχαρης είχε ως αποτέλεσμα το μειωμένο φούσκωμα των μπισκότων κατά το ψήσιμο, το οποίο δεν επηρέασε η παράταση του χρόνου ψησίματος ( $P = 0,7403$ ).



**Διάγραμμα 5:** Μεταβολή του φουσκώματος των μπισκότων. Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση. Οι τιμές που έχουν διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά ( $P < 0,05$ ). **Σ1:** Μάρτυρας – 12,7 % νερό, **Σ2:** Μάρτυρας – 15 % νερό, **Σ3:** Μάρτυρας – 17,3 % νερό, **ΣΒ1:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης - 12,7 % νερό, **ΣΒ2:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης - 15 % νερό, **ΣΒ3:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης – 17,3 % νερό, **ΣΦ1:** 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσυκιάς μωβ ποικιλίας – 15 % νερό, **ΣΦ2:** 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσυκιάς κίτρινης ποικιλίας – 15 % νερό

Προχωρώντας στον παράγοντα απλώματος, στις συνταγές Σ1, Σ2 και Σ3 παρατηρείται μικρή μείωσή του, με σημαντικότερη επίδραση αυτής του χρόνου ψησίματος ( $P = 0,0565$ ). Η ίδια μείωση παρατηρείται και για τις συνταγές ΣΒ1, ΣΒ2 και ΣΒ3, μόνο που εδώ σημαντικότερα επιδρά το προστιθέμενο νερό ( $P = 0,0000$ ) έναντι του χρόνου ψησίματος ( $P = 0,0472$ ). Τέλος, ο παράγοντας απλώματος αυξάνεται με την υποκατάσταση της ζάχαρης και τον εμπλουτισμό με ίνες στις συνταγές ΣΦ1 και ΣΦ2, χωρίς ωστόσο να παρατηρείται στατιστικά σημαντική μεταβολή ως προς τον χρόνο ψησίματος ( $P = 0,8266$ ).



**Διάγραμμα 6:** Μεταβολή του παράγοντα απλώματος των μπισκότων. Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση. Οι τιμές που έχουν διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά ( $P < 0,05$ ). **Σ1:** Μάρτυρας – 12,7 % νερό, **Σ2:** Μάρτυρας – 15 % νερό, **Σ3:** Μάρτυρας – 17,3 % νερό, **ΣΒ1:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης - 12,7 % νερό, **ΣΒ2:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης - 15 % νερό, **ΣΒ3:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης – 17,3 % νερό, **ΣΦ1:** 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσυκιάς μωβ ποικιλίας – 15 % νερό, **ΣΦ2:** 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσυκιάς κίτρινης ποικιλίας – 15 % νερό

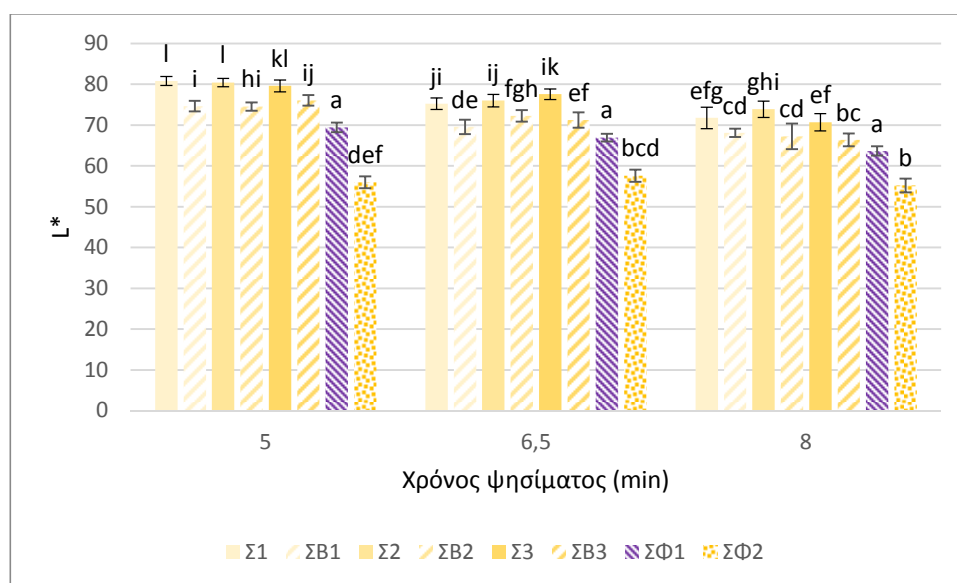
### 3.4 Χρώμα επιφάνειας μπισκότων

Το χρώμα αποτελεί βασική παράμετρο για την αποδοχή των μπισκότων. Αποδίδεται κυρίως στην αντίδραση Maillard που συντελείται υπό την επίδραση υψηλών θερμοκρασιών κατά το ψήσιμο.

Επίσης, στο χρώμα των ψημένων μπισκότων συνεισφέρει και η καραμελοποίηση των σακχάρων, αφού η θερμοκρασία στον φούρνο έχει φτάσει τους 150°C (Asselman et al., 2007).

Μία ακόμη παράμετρος που συνεισφέρει στο χρώμα των μπισκότων είναι ο τύπος του διογκωτικού παράγοντα. Συγκεκριμένα, η προσθήκη δικαρβονικού αμμωνίου μειώνει το pH του ζυμαριού επιταχύνοντας την αποδόμηση της σακχαρόζης και συνεπώς το σχηματισμό της υδροξυ-μεθυλο-φουρφουράλης (HMF) (Gökmen et al., 2008b). Η HMF αποτελεί προϊόν της αφυδρογόνωσης των αναγωγικών σακχάρων ή σχηματίζεται μέσω της μετάθεσης Amadori κατά την αντίδραση Maillard (Zhang et al., 2016).

Αναφορικά με τη φωτεινότητα ( $L^*$ ) των μπισκότων, αυτή μειώνεται στις συνταγές που έγινε εμπλουτισμός του ζυμαριού με πίτυρο βρώμης (ΣΒ1, ΣΒ2 και ΣΒ3) σε σχέση με τις αντίστοιχες του Μάρτυρα (Σ1, Σ2 και Σ3).



**Διάγραμμα 7:** Μεταβολή της χρωματικής παραμέτρου  $L^*$  των ψημένων μπισκότων. Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση. Οι τιμές που έχουν διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά ( $P < 0,05$ ). **Σ1:** Μάρτυρας – 12,7 % νερό, **Σ2:** Μάρτυρας – 15 % νερό, **Σ3:** Μάρτυρας – 17,3 % νερό, **ΣΒ1:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης - 12,7 % νερό, **ΣΒ2:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης - 15 % νερό, **ΣΒ3:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης – 17,3 % νερό, **ΣΦ1:** 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσυκιάς μωβ ποικιλίας – 15 % νερό, **ΣΦ2:** 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσυκιάς κίτρινης ποικιλίας – 15 % νερό.

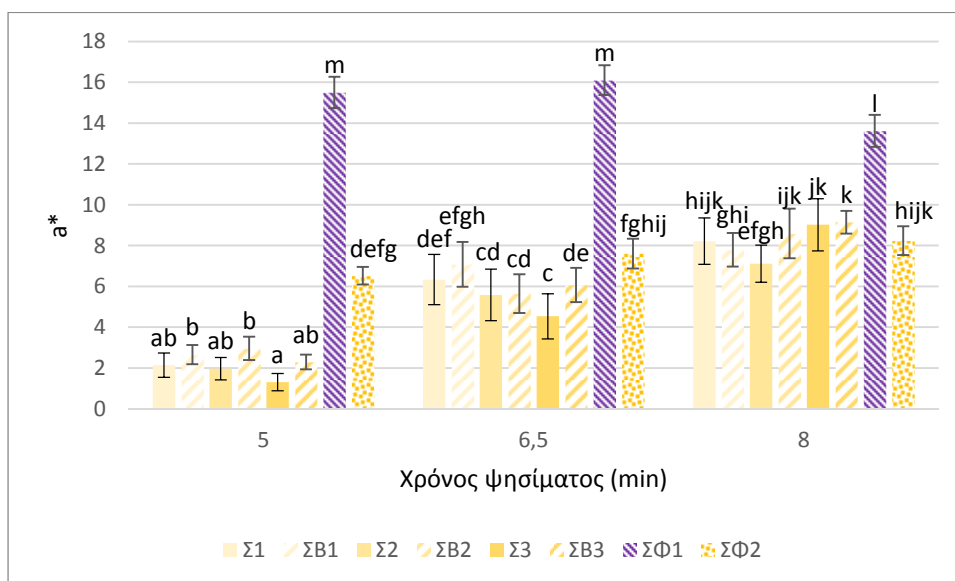
Γενικά η ενσωμάτωση του πιτύρου μεταβάλλει το χρώμα των προϊόντων αρτοποιίας αποδίδοντας σκουρότερο χρωματισμό (Baumgartner et al., 2018). Σε όλες τις συνταγές η επίδραση του προστιθέμενου νερού είναι αμελητέα ( $P > 0,05$ ). Ωστόσο, φαίνεται πώς παράταση του χρόνου ψησίματος οδηγεί σε σκουρότερο χρωματισμό στην επιφάνεια του μπισκότου, γεγονός που συνάδει με τις οπτικές παρατηρήσεις.

Ως προς τη φωτεινότητα των μπισκότων όπου έγινε εμπλουτισμός με ίνες φραγκόσυκου, με ταυτόχρονη υποκατάσταση της ζάχαρης, ήταν χαμηλότερη σε σχέση με εκείνων των άλλων συνταγών, χωρίς ωστόσο να παρατηρείται κάποια σταθερή τάση υπό την επίδραση του χρόνου ψησίματος.

Στα προϊόντα αρτοποιίας, το περιεχόμενο και ο τύπος των σακχάρων επηρεάζουν την ανάπτυξη του χρώματος. Μπισκότα όπου ως γλυκαντικό χρησιμοποιήθηκε η φρουκτόζη χαρακτηρίζονταν από σημαντικά σκοτεινότερο χρώμα (Zoulias, Piknis & Oreopoulou, 2000). Η παρατήρηση αυτή συνδέεται με την επιρροή της φρουκτόζης στην παραγωγή υδροξυ-μεθυλο-φουρφουράλης (HMF) και γενικότερα στην εξέλιξη της αμαύρωσης. Συγκεκριμένα, σε θερμοκρασίες κάτω των  $300^{\circ}\text{C}$ , η σακχαρόζη παραμένει σταθερή, ενώ η γλυκόζη και η φρουκτόζη παράγουν περισσότερη υδροξυ-μεθυλο-φουρφουράλη (Ait Ameur et al., 2007, Gökmen et al., 2007).

Ωστόσο η φρουκτόζη ξεχωρίζει, καθώς αποδίδει μεγαλύτερες ποσότητες υδροξυ-μεθυλο-φουρφουράλης σε σχέση με τη γλυκόζη σε οποιεσδήποτε συνθήκες ψησίματος (Ait Ameur et al., 2007). Έτσι δικαιολογείται η ανάπτυξη σκουρότερου χρώματος στις συνταγές ΣΦ1 και ΣΦ2, όπου υποκαταστάθηκε μέρος της ζάχαρης με σάκχαρα από τον καρπό του φραγκόσυκου.

Προχωρώντας στην χρωματική παράμετρο  $a^*$ , φαίνεται ότι η μεταβολή της συγκέντρωσης του νερού στο ζυμάρι δεν επηρεάζει σημαντικά την διαμόρφωση της. Αντιθέτως, σημαντική είναι και εδώ η επίδραση του χρόνου ψησίματος, καθώς στις συνταγές Σ1, Σ2, Σ3, ΣΒ1, ΣΒ2 και ΣΒ3, παρατηρείται αύξηση της τιμής της χρωματικής παραμέτρου. Τα αποτελέσματα συνάδουν με τις οπτικές παρατηρήσεις, καθώς το χρώμα των μπισκότων πλησιάζει περισσότερο προς το κόκκινο παρατείνοντας το χρόνο ψησίματος, με τις συνταγές ΣΒ1, ΣΒ2 και ΣΒ3 να παρουσιάζουν ελάχιστα μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με τις Σ1, Σ2 και Σ3.

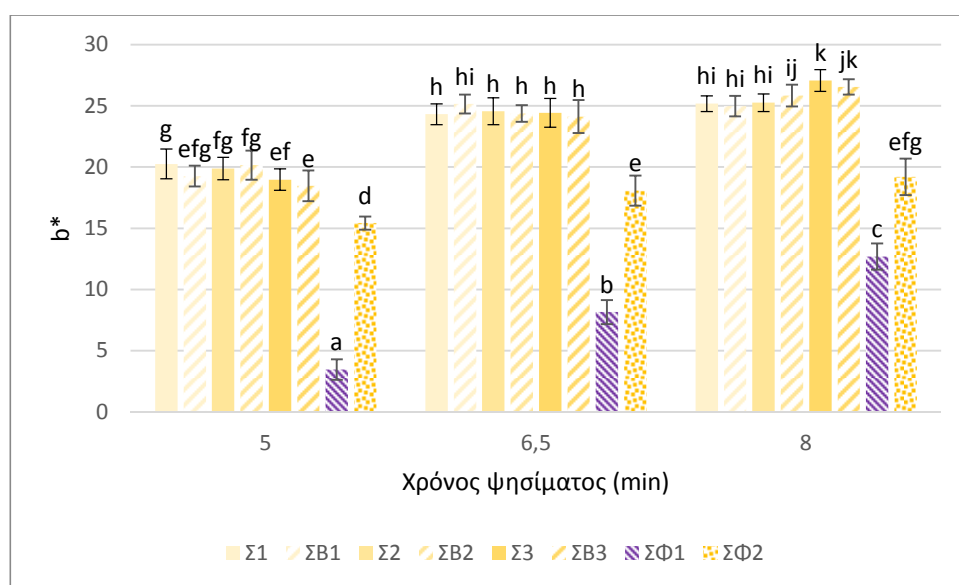


**Διάγραμμα 8:** Μεταβολή της χρωματικής παραμέτρου  $a^*$  των ψημένων μπισκότων. Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση. Οι τιμές που έχουν διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά ( $P < 0,05$ ). **Σ1:** Μάρτυρας – 12,7 % νερό, **Σ2:** Μάρτυρας – 15 % νερό, **Σ3:** Μάρτυρας – 17,3 % νερό, **ΣΒ1:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης - 12,7 % νερό, **ΣΒ2:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης - 15 % νερό, **ΣΒ3:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης – 17,3 % νερό, **ΣΦ1:** 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσουκιάς μωβ ποικιλίας – 15 % νερό, **ΣΦ2:** 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσουκιάς κίτρινης ποικιλίας – 15 % νερό.

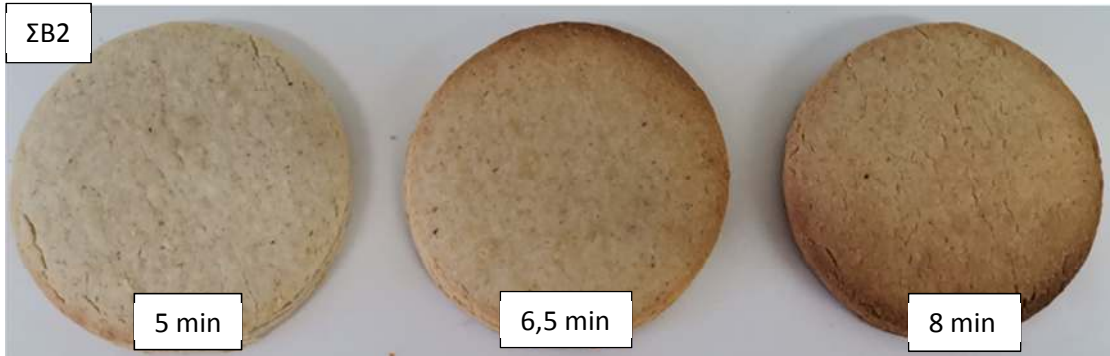
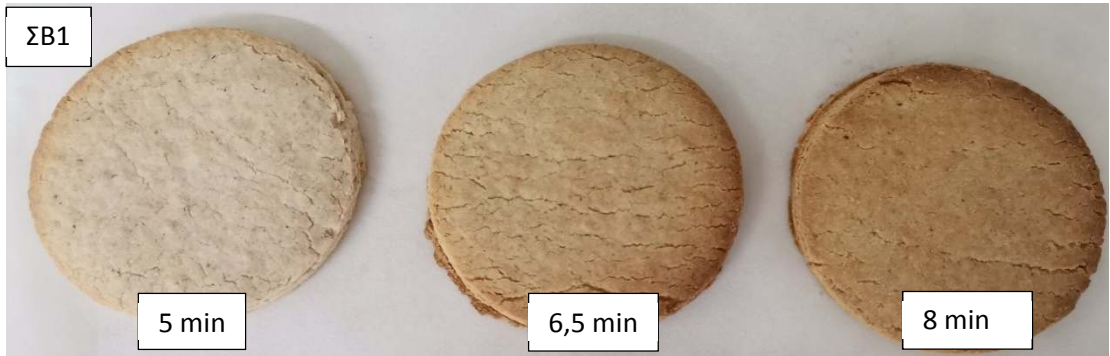
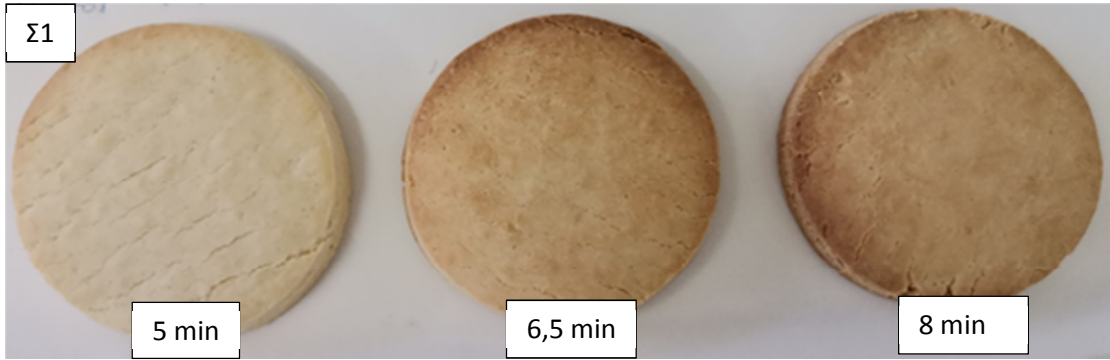
Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρονται και στη βιβλιογραφία, όπου η ενσωμάτωση πιτύρου βρώμης σε συνταγή μπισκότων κατέληγε σε μπισκότα με σκουρότερη (χαμηλότερες τιμές  $L^*$ ) και πιο κόκκινη (υψηλότερες τιμές  $a^*$ ) επιφάνεια (Baumgartner et al., 2018).

Ωστόσο, τις μεγαλύτερες τιμές της χρωματικής παραμέτρου παρουσίαζαν οι συνταγές ΣΦ1 και ΣΦ2, λόγω και της υποκατάστασης της ζάχαρης και της επιρροής της στην εξέλιξη της αμαύρωσης, αλλά και εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης του συμπυκνωμένου κλάσματος σε χρωστικές. Παρατηρώντας τη ΣΦ1 στο διάγραμμα 8, ξεχωρίζει για την υψηλή τιμή της παραμέτρου, γεγονός που συνάδει με την υψηλή συγκέντρωση του συμπυκνωμένου κλάσματος που χρησιμοποιήθηκε σε βητακυανίνες.

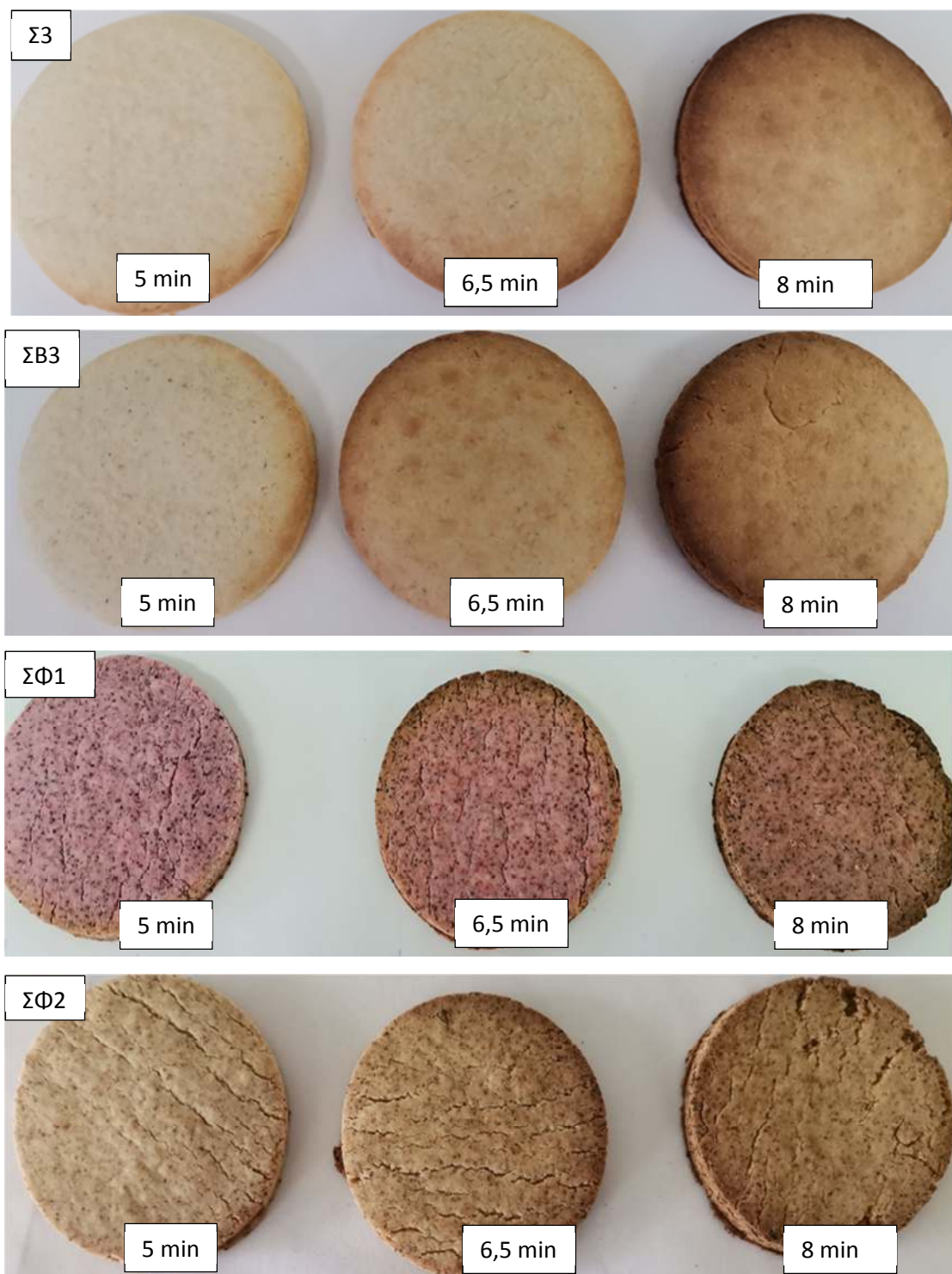
Τέλος, ως προς τη χρωματική παράμετρο  $b^*$ , μεταξύ των συνταγών Σ1, Σ2, Σ3, ΣΒ1, ΣΒ2 και ΣΒ3 και για τους ίδιους χρόνους ψησίματος, δεν παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές. Ωστόσο, παράταση του χρόνου ψησίματος συντελεί σε αύξηση της τιμής της παραμέτρου. Αντιθέτως τα μπισκότα που παρασκευάστηκαν με τις συνταγές ΣΦ1 και ΣΦ2 εμφανίζουν τις χαμηλότερες τιμές της παραμέτρου, μεταξύ των οποίων υπερτερεί η ΣΦ2, ως απόρροια της υψηλής περιεκτικότητας του συμπυκνωμένου κλάσματος σε βηταξανθίνες. Επίσης παρατηρείται μία άνοδος της τιμής με την πάροδο του χρόνου ψησίματος, καθώς το χρώμα της επιφάνειας των μπισκότων πλησιάζει προς το κίτρινο.



**Διάγραμμα 9:** Μεταβολή της χρωματικής παραμέτρου  $b^*$  των ψημένων μπισκότων. Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση. Οι τιμές που έχουν διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά ( $P < 0,05$ ). **Σ1:** Μάρτυρας – 12,7 % νερό, **Σ2:** Μάρτυρας – 15 % νερό, **Σ3:** Μάρτυρας – 17,3 % νερό, **ΣΒ1:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης - 12,7 % νερό, **ΣΒ2:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης - 15 % νερό, **ΣΒ3:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης – 17,3 % νερό, **ΣΦ1:** 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσουκιάς μωβ ποικιλίας – 15 % νερό, **ΣΦ2:** 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσουκιάς κίτρινης ποικιλίας – 15 % νερό.



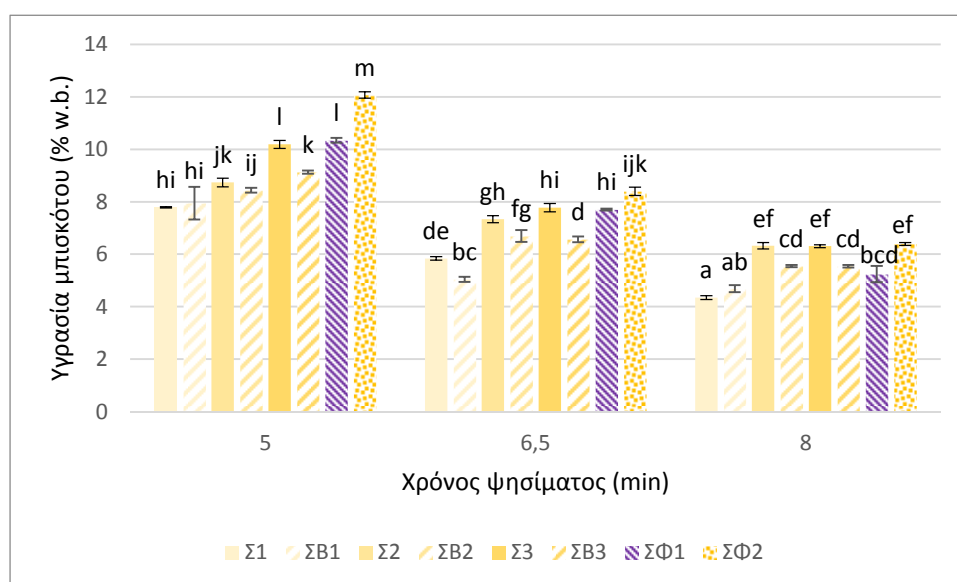




**Εικόνα 8:** Χρώμα επιφάνειας μπισκότων ανά συνταγή και ανά χρόνο ψησίματος.

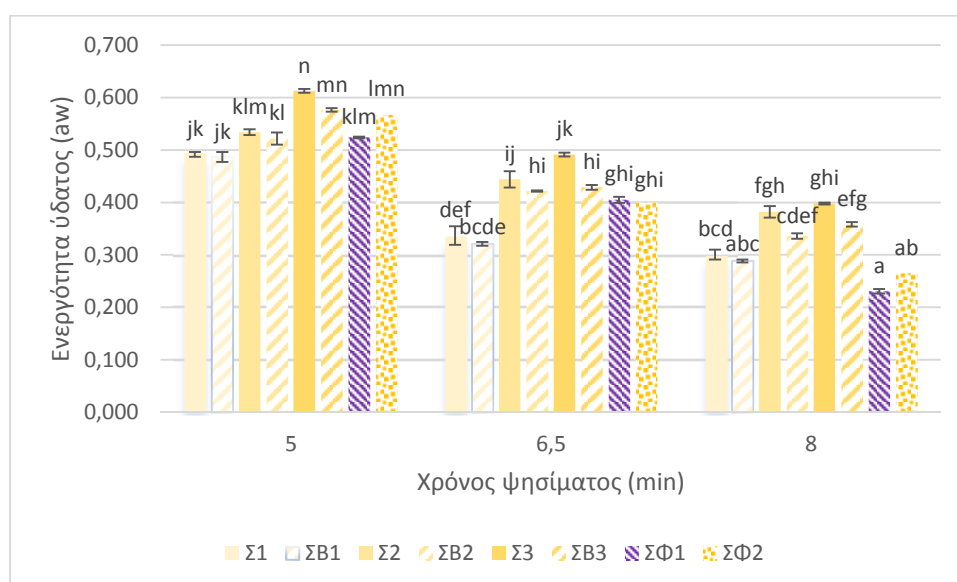
### 3.5 Υγρασία και ενεργότητα ύδατος των μπισκότων

Όπως είναι αναμενόμενο, τόσο η υγρασία του ζυμαριού, όσο και ο χρόνος ψησίματος, λαμβάνοντας υπόψιν και τον τρόπο παρασκευής της κάθε συνταγής, διαμορφώνουν την περιεκτικότητα σε υγρασία, καθώς και την ενεργότητα ύδατος των τελικών μπισκότων. Συγκρίνοντας τις συνταγές του Μάρτυρα, αλλά και τις συνταγές που έγινε εμπλουτισμός με πίτυρο βρώμης, παρατηρείται ότι τα μπισκότα των τελευταίων συνταγών χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη υγρασία (διάγραμμα 10). Η ίδια τάση παρατηρείται και ως προς την ενεργότητα ύδατος (διάγραμμα 11). Παρόμοιες παρατηρήσεις έχουν διατυπωθεί και στη βιβλιογραφία, όπου αυξάνοντας την υποκατάσταση με άλευρο βρώμης μειώνονταν η περιεχόμενη υγρασία των μπισκότων (Manolache et al., 2019).



**Διάγραμμα 10:** Μεταβολή της υγρασίας των μπισκότων ανά συνταγή. Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση. Οι τιμές που έχουν διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά ( $P < 0,05$ ). **Σ1:** Μάρτυρας – 12,7 % νερό, **Σ2:** Μάρτυρας – 15 % νερό, **Σ3:** Μάρτυρας – 17,3 % νερό, **ΣΒ1:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης - 12,7 % νερό, **ΣΒ2:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης - 15 % νερό, **ΣΒ3:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης – 17,3 % νερό, **ΣΦ1:** 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσυκιάς μωβ ποικιλίας – 15 % νερό, **ΣΦ2:** 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσυκιάς κίτρινης ποικιλίας – 15 % νερό.

Αναφορικά με τις συνταγές ΣΦ1 και ΣΦ2, όπου έγινε εμπλουτισμός του ζυμαριού με ίνες φραγκόσुकου, με ταυτόχρονη υποκατάσταση μέρους του αλεύρου και της ζάχαρης, προέκυψαν μπισκότα με σημαντικά αυξημένη υγρασία σε σχέση με αυτά των συνταγών Σ2 και ΣΒ2. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί πως η πηκτίνη, που περιέχεται και στο συμπυκνωμένο κλάσμα, χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης νερού. Συγκεκριμένα έχει διαπιστωθεί ότι 1 g πηκτίνης είναι ικανό να δεσμεύσει 56,2 g νερού (Stephen & Cummings, 1979). Ωστόσο, όπως φαίνεται και στα διαγράμματα της υγρασίας και της ενεργότητας ύδατος αντίστοιχα, η διαφορά των μπισκότων και των τεσσάρων συνταγών (Σ2, ΣΒ2, ΣΦ1 και ΣΦ2) ως προς την περιεχόμενη υγρασία μειώνεται αισθητά όσο παρατείνεται ο χρόνος ψησίματος.



**Διάγραμμα 11:** Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος των μπισκότων ανά συνταγή.

Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση. Οι τιμές που έχουν διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά ( $P < 0,05$ ). **Σ1:** Μάρτυρας – 12,7 % νερό, **Σ2:** Μάρτυρας – 15 % νερό, **Σ3:** Μάρτυρας – 17,3 % νερό, **ΣΒ1:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης - 12,7 % νερό, **ΣΒ2:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης - 15 % νερό, **ΣΒ3:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης – 17,3 % νερό, **ΣΦ1:** 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσουκιάς μωβ ποικιλίας – 15 % νερό, **ΣΦ2:** 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσουκιάς κίτρινης ποικιλίας – 15 % νερό.

### 3.6 Δύναμη Σπασίματος

Η υφή των μπισκότων καθορίζει την ποιότητα τους, καθώς αυτή θα πρέπει να είναι τραγανή αλλά και να αφήνει ευχάριστη αίσθηση στο στόμα κατά την μάσηση. Γενικά η υφή των μπισκότων σχετίζεται με τις μηχανικές ιδιότητες του μπισκότου. Στη δομή του μπισκότου φυσαλίδες αέρα ποικίλου σχήματος και μεγέθους εγκλωβίζονται σε ένα πλέγμα που σχηματίζεται από το άμυλο, τη ζάχαρη και το λίπος (Arepally et al., 2020). Συγκεκριμένα, η αναλογία του λίπους προς τη ζάχαρη και το αλεύρι επηρεάζει τις μηχανικές ιδιότητες του μπισκότου και επομένως την υφή του (Zoulias et al., 2000).

Ειδικότερα η προσθήκη ζάχαρης συνεισφέρει σε μία εξαιρετικά συνεκτική δομή και τραγανή υφή. Όταν η ζάχαρη διαλύεται στο νερό του ζυμαριού, σχηματίζεται ένα παχύρευστο διάλυμα, το οποίο κατά την ψύξη στερεοποιείται και μετατρέπεται σε ένα σκληρό, άμορφο και υαλώδες υλικό, παράγοντας προϊόν με τραγανή υφή (De Almeida et al., 2016).

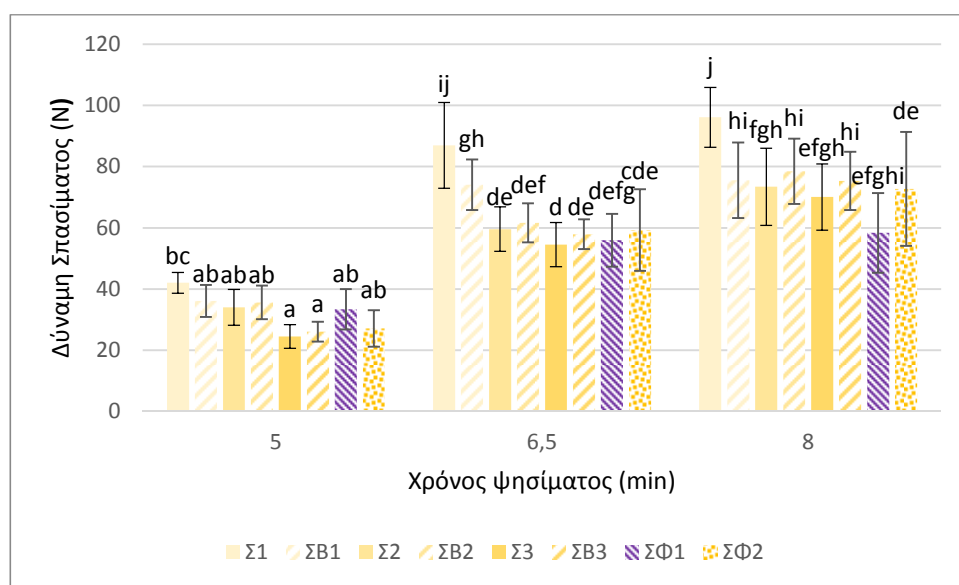
Επίσης οι ερευνητές Manohar και Rao, το 1999, διαπίστωσαν πως η απαιτούμενη δύναμη για τη θραύση του μπισκότου μειωνόταν αυξάνοντας το επίπεδο του λίπους στη συνταγή, ενώ σημαντική ήταν και η συνεισφορά στην τραγανότητα των μπισκότων.

Καθοριστικής σημασίας είναι και ο τύπος του αλεύρου που χρησιμοποιείται για την παρασκευή των μπισκότων. Όταν χρησιμοποιείται αποκλειστικά αλεύρι σίτου, τα μπισκότα που παράγονται απαιτούν μεγαλύτερη δύναμη για τη θραύση τους σε σχέση με αυτά που παρασκευάστηκαν από άλλα άλευρα. Συγκεκριμένα η παρουσία της γλουτένης στο αλεύρι σίτου οδηγεί στην ανάπτυξη ενός πρωτεϊνικού δικτύου που προσδίδει σκληρότερη υφή στο μπισκότο (Jan et al., 2016).

Το νερό αποτελεί έναν ακόμη σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει την υφή του τελικού προϊόντος. Κατά το ψήσιμο, περισσότερη υγρασία καταλαμβάνει το κέντρο του μπισκότου, παρά τις ακριανές περιοχές. Ωστόσο, κατά την ψύξη του μπισκότου παρατηρείται μετανάστευση υγρασίας από το κέντρο προς την εξωτερική επιφάνεια του μπισκότου. Αποτέλεσμα αυτής της μετανάστευσης είναι η επέκταση στην εξωτερική επιφάνεια και η συστολή στο κέντρο, γεγονός που οδηγεί στην συσσώρευση τάσεων στο εσωτερικό του μπισκότου και τελικώς στην ανάπτυξη ρωγμών (Saleem et al., 2005).

Επίσης η υφή του ζυμαριού καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την τελική υφή του μπισκότου και συνεπώς τη δύναμη σπασίματος (Zoulias et al., 2002). Πολύ σφιχτή ή μαλακή ζύμη δεν δίνει ικανοποιητικό προϊόν.

Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα της δύναμης σπασίματος των μπισκότων ανά συνταγή. Για όλες τις συνταγές, όπως είναι αναμενόμενο, παράταση του χρόνου ψησίματος συντελεί σε αύξηση της σκληρότητας του μπισκότου, ενώ η αύξηση της συγκέντρωσης του νερού στο ζυμάρι ενισχύει τη μείωση της.



**Διάγραμμα 12:** Μεταβολή της δύναμης σπασίματος των μπισκότων ανά συνταγή.

Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση. Οι τιμές που έχουν διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά ( $P < 0,05$ ). **Σ1:** Μάρτυρας – 12,7 % νερό, **Σ2:** Μάρτυρας – 15 % νερό, **Σ3:** Μάρτυρας – 17,3 % νερό, **ΣΒ1:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης - 12,7 % νερό, **ΣΒ2:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης - 15 % νερό, **ΣΒ3:** 9,25 g ξηρής ουσίας Πιτύρου Βρώμης – 17,3 % νερό, **ΣΦ1:** 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσυκιάς μωβ ποικιλίας – 15 % νερό, **ΣΦ2:** 9,25 g ξηρής ουσίας συμπυκνωμένου κλάσματος φραγκοσυκιάς κίτρινης ποικιλίας – 15 % νερό.

Και για τους τρεις χρόνους ψησίματος παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη δύναμη σπασίματος εμφανίζεται στη συνταγή Σ1, ενώ η μικρότερη στη Σ3. Η ίδια παρατήρηση ισχύει και για τις συνταγές όπου έγινε εμπλουτισμός των μπισκότων με ίνες πιτύρου βρώμης, με τη συνταγή ΣΒ1 να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη δύναμη σπασίματος και τη ΣΒ3 τη μικρότερη.

Μεταξύ των συνταγών Σ1 και ΣΒ1, όσο παρατείνεται ο χρόνος ψησίματος τα μπισκότα της συνταγής Σ1 απαιτούν μεγαλύτερη δύναμη σπασίματος, γεγονός που ενδεχομένως οφείλεται στο ότι το ζυμάρι της Σ1 είναι πιο σκληρό από αυτό της ΣΒ1 (Διάγραμμα 1, § 3.2).

Επίσης, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 12, τα μπισκότα των συνταγών ΣΒ2 και ΣΒ3 απαιτούν ελάχιστα μεγαλύτερη δύναμη για τη θράυση τους σε σχέση με αυτά των συνταγών Σ2 και Σ3, χωρίς ωστόσο να παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η διακύμανση αυτή ενδεχομένως οφείλεται στο ελάχιστα χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας αυτών των μπισκότων.

Τέλος για τις συνταγές ΣΦ1 και ΣΦ2, όπου έγινε εμπλουτισμός του ζυμαριού με ίνες φραγκόσυκου και ταυτόχρονη υποκατάσταση μέρους της ζάχαρης, τα μπισκότα απαιτούν ελαφρώς μικρότερη δύναμη σπασίματος σε σχέση με τα αντίστοιχα των συνταγών Σ2 και ΣΒ2, χωρίς ωστόσο να παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Είναι εμφανές πως τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν και με το πώς διαμορφώνεται το ποσοστό υγρασίας των μπισκότων ανά συνταγή, όπως γίνεται αντιληπτό από το διάγραμμα 10.

Έτσι κάνοντας μία γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ των δύο αυτών μεταβλητών (δύναμη σπασίματος και υγρασία) για τις συνταγές Σ1, Σ2 και Σ3, παρατηρείται η ύπαρξη στατιστικά σημαντικής σχέσης μεταξύ των παραγόντων αυτών ( $P = 0,0000$ ). Επίσης ο συντελεστής συσχέτισης ισούται με  $-0,939648$ , γεγονός που υποδεικνύει μια σχετικά ισχυρή και αρνητική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών.

Ομοίως, για τις συνταγές ΣΒ1, ΣΒ2, ΣΒ3, καθώς και για τις ΣΦ1, ΣΦ2, παρατηρείται η ύπαρξη στατιστικά σημαντικής σχέσης μεταξύ των δύο παραγόντων ( $P=0,0000$  και  $P=0,0098$  αντίστοιχα). Επίσης οι συντελεστές συσχέτισης είναι ίσοι με  $-0,953953$  και  $-0,91811$  αντίστοιχα, γεγονός που και εδώ υποδεικνύει την σχετικά ισχυρή και αρνητική συσχέτιση των δύο μεταβλητών.

#### 4. Συμπεράσματα - Προτάσεις

Συνοψίζοντας, ο εμπλουτισμός του ζυμαριού με πίτυρο βρώμης είχε ως αποτέλεσμα την απόδοση πιο μαλακού ζυμαριού, λόγω της μείωσης του ιξώδους του, ευνοώντας το μεγαλύτερο άπλωμα και φούσκωμα των μπισκότων αυτών κατά το ψήσιμο. Αντιθέτως, στις συνταγές εμπλουτισμού με συμπυκνωμένο κλάσμα φραγκοσυκιάς, προέκυψε σκληρότερο ζυμάρι, με αποτέλεσμα το μειωμένο άπλωμα και φούσκωμα αυτών των μπισκότων.

Αύξηση της συγκέντρωσης του νερού στο ζυμάρι συντελεί σε μεγαλύτερο άπλωμα των μπισκότων κατά το ψήσιμο. Παράταση του χρόνου ψησίματος αποδίδει μπισκότα μικρότερης διαμέτρου.

Η ενσωμάτωση πιτύρου βρώμης στο ζυμάρι, απέδωσε μπισκότα με πιο σκουρόχρωμη και πιο κοκκινωπή επιφάνεια. Αντιθέτως, η ενσωμάτωση του συμπυκνωμένου κλάσματος της φραγκοσυκιάς απέδωσε πιο χλωμά μπισκότα.

Η προσθήκη του συμπυκνωμένου κλάσματος στο ζυμάρι, απέδωσε μπισκότα υψηλότερης υγρασίας. Αντιθέτως, η ενσωμάτωση του πιτύρου στο ζυμάρι απέδωσε μπισκότα χαμηλότερης υγρασίας.

Τέλος, ως προς τη δύναμη σπασίματος, αύξηση της υγρασίας του ζυμαριού συντελεί σε μείωση της σκληρότητας του μπισκότου, ενώ παρατηρείται μία σχετικά ισχυρή και αρνητική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών.

Ως μελλοντικό αντικείμενο μελέτης, θα μπορούσε να εξετασθεί ο συνδυασμός και των δύο υλικών (πίτυρο βρώμης και συμπυκνωμένο κλάσμα καρπού φραγκοσυκιάς) για τον εμπλουτισμό του ζυμαριού με την ίδια ποσότητα ινών (3 %).

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### *Ξενόγλωσση βιβλιογραφία*

- AACC Committee Adopts Oat Bran Definition, American Association of Cereal Chemists.
- Ahmed, J., 2015. Effect of barley b-glucan concentrate on oscillatory and creep behavior of composite wheat flour dough. *J. Food Eng.* 152, 85 - 94.
- Ait Ameer, L., Mathieu, O., Lalanne, V., Trystram, G., & Birlouez-Aragon, I. (2007). Comparison of the effects of sucrose and hexose on furfural formation and browning in cookies baked at different temperatures. *Food Chemistry*, 101 (4), 1407-1416.
- Arendt, E. K., & Zannini, E. (2013). *Cereal grains for the food and beverage industries*. Elsevier. Ch. 7 – Oats.
- Areppally, D., Reddy, R. S., Goswami, T. K., & Datta, A. K. (2020). Biscuit baking: A review. *LWT*, 109726.
- Asselman, A., van Straten, G., Boom, R., Esveld, D., van Boxtel, A., 2007. Quality prediction of bakery products in the initial phase of process design. *Innovat. Food Sci. Emerg. Technol.* 8, 285-298.
- Atkinson, G. (2011). Fats and oils as biscuit ingredients. In *Manley's technology of biscuits, crackers and cookies* (pp. 160-180). Woodhead Publishing.
- Ayadi MA, Abdelmaksoud W, Ennouri M, Attia H (2009), Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: effect on dough characteristics and cake making. *Ind Crops Prod* 30, 40–47.
- Baldino, N., Gabriele, D., Lupi, F. R., de Cindio, B., & Cicerelli, L. (2014). Modeling of baking behavior of semi-sweet short dough biscuits. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 25, 40-52.
- Baltsavias, A., Jurgens, A., & van Vliet, T. (1997). Rheological properties of short doughs at small deformation. *Journal of Cereal Science*, 26, 289–300.
- Baltsavias, A., Jurgens, A., & van Vliet, T. (1999). Properties of short-dough biscuits in relation to structure. *Journal of Cereal Science*, 29, 245–255.
- Barbera, G. & Inglese, P. 1992. The quality of cactus pear fruits. In *Actas II Congreso Internacional de la Tuna y Cochinilla*. Santiago, Chile, pp. 143–148.
- Baumgartner, B., Özkaya, B., Saka, I., & Özkaya, H. (2018). Functional and physical properties of cookies enriched with dephytinized oat bran. *Journal of Cereal Science*, 80, 24-30.



- Bhattacharya, S., 2010. Stress relaxation behaviour of moth bean flour dough: product characteristics and suitability of model. *J. Food Eng.* 97, 539–546.
- Blanco Canalis, M. S., León, A. E., & Ribotta, P. D. (2019). Incorporation of dietary fiber on the cookie dough. Effects on thermal properties and water availability. *Food Chemistry*, 271, 309–317.
- Bloksma A, Bushuk W. 1988. Rheology and chemistry of dough. *Wheat Chem Technol 2* : 131–217.
- Bonnett, O. T. (1961). *The Oat Plant: its Histology and Development*. Urbana – Champaign: University of Illinois. Agricultural Experiment Station.
- Brennan, C. S., & Samyue, E. (2004). Evaluation of starch degradation and textural characteristics of dietary fiber enriched biscuits. *International Journal of Food Properties*, 7 (3), 647-657.
- Butera, D., Tesoriere, L., di Gaudio, F., Bongiorno, A., Allegra, M., Pintaudi, A.M., Kohen, R., Livrea, M.A., 2002. Antioxidant activities of Sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) fruit extracts and reducing properties of its betalains: betanin and indicaxanthin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50, 6895–6901.
- Butt, M., Tahir-Nadeem, M., Khan, M., Shabir, R. and Butt, M. (2008). Oat: unique among the cereals. *European Journal of Nutrition*, 47, 68–79.
- Cárdenas A, Goycoolea FM, Rinaudo M (2008), On the gelling behaviour of ‘nopal’ (*Opuntia ficus indica*) low methoxyl pectin. *Carbohydr Polym* 73, 212–222.
- Castellar, R., Obón, J. M., Alacid, M., & Fernández-López, J. A. (2003). Color properties and stability of betacyanins from *Opuntia* fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(9), 2772-2776.
- Chevallier, S., Della Valle, G., Colonna, P., Broyart, B., & Trystram, G. (2002). Structural and chemical modifications of short dough during baking. *Journal of cereal science*, 35 (1), 1-10.
- Ciriminna R, Morreale V, Pecoraino M, Pagliaro M. (2019), Solar air drying for innovative *Opuntia ficus indica* cladode dehydration. *4open*, 2, 1.
- Coffman, F. A. (1977). *Oat History, Identification and Classification*, Washington DC: US Government. Printing Office.
- Cota-Sánchez, J. H. (2016). Chapter 28–Nutritional Composition of the Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica*) Fruit. *Nutritional Composition of Fruit Cultivars*. doi, 10, 691-709.

- Davidson, I. (2016). Biscuit baking technology: Processing and engineering manual. Academic Press, Elsevier.
- De Almeida Marques, G., de São José, J. F. B., Silva, D. A., & da Silva, E. M. M. (2016). Whey protein as a substitute for wheat in the development of no added sugar cookies. *LWT - Food Science and Technology*, 67, 118–126.
- Devi, A., & Khatkar, B. S. (2016). Physicochemical, rheological and functional properties of fats and oils in relation to cookie quality: a review. *Journal of food science and technology*, 53 (10), 3633-3641.
- Dhingra D, Michael M, Rajput H, Patil RT. (2012) Dietary fibre in foods: a review. *J Food Sci Technol*, 49 (3):255 – 66.
- Doescher LC, Hosney RC and Milliken GA, (1987). Effect of sugars and flours on cookie spread evaluated by time-lapse photography. *Cereal Chem* 64:158-163.
- Faridi H, Faubion JM (1986) Dough rheology: its benefits to cereal chemists. In: Faridi H, Faubion JM (eds) *Fundamentals of dough rheology*. American Association of Cereal Chemists, Minnesota, pp 1–9.
- Fernández-López, J.A., Almela, L., Obón, J.M., Castellar, R., 2010. Determination of antioxidant constituents in cactus pear fruits. *Plant Foods for Human Nutrition* 65, 253–259.
- Friedman, H. H., Whitney, J. E. & Szczesniak, A. S. 1963. The texturometer: a new instrument for objective texture measurement. *Journal of Food science*, 28, 390-396.
- Giulia Falchi A, Grecchi I, Muggia C, Palladini G, Perlini S (2016) Effects of a bioavailable arabinoxylan-enriched white bread flour on postprandial glucose response in normoglycemic subjects. *J Diet Suppl* 13(6):626–633.
- Gökmen, V., Açar, Ö.Ç., Köksel, H., & Açar, J. (2007). Effects of dough formula and baking conditions on acrylamide and hydroxymethylfurfural formation in cookies. *Food Chemistry*, 104 (3), 1136-1142.
- Guinee, T. P. 2003. Cheese Rheology. In: FUQUAT, J. W. & FOX, P. F. (eds.) *Encyclopedia of Dairy Sciences*.
- Hahn, J. D., Chung, T. K., & Baker, D. H. (1990). Nutritive value of oat flour and oat bran. *Journal of animal science*, 68 (12), 4253-4260.
- Holscher HD (2017) Dietary fiber and prebiotics and the gastrointestinal microbiota. *Gut Microbes* 8 (2) : 172 – 184.

- Hoseney RC. 1986. Soft wheat products. In: Principles of cereal science and technology. St Paul, MN: American Association of Cereal Chemists.
- Hoseney, R. C. (1994). Principles of cereal science and technology. St. Paul: American Association of Cereal Chemists. Inc170.
- Hoseney, R. C., & Rogers, D. E. (1994). Mechanism of sugar functionality in cookies. In H. Faridi (Ed.), The science of cookie and cracker production, New York, NY: Avi., pp. 203–226.
- Jan, R., Saxena, D. C., & Singh, S. (2016). Physicochemical, textural, sensory and antioxidant characteristics of gluten-free cookies made from raw and germinated Chenopodium (*Chenopodium album*) flour. *LWT-Food Science and Technology*, 71, 281–287.
- Jiménez-Aguilar DM, López-Martínez JM, Hernández-Brenes C, Gutiérrez-Urbe J, Welti-Chanes J (2015) Dietary fibre, phytochemicals and antioxidant activity of Mexican commercial varieties of cactus pear. *J Food Comp Anal* (in press, Accepted Manuscript).
- Jiménez-Aguilar DM, Mújica-Paz H, Welti-Chanes J (2014) Phytochemical characterization of prickly pear (*Opuntia* spp.) and of its nutritional and functional properties: a review. *Curr Nutr Food Sci* 10:57–69.
- Kent, N. L. & A.D. Evers, (1994). Kent's Technology of Cereals (4th edn). Oxford: Pergamon.
- Kulp K, Lorenz K and Stone M, (1991). Functionality of carbohydrate ingredients in bakery products. *Food Technol* 45 (3): 136-140, 142.
- Kuti, J.O. 1992. Growth and compositional changes during the development of prickly pear fruit. *J. Hort. Sci.* 67: 861–868.
- Laguna, L., Salvador, A., Sanz, T., & Fiszman, S. M. (2011). Performance of a resistant starch rich ingredient in the baking and eating quality of short-dough biscuits. *LWT-Food Science and Technology*, 44(3), 737-746.
- Lai, H. M., & Lin, T. C. (2006). Bakery products: Science and technology. *Bakery products: Science and Technology*, 3–65.
- Lásztity, R. (1998). Oat grain – a wonderful reservoir of natural nutrients and biologically active substances. *Food Reviews International*, 14, 99–119.
- Liu, J., Luo, D.L., Li, X., Xu, B.C., Zhang, X.Y., Liu, J.X., 2016. Effects of inulin on the structure and emulsifying properties of protein components in dough. *Food Chem.* 210, 235 - 241.

- Liu, Y.X., Cao, M.J. & Liu, G.M., 2019. Texture analyzers for food quality evaluation. In *Evaluation Technologies for Food Quality* (pp. 441-463). Woodhead Publishing.
- Ma, F., & Baik, B. K. (2018). Soft wheat quality characteristics required for making baking powder biscuits. *Journal of Cereal Science*, 79, 127-133.
- Maache Rezzoug, Z., Allaf, K., Bouvier, J. M., & Tayeb, J. (1998). Relationships between the physical characteristics and rheological properties of flour and the biscuit dough. *Sciences des Aliments* (France).
- Manley, D. (2011). Choosing materials for biscuit production. In *Manley's Technology of Biscuits, Crackers and Cookies* (pp. 107-108). Woodhead Publishing.
- Manley, D.J. (1991) Baking. In 'Technology of biscuits, crackers and cookies' (I.D. Morton, ed.), Ellis Horwood Series in Food Science and Technology, Chichester pp 392–409.
- Manohar R, Rao PH. 1999c. Effect of mixing method on the rheological characteristics of biscuit dough and the quality of biscuits. *Eur Food Res Technol* 210 : 43 – 8.
- Manohar, R. S., & Rao, P. H. (1999). Effect of emulsifiers, fat level and type on the rheological characteristics of biscuit dough and quality of biscuits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79 (10), 1223–1231.
- Manohar, R.S., Rao, P.H., 2015. Effects of water on the rheological characteristics of biscuit dough and quality of biscuits. *J. Sci. Food Agric.* 75, 383–390.
- Manolache, F. A., Todasca, M. C., Ionescu, V., Negoita, M., & Marin, D. I. (2019). Quality assessment for nutritive value of biscuits based on oat flour from *avena nuda* L. *Science Bulletin*, 81, 3-12.
- Maphosa Y, Jideani VA. (2016) Dietary fiber extraction for human nutrition - a review. *Food Rev Int*, 32 (1) : 98 – 115.
- Marchetti, L., Cardós, M., Campaña, L., Ferrero, C., 2012. Effect of glutens of different quality on dough characteristics and breadmaking performance. *LWT - Food Sci. Technol. (Lebensmittel-Wissenschaft -Technol.)* 46, 224–231.
- Marlett, J. A. (1993). Comparisons of dietary fiber and selected nutrient compositions of oat bran and other grain fractions. In: wood, p. (ed.) *Oat Bran*. St Paul, MN: AACC International, Inc.

- Martínez-Soto G, Celis-Fabián F, Hernández-Pérez T, Paredes-López O (2015), Effect of drying methods on the nutraceutical potential of cactus cladodes (*Opuntia* spp.). *Int J Food Nutr Sci* 2, 168–173.
- Masi, P., Cavella, S., & Sepe, M. (1998). Characterization of dynamic viscoelastic behavior of wheat flour doughs at different moisture contents. *Cereal Chemistry*, 75 (4), 428-432.
- Medina-Torres L, Brito-De La Fuente E, Torrestiana-Sanchez B, Katthain R (2000), Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocoll* 14, 417–424.
- Miller, R., Mathew, R., Hosney, R., 1996. Use of a thermomechanical analyzer: study of an apparent glass transition in cookie dough. *J. Therm. Anal. Calorim.* 47, 1329 - 1338.
- Misra, N. N., & Tiwari, B. K. (2014). Biscuits. *Bakery products science and technology*, 585-601.
- Monter - Arciniega, A., Hernández-Falcón, T. A., del Socorro Cruz-Cansino, N., Ramírez-Moreno, E., Alanís-García, E., Arias-Rico, J., & Ariza-Ortega, J. A. (2019). Functional Properties, Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Purple Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica*) Waste: Comparison with Commercial Fibers. *Waste and Biomass Valorization*, 10 (10), 2897-2906.
- Muñoz de Chávez, M., Chávez, A., Valles, V. & Roldán, J.A. 1995. The nopal: a plant of manifold qualities. *World Rev. Nutr. Diet.* 77:109–134.
- Nawrocka, A., Mis, A., Szymańska - Chargot, M. Characteristics of relationships between structure of gluten proteins and dough rheology – influence of dietary fibres studied by FT-Raman spectroscopy. *Food Biophys.* 2016, 11, 81–90.
- Nawrocka, A., Szymańska - Chargot, M., Mis, A., Kowalski, R., Gruszecki, W. I. Raman studies of gluten proteins aggregation induced by dietary fibres. *Food Chem.* 2016, 194, 86–94.
- Nawrocka, A., Szymańska - Chargot, M., Mis, A., Ptaszyńska, A. A., Kowalski, R., Waskó, P., Gruszecki, W. I. Influence of dietary fibre on gluten proteins structure – a study on model flour with application of FT-Raman spectroscopy. *J. Raman Spectrosc.* 2015, 46, 309–316.
- Nobel, P., Cavelier, J. & Andrade, J.L. 1992. Mucilage in cacti: its apoplastic capacitance, associated solutes, and influence on tissue water relations. *J. Experim. Botany* 43 (250): 641–648.

- Nobel, P.S. 1999. Biología ambiental. In G. Barbera, P. Inglese & E. Pimienta, eds. Agroecología, cultivo y usos del nopal. FAO Plant Production and Protection Paper 132. Rome, pp. 37–50.
- Nobel, P.S. 1998. Los incomparables agaves y cactus. Ed. Trillas, Mexico.
- Olewnik M, Kulp K. 1984. The effect of mixing time and ingredient variation on farinograms of cookie doughs. *Cereal Chem* 61.
- Pareyt, B., Goovaerts, M., Broekaert, W. F., & Delcour, J. A. (2011). Arabinoxylan oligosaccharides (AXOS) as a potencial sucrose replacer in sugar-snap cookies. *LWT- Food Science and Technology*, 44, 725–728.
- Rao, P. H. (2017). Unit-8 Technology of Biscuits. IGNOU.
- Renzyaeva, T. V. (2013). On the role of fats in baked flour goods. *Foods and Raw materials*, 1 (1), 19 - 25.
- Rodríguez, S., Orphee, C., Macías, S., Generoso, S. & Gomes García, L. 1996. Tuna: Propiedades fisicoquímicas de dos variedades. *Aliment. Latinoamer.* 210: 34–37.
- Sàenz, C., 1997. Cladodes: a source of dietary fiber. *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.*, 117–123.
- Saleem, Q., Wildman, R. D., Huntley, J. M., & Whitworth, M. B. (2005). Material properties of semi-sweet biscuits for finite element modelling of biscuit cracking. *Journal of Food Engineering*, 68 (1), 19–32.
- Scheinvar, L. 1999. Taxonomía de las Opuntias utilizadas. In Agroecología, cultivo y usos del nopal. FAO Plant Production and Protection Paper 132. Rome, pp. 21–28.
- Sepúlveda, E. & Sáenz, C. 1990. Chemical and physical characteristics of prickly pear (*Opuntia ficus indica*) pulp. *Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment.* 30:551–555.
- Sierra M, García JJ, Fernández N, Diez MJ, Calle AP (2002) Therapeutic effects of psyllium in type 2 diabetic patients. *Eur J Clin Nutr* 56 (9) : 830 – 842.
- Smith WH. 1972. Mixing biscuit doughs. In: Manley D, editor. Biscuits, crackers and cookies. Vol 1, Technology, production and management. London: Elsevier.
- Stephen, A. M., & Cummings, J. H. (1979). Water-holding by dietary fibre in vitro and its relationship to faecal output in man. *Gut*, 20(8), 722-729.
- Stintzing F, Carle R (2005), Cactus stems (*Opuntia* spp.): a review on their chemistry, technology, and uses. *Mol Nutr Food Res* 49, 175–194.

- Stintzing, F.C., Herbach, K.M., Mosshammer, M.R., Carle, R., Yi, W., Sellappan, S., Akoh, C.C., Bunch, R., Felker, P., 2005. Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 442–451.
- Sudha, M. L., Vetrmani, R., & Leelavathi, K. (2007). Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food chemistry*, 100 (4), 1365-1370.
- Sudzuki, F., Muñoz, C. & Berger, H. 1993. El cultivo de la tuna (cactus pear). Departamento de Reproducción Agrícola. Universidad de Chile, Santiago.
- Tesoriere, L., Fazzari, M., Allegra, M., Livrea, M.A., 2005. Biothiols, taurine, and lipid-soluble antioxidants in the edible pulp of Sicilian cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruits and changes of bioactive juice components upon industrial processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 7851–7855.
- Velásquez, E. 1998. El nopal y su historia. Editorial Clío, Mexico.
- Vettern JL. 1984. Technical bulletin VI. Manhattan, KS: American Institute of Baking.
- Wang, L., Ye, F., Li, S., Wei, F., Chen, J., & Zhao, G. (2017). Wheat flour enriched with oat  $\beta$ -glucan: A study of hydration, rheological and fermentation properties of dough. *Journal of cereal science*, 75, 143-150.
- Welch, R. W. (1995). The chemical composition of oats. In: hall, c. a. (ed.) *Oat Crop: Production and Utilization*. London: Springer.
- Whiteley, P. R. (1971). *Biscuit Manufacture: Fundamentals of In-Line Production*. Elsevier Publishing Company.
- Wong JMW, Comelli EM, Kendall CWC, Sievenpiper JL, Noronha JC, Jenkins DJA (2017) Dietary fiber, soluble and insoluble, carbohydrates, fructose, and lipids. In: *The microbiota in gastrointestinal pathophysiology*. Academic Press, London, pp 187–200.
- Yamamoto H, Worthington ST, Hou G, Ng P (1996) Rheological properties and baking qualities of selected soft wheats in the United States. *Cereal Chem* 73:215–221.
- Zhang, Z., et al., 2016. Chlorogenic acid increased 5-hydroxymethylfurfural formation when heating fructose alone or with aspartic acid at two pH levels. *Food chemistry*, 190, 832–835.

- Zoulias, E. I., Oreopoulou, V., & Tzia, C. (2002). Textural properties of low - fat cookies containing carbohydrate - or protein-based fat replacers. *Journal of Food Engineering*, 55 (4), 337–342.
- Zoulias, E. I., Piknis, S., & Oreopoulou, V. (2000). Effect of sugar replacement by polyols and acesulfame-K on properties of low-fat cookies. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80 (14), 2049-2056.
- Zwer, P., K. (2004). OATS. In: Wrigley, C., Corke, H. and Walker, C. (eds) *Encyclopedia of Grain Science*. Oxford: Elsevier.

### ***Ελληνική βιβλιογραφία***

- Μπιλιαδέρης Κ. & Λαζαρίδου Α., 2018, *Διαλέξεις Τεχνολογίας Δημητριακών, Επεξεργασία Βρώμης*.