



Σχολή Επιστημών Τροφίμων

Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

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

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ανάπτυξη τροφίμων με βάση το άμυλο εμπλουτισμένων με βιοδραστικά εκχυλίσματα  
φρούτων και μελέτη της επίδρασης της ξήρανσης στη δομή και στις φυσικοχημικές  
τους ιδιότητες**

MSc Thesis

**Development of starch-based foods enriched with bioactive fruit extracts and study of  
the effect of drying on their structure and physicochemical properties**



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/ NAME OF THE STUDENT

**Παπαδοπούλου Αργυρή**

**Papadopoulou Argyri**

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

**Ηγουμενίδης Παναγιώτης**

**Igoumenidis Panagiotis**

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2022





Faculty of Food Sciences

Department of Food Science and Technology

Master of Science

**FOOD INNOVATION, QUALITY AND SAFETY**

MSc THESIS

**Development of starch-based foods enriched with bioactive fruit extracts and study of the effect of drying on their structure and physicochemical properties**

NAME OF STUDENT

**Papadopoulou Argyri**

Registration Number

**20022**

[argyripapadopoulou@gmail.com](mailto:argyripapadopoulou@gmail.com)

SUPERVISOR

**Igoumenidis Panagiotis**

AIGALEO 2022

Έγινε δεκτή

Ο Διευθυντής του ΠΜΣ: Τσάκνης Ιωάννης

Οι υπογράφωντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία (master thesis) με τίτλο **‘Ανάπτυξη τροφίμων με βάση το άμυλο εμπλουτισμένων με βιοδραστικά εκχυλίσματα φρούτων και μελέτη της επίδρασης της ξήρανσης στη δομή και στις φυσικοχημικές τους ιδιότητες’** που παρουσιάσθηκε από την **Παπαδοπούλου Αργυρή**, υποψηφίου για τον μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών στην **ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ** και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

Ημερομηνία

Ηγουμενίδης Παναγιώτης  
(Ακαδημαϊκός Υπότροφος)

Ημερομηνία

Γιαννακούρου Μαρία  
(Καθηγήτρια)

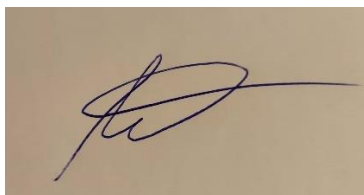
Ημερομηνία

Παπαδάκης Σπυρίδων  
(Καθηγητής)

## Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright

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

Παπαδοπούλου Αργυρή





## Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ηγουμενίδη Παναγιώτη που με εμπιστεύτηκε στην ανάθεση της παρούσας εργασίας. Τον ευχαριστώ πολύ για όλη την βοήθεια του, τον χρόνο που αφιέρωσε και την συμπαράσταση του στον δρόμο αυτό.

Επίσης, μεγάλο ευχαριστώ είναι το λιγότερο που θα μπορούσα να πω για την υποψήφια Διδάκτορα Νικολάου Ευγενία γιατί η βοήθεια της και η υπομονή της ήταν ζωτικής σημασίας στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Η συνεργασία μας μου προσέφερε πολύτιμες γνώσεις και εμπειρίες τόσο σε θεωρητικό και πειραματικό επίπεδο αλλά και για την μετέπειτα ζωή μου καθώς επηρέασε σημαντικά τον τρόπο σκέψης μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Χημείας και Φυσικοχημείας τροφίμων του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου Αθηνών κύριο Καραθάνο Βάιο για την παραχώρηση του εργαστηρίου για την πραγματοποίηση των πειραμάτων, τον χρόνο και τις γνώσεις που μου έδωσε και για την άψογη συνεργασία μας. Όπως και την υποψήφια Μεταδιδάκτορα Καρβέλα Ευαγγελία για τις γνώσεις, την αμέριστη βοήθεια της και τον χρόνο που αφιέρωσε στην εργασία αυτή.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κύριο Παπαδάκη Σπυρίδωνα και την καθηγήτρια κυρία Γιαννακούρου Μαρία για την παραχώρηση των εργαστηρίων στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής για την πραγματοποίηση πειραμάτων και για την αξιολόγηση της παρούσας εργασίας ως μέλη της τριμελούς επιτροπής.





## Αφιέρωσεις

Στους γονείς μου Χρήστο και Μαρία γιατί χωρίς την βοήθεια τους τίποτα δεν θα είχε  
πραγματοποιηθεί...  
Σας ευχαριστώ πολύ για όλα όσα έχετε κάνει για μένα!



## Περίληψη

**Εισαγωγή:** Το άμυλο αποτελεί βασικό συστατικό της ανθρώπινης διατροφής και χρησιμοποιείται ευρέως ως δομικό στοιχείο κατά την παρασκευή τροφίμων ελεύθερων γλουτένης. Ωστόσο, η πλειοψηφία των εμπορικά διαθέσιμων επιλογών αμυλούχων τροφίμων είναι συνήθως χαμηλής διατροφικής αξίας και ως εκ τούτου ο εμπλουτισμός τους κρίνεται αναγκαίος. Ο εμπλουτισμός αμυλούχων τροφίμων με σκόνη ή εκχυλίσματα φρούτων συνιστούν ένα πολλά υποσχόμενο τρόπο βελτίωσης του διατροφικού προφίλ ενός τροφίμου καθώς περιέχουν πληθώρα μικρο- και μακρο- θρεπτικών συστατικών όπως, ενώσεις με αντιοξειδωτική δράση και φυτικές ίνες. Η προσθήκη παραγόντων εμπλουτισμού με τη μορφή σκόνης-εκχυλισμάτος μπορεί να προκαλέσει μεταβολές στις φυσικοχημικές, θερμικές και μηχανικές ιδιότητες των τροφίμων επηρεάζοντας σημαντικά την αποδοχή του τροφίμου από τους καταναλωτές. Επίσης, το στάδιο της θερμικής επεξεργασίας που έπεται της παρασκευής του τροφίμου, δύναται να προκαλέσει σημαντική υποβάθμιση των προστιθέμενων βιοενεργών συστατικών όπως οι πολυφαινόλες, που χαρακτηρίζονται ως θερμοευαίσθητες.

**Σκοπός:** Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η ανάπτυξη τροφίμων τύπου σνακ με βάση το άμυλο, εμπλουτισμένων με βιοδραστικά συστατικά φρούτων, και η διερεύνηση της επίδρασης του εμπλουτισμού στις φυσικοχημικές, θερμικές και μηχανικές ιδιότητες των προϊόντων. Επιπλέον μελετήθηκε η επίδραση 2 διαφορετικών τρόπων ξήρανσης στις παραπάνω ιδιότητες και στο ολικό πολυφαινολικό περιεχόμενο και αντιοξειδωτική ικανότητα του τελικού προϊόντος.

**Μέθοδος:** Για το σκοπό αυτό παρασκευάστηκαν 12 διαφορετικά ζυμάρια με άμυλο καλαμποκιού, πρωτεΐνη αρακά και κόμμι ξανθάνης (0,5 ή 0,8 g) ως βασικά υλικά, με τη χρήση δύο διαφορετικών διογκωτικών παραγόντων (μαγιά ή baking powder) και δύο υλικά εμπλουτισμού (λυοφιλιωμένη σκόνη ή λυοφιλιωμένο εκχύλισμα βύσσινου). Στα ζυμάρια έγινε προσδιορισμός των φυσικοχημικών ιδιοτήτων (υγρασία, χρώμα και pH) και των θερμικών ιδιοτήτων (ενθαλπία, θερμοκρασιακό εύρος ζελατινοποίησης και αναδιάταξης του αμύλου) μέσω Διαφορικής Θερμιδομετρίας Σάρωσης. Έπειτα, τα ζυμάρια χρησιμοποιήθηκαν ως βιομελάνι για την τρισδιάστατη εκτύπωση και στα εκτυπωμένα δείγματα έγινε προσδιορισμός των παραμέτρων υφής. Έγινε ξήρανση των εκτυπωμένων δειγμάτων με

δύο τρόπους, σε ρεύμα θερμού αέρα και υπό κενό, για 60 λεπτά στους 60°C και έγινε προσδιορισμός % απώλειας νερού, χρώματος και σκληρότητας. Τέλος, έγινε εκτίμηση του ολικού πολυφαινολικού περιεχόμενου και της αντιοξειδωτικής ικανότητας των τελικών προϊόντων.

**Αποτελέσματα:** Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των ζυμαριών επηρεάστηκαν τόσο από το μέσο εμπλουτισμού όσο και από τον παράγοντα διόγκωσης. Συγκεκριμένα, η μαγιά ως διογκωτικό μέσο σε συνέργεια με τον εμπλουτισμό μείωσε στατιστικά σημαντικά το pH. Τα εμπλουτισμένα ζυμάρια σε σχέση με τα μη εμπλουτισμένα εμφάνισαν μειωμένη περιεκτικότητα υγρασίας υ.β., ήταν λιγότερο φωτεινά ( $\downarrow L^*$ ), και οι χρωματικές αποχρώσεις ήταν περισσότερο κόκκινες ( $\uparrow a^*$ ) και μπλε ( $\downarrow b^*$ ) ( $p < 0,05$ ). Το baking powder οδήγησε σε αύξηση της σκληρότητας και μαζί με τον εμπλουτισμό σε μείωση της συνεκτικότητας των ζυμαριών. Ο εμπλουτισμός με λυοφιλιωμένο εκχύλισμα αύξησε την ελαστικότητα των ζυμαριών αλλά μείωσε τη συνεκτικότητά τους. Το κομμώδες μειώθηκε με την προσθήκη 0,8 g κόμμεος ξανθάνης ( $p < 0,05$ ). Η θερμοκρασία έναρξης και η κορύφωσης του φαινομένου της ζελατινοποίησης αυξήθηκε με τον εμπλουτισμό ανεξάρτητα από τον διογκωτικό παράγοντα αλλά όχι στατιστικά σημαντικά σε όλα τα δείγματα ( $p > 0,05$ ), όμως το baking powder αύξησε στατιστικά σημαντικά τις θερμοκρασίες αυτές και σε εμπλουτισμένα ή μη δείγματα ( $p < 0,05$ ). Η θερμοκρασία λήξης και η ενθαλπία του φαινομένου δεν επηρεάστηκαν. Για το φαινόμενο της αναδιάταξης/ανακρυστάλλωσης του αμύλου, η θερμοκρασία έναρξης και κορύφωσης και η ενθαλπία φάνηκαν να μειώνονται κατά τον εμπλουτισμό αλλά όχι πάντα στατιστικά σημαντικά ( $p < 0,05$ ). Η ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα οδήγησε σε στατιστικά σημαντικά αυξημένη απώλεια νερού και σε αυξημένη σκληρότητα σε σχέση με την ξήρανση υπό κενό. Μεγαλύτερη σκληρότητα παρατηρήθηκε στη ξήρανση σε ρεύμα θερμού αέρα στα δείγματα με baking powder ενώ ο εμπλουτισμός με σκόνη βύσσινου μείωσε την σκληρότητα. Το χρώμα των δειγμάτων που ξηράθηκαν υπό κενό ήταν εν γένει πιο φωτεινά και σε περισσότερο μπλε αποχρώσεις ( $\uparrow L^*$ ,  $\downarrow b^*$ ). Για τα ολικό πολυφαινολικό περιεχόμενο και οι δυο μορφές εμπλουτισμού ( $p > 0,05$ ) στη ξήρανση υπό κενό αλλά και η χρήση μαγιάς ως διογκωτικό μέσο ( $p < 0,05$ ) οδήγησαν σε υψηλότερες τιμές στο τελικό προϊόν (*P.Y.b\_VD*: 126,240±1,58 mg GAE/100g d.w., *P.B.b\_VD*: 66,174±0,54 mg GAE/100 g d.w., *P.Y.b\_TD*: 81,908±0,98 mg GAE/ 100 g d.w. *P.B.b\_TD*: 61,027±0,49 mg

GAE/100 g d.w.) σε σύγκριση με το δείγμα ελέγχου. Η αντιοξειδωτική ικανότητα ωστόσο δεν έδειξε να επηρεάζεται από τον εμπλουτισμό και από την ξήρανση.

**Συμπεράσματα:** Ο εμπλουτισμός και η χρήση διαφορετικών διογκωτικών παραγόντων φαίνεται να επηρεάζει τις φυσικοχημικές και θερμικές ιδιότητες και την υφή των ζυμαριών. Ως προς τον εμπλουτισμό και τα δύο είδη είχαν στις περισσότερες παραμέτρους ίδια αποτελέσματα. Η μαγιά ως διογκωτικός παράγοντας φάνηκε να προσδίδει καλύτερη υφή και καλύτερη συγκράτηση των φαινολικών ουσιών. Τέλος, η ξήρανση υπό κενό οδηγεί σε τελικό προϊόν με καλύτερη υφή και καλύτερη συγκράτηση ολικών πολυφαινολικών σε σχέση με την ξήρανση σε ρεύμα αέρα στην ίδια θερμοκρασία και χρόνο.



## Abstract

**Introduction:** Starch is an essential component of the human diet and is widely used as a building block in the preparation of gluten-free foods. However, the majority of commercially available starch-based food options are usually of low nutritional value and therefore their enrichment is considered necessary. The enrichment of starchy foods with fruit powder or fruit extracts is a promising way to improve their nutritional profile as they are a rich source of micro- and macro-nutrients such as compounds with antioxidant activity and dietary fibers. The addition of enrichment factors in the form of powder-extract can induce changes in the physicochemical, thermal and mechanical properties of foods, significantly affecting the overall acceptance of the food by consumers. Also, the stage of heat treatment that follows the preparation of the food, may cause a significant degradation of the added bioactive compounds such as polyphenols, which are characterized as heat sensitive.

**Purpose:** The purpose of this work was the development of starch-based snack foods, enriched with bioactive fruit components, and the investigation of the effect of the enrichment on the physicochemical, thermal and mechanical properties of the products. In addition, the effect of 2 different drying methods on the above-mentioned properties and on the total phenolic content and antioxidant capacity of the final product was studied.

**Method:** For this purpose, 12 different doughs were prepared with corn starch, pea protein and xanthan gum (0.5 or 0.8 g) as base materials, using two different leavening agents (yeast or baking powder) and two enrichment sources (sour cherry powder or lyophilized sour cherry extract). The physicochemical properties (moisture, color and pH) and the thermal properties (enthalpy, temperature range of starch gelatinization and retrogradation) were determined in the doughs by means of Differential Scanning Calorimetry. The doughs were then used as bioink for extrusion-based 3D printing and the texture parameters were determined on the printed samples. The printed samples were dried in two ways, hot air and vacuum, for 60 minutes at 60°C and a determination of the percentage of the water loss, color and hardness was made afterwards. Finally, the total phenolic content and antioxidant capacity of the final products was also determined.

**Results:** The physicochemical properties of the dough were affected by both the enrichment medium and the leavening agent. In particular, yeast as a leavening agent in synergy

with enrichment agents reduced the pH statistically significantly. Enriched doughs compared to non-enriched doughs showed reduced moisture, were less bright ( $\downarrow L^*$ ), and color shades were more red ( $\uparrow a^*$ ) and blue ( $\downarrow b^*$ ) ( $p < 0.05$ ). The baking powder led to an increase in hardness and, alongside with the enrichment, a decrease in the consistency of the dough. The enrichment with lyophilized extract increased the elasticity of the dough but decreased its cohesiveness. The gumminess was reduced by the addition of 0.8 g xanthan gum ( $p < 0.05$ ). The onset temperature and the peak of the gelatinization increased with the enrichment regardless of the leavening agent but not statistically significantly in all samples ( $p > 0.05$ ). However, baking powder increased these temperatures statistically significantly in both the enriched or non-enriched samples ( $p < 0.05$ ). The termination temperature and enthalpy of the reaction were not affected. For the retrogradation, the onset and peak temperature and the enthalpy decreased during enrichment but not always statistically significant ( $p < 0.05$ ). Hot air drying resulted in statistically significant increased water loss and increased hardness compared to vacuum drying. Greater hardness was observed in the samples with baking powder when drying in a hot air stream, while the enrichment with sour cherry powder reduced the hardness. The color of the vacuum-dried samples was generally brighter and more blue-toned ( $\uparrow L^*$ ,  $\downarrow b^*$ ). As for the total phenolic content, both enrichment forms ( $p > 0.05$ ) in vacuum drying with yeast as a leavening agent ( $p < 0.05$ ) led to higher values in the final product (P.Y.b\_VD:  $126,240 \pm 1,58$  mg GAE/g d.w., P.B.b\_VD:  $66,174 \pm 0,54$  mg GAE/g d.w., P.Y.b\_TD:  $81,908 \pm 0,98$  mg GAE/g d.w., P.B.b\_TD:  $61,027 \pm 0,49$  mg GAE/g d.w.) compared to the control sample. However, the antioxidant capacity was not affected by enrichment and drying.

**Conclusions:** The enrichment and the use of different leavening agents seem to influence the physicochemical and thermal properties and texture of doughs. In terms of enrichment, both forms had the same results in most parameters. The use of yeast as a leavening agent had better texture and better retention of phenolic substances. Lastly, vacuum drying leads to a final product with better texture and better retention of total phenolics than air drying at the same temperature and time.



## Κατάλογος Εικόνων

<b>Εικόνα 1:</b> Προσεγγίσεις στην τεχνολογία παρασκευής ζυμαριών ελεύθερων γλουτένης (Deora et al., 2014).....	27
<b>Εικόνα 2:</b> Διάγραμμα μετάπτωσης φάσεων αμύλου με την εφαρμογή θερμότητας (Schirmer et al.,2015).....	31
<b>Εικόνα 3:</b> Δομή κόμμεος ξανθάνης (Sethi et al.,2020) .....	39
<b>Εικόνα 4:</b> Χημικές ενώσεις ανθοκυανινών στα βύσσινα (Wojdylo et al., 2014).....	43
<b>Εικόνα 5:</b> Χρωματογράφημα UHPLC στα 534 nm εκχυλίσματος βυσσίνου από ποικιλία υψηλή σε ανθοκυανίνες (Nemes et al., 2019).....	45
<b>Εικόνα 6:</b> Αντιπροσωπευτική καμπύλη ανάλυσης υφής και ορισμός/υπολογισμός παραμέτρων υφής (Funami et al., 2022) .....	64
<b>Εικόνα 7:</b> Διάγραμμα ροής παρασκευής ζυμαριών.....	69
<b>Εικόνα 8:</b> Χρωματόμετρο (Spectrometer CM-5, Konika Minolta) .....	71
<b>Εικόνα 9:</b> Πεχάμετρο (SI Analytics Lab 845).....	72
<b>Εικόνα 10:</b> Παράδειγμα θερμογραφήματος DSC σουκρόζης (Clas et al., 1999).....	75
<b>Εικόνα 11:</b> Παράδειγμα θερμογραφήματος DSC φαρμακευτικής ουσίας (Clas et al., 1999) .....	75
<b>Εικόνα 12:</b> Τρισδιάστατος εκτυπωτής (Zmorph.VX.2) και σύριγγα εξώθησης .....	76
<b>Εικόνα 13:</b> Δείγματα εκτυπωμένων ζυμαριών .....	77
<b>Εικόνα 14:</b> Ξηραντήρας ρεύματος θερμού αέρα με ράφια (UOP8 Tray Drier/Armfield) ..	78
<b>Εικόνα 15:</b> Ξηραντήρας κενού (Vacutherm/Heraus Instruments) .....	78
<b>Εικόνα 16:</b> Μέτρηση παραμέτρων υφής δείγματος εκτυπωμένου ζυμαριού στον αναλυτή υφής (Texture Analyzer TA.XT. Plus Stable Micro Systems) .....	80
<b>Εικόνα 17:</b> Καμπύλη δύναμης-χρόνου από τον αναλυτή υφής με την μέθοδο TPA .....	80
<b>Εικόνα 18:</b> Προετοιμασία δειγμάτων προς εκχύλιση.....	81
<b>Εικόνα 19:</b> Πρότυπη καμπύλη αναφοράς ολικών φαινολικών με την μέθοδο Folin-Ciocalteu .....	84
<b>Εικόνα 20:</b> Πρότυπη καμπύλη αναφοράς αντιοξειδωτικής ικανότητας με την μέθοδο DPPH <sup>•</sup> .....	86
<b>Εικόνα 21:</b> Διάγραμμα μεταβολής χρώματος (ΔΕ) των εμπλουτισμένων ζυμαριών πριν και μετά την διαδικασία του στοφαρίσματος .....	93

<b>Εικόνα 22:</b> Ενδεικτικό θερμοδιάγραμμα DSC θέρμανσης δειγμάτων ζυμαριών (C.Y.a, P.Y.a, LE.Y.a).....	98
<b>Εικόνα 23:</b> Ενδεικτικό θερμογράφημα DSC αναθέρμανσης την 5η ημέρα αποθήκευσης δειγμάτων ζυμαριών (C.B.b, P.B.b LE.B.b) .....	102
<b>Εικόνα 24:</b> Διάγραμμα ποσοστού % απώλειας νερού κατά την ξήρανση δειγμάτων ζυμαριών υπό κενό και σε ρεύμα θερμού αέρα για 60 min στους 60°C .....	104
<b>Εικόνα 25:</b> Διάγραμμα παραμέτρων ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ ) χρώματος δειγμάτων ζυμαριών μετά από ξήρανση σε ρεύμα θερμού αέρα (TD) και υπό κενό (VD) .....	105
<b>Εικόνα 26:</b> Διάγραμμα σκληρότητας δειγμάτων ζυμαριών μετά από ξήρανση υπό κενό και σε ρεύμα θερμού αέρα .....	108
<b>Εικόνα 27:</b> Διάγραμμα ποσότητας ολικών πολυφαινολών στα δείγματα ξηραμένων ζυμαριών με τις μεθόδους κενού και ρεύματος θερμού αέρα .....	109
<b>Εικόνα 28:</b> Διάγραμμα αντιοξειωτικής ικανότητας δειγμάτων ξηραμένων ζυμαριών με τις μεθόδους κενού και ρεύματος θερμού αέρα.....	111

## Κατάλογος Πινάκων

<b>Πίνακας 1:</b> Ενθαλπίες και ενδεικτικές θερμοκρασίες έναρξης, λήξης και κορύφωσης ζελατινοποίησης σε είδη αμύλου (Ratnayake et al., 2009).....	31
<b>Πίνακας 2:</b> Ενθαλπίες και θερμοκρασία έναρξης, λήξης και κορύφωσης ζελατινοποίησης διαφόρων ποικιλιών αμύλου καλαμποκιού (Ratnayake et al., 2009).....	32
<b>Πίνακας 3:</b> Ποσοότητες υλικών παρασκευής ζυμαριών .....	67
<b>Πίνακας 4:</b> Αποτελέσματα προσδιορισμού υγρασίας, pH και παραμέτρων χρώματος $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ νωπών ζυμαριών .....	88
<b>Πίνακας 5:</b> Μεταβολή χρώματος εμπλουτισμένων δειγμάτων σε σχέση με το αντίστοιχο δείγμα ελέγχου πριν και μετά την διαδικασία του στοφαρίσματος.....	92
<b>Πίνακας 6:</b> Παράμετροι υφής νωπών ζυμαριών .....	94
<b>Πίνακας 7:</b> Ενθαλπία και θερμοκρασία έναρξης, κορύφωσης και λήξης της ζελατινοποίησης του αμύλου στα δείγματα νωπών ζυμαριών.....	97
<b>Πίνακας 8:</b> Ενθαλπία και θερμοκρασία έναρξης, κορύφωσης και λήξης του φαινομένου της αναδιάταξης του αμύλου μετά από αποθήκευση των νωπών ζυμαριών υπό ψύξη 4°C για 5 και 10 ημέρες .....	101

## Περιεχόμενα

Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright.....	5
Ευχαριστίες .....	7
Αφιερώσεις .....	9
Περίληψη.....	11
Abstract .....	15
Κατάλογος Εικόνων .....	17
Κατάλογος Πινάκων .....	18
Περιεχόμενα .....	19
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	23
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....	25
1 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο.....	25
1. Ζυμάρι ελεύθερο γλουτένης.....	25
1.1. Γενικά.....	25
1.2. Συνέπειες απουσίας γλουτένης στο ζυμάρι .....	25
1.3. Πρακτικές αντικατάστασης γλουτένης στο ζυμάρι.....	26
2 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο .....	28
2. Είδη βιοπολυμερών και η χρήση τους σε ζυμάρι.....	28
2.1. Άμυλο .....	28
2.1.1. Γενικά.....	28
2.1.1.1. Άμυλο καλαμποκιού .....	28
2.1.2. Δομή .....	29
2.1.3. Θερμικές Ιδιότητες- Ζελατινοποίηση αμύλου .....	30
2.1.3.1. Επίδραση της παρουσίας σακχάρων στη ζελατινοποίηση .....	32
2.1.3.2. Ζελατινοποίηση αμύλου και φαινολικές ενώσεις.....	33
2.1.4. Αναδιάταξη αμύλου .....	34
2.2. Πρωτεΐνη αρακά.....	36
2.2.1. Προέλευση .....	36
2.2.2. Λειτουργικές ιδιότητες πρωτεΐνης αρακά.....	36
2.3. Κόμμι Ξανθάνης .....	38
2.3.1. Γενικά.....	38
2.3.2. Αλληλεπίδραση κόμμεως ξανθάνης και άμυλου .....	39

2.3.3. Εφαρμογές στα τρόφιμα.....	40
3 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο .....	41
3. Εκχυλίσματα φρούτων και βιοδραστικά συστατικά .....	41
3.1. Γενικά.....	41
3.2. Βύσσινο.....	42
4 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο .....	47
4. Εμπλουτισμός τροφίμων με βιοδραστικά συστατικά από φρούτα- Εφαρμογές .....	47
5 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο .....	51
5. Τρισδιάστατη εκτύπωση .....	51
5.1. Γενικά.....	51
5.2. Παραδείγματα τρισδιάστατης εκτύπωσης σε ζυμάρι.....	52
6 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο .....	53
6. Ξήρανση .....	53
6.1. Γενικά.....	53
6.2. Μέθοδοι ξήρανσης .....	54
6.3. Ξήρανση με θερμότητα.....	54
6.3.1. Ξήρανση με ρεύμα αέρα.....	55
6.3.2. Ξήρανση υπό κενό .....	56
6.3.3. Ξήρανση με κατάψυξη ή λυοφιλίωση .....	56
6.4. Αλλαγές στην ποιότητα του τροφίμου που έχει υποστεί ξήρανση.....	57
6.4.1. Αντιδράσεις αμαύρωσης .....	57
6.4.2. Δομικές αλλαγές.....	57
6.4.3. Υφή.....	59
6.4.4. Χρώμα.....	59
6.4.5. Απώλειες θρεπτικών συστατικών.....	60
7 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο .....	62
7. Υφή τροφίμων .....	62
7.1. Γενικά.....	62
7.2. Μέθοδοι μέτρησης της υφής τροφίμων .....	62
7.2.1. Συμπύεση.....	62
7.2.2. Θραύση και κάμψη.....	62
7.2.3. Ανάλυση Αναπαραστάσεως Υφής (TPA, Texture Profile Analysis) .....	63
ΣΚΟΠΟΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ .....	65
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....	66

1 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο.....	66
1. Υλικά και μέθοδοι.....	66
1.1. Προσδιορισμός βέλτιστης σύνθεσης, θερμικών και φυσικοχημικών ιδιοτήτων του ζυμαριού.....	66
1.1.1. Παρασκευή ζυμαριών.....	66
1.1.2. Ξήρανση του βύσσινου και του εκχυλίσματος του υπό κατάψυξη (freeze-drying) ....	69
1.1.3. Προσδιορισμός φυσικοχημικών ιδιοτήτων του βέλτιστου ζυμαριού.....	71
1.1.3.1. Προσδιορισμός χρώματος .....	71
1.1.3.2. Προσδιορισμός pH .....	72
1.1.3.3. Προσδιορισμός υγρασίας ζυμαριού σε υγρή βάση.....	73
1.1.4. Προσδιορισμός θερμικών ιδιοτήτων του βέλτιστου ζυμαριού με Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης (DSC) .....	74
1.2. Τρισδιάστατη εκτύπωση και ξήρανση των δειγμάτων ζυμαριού.....	76
1.2.1. Τρισδιάστατη εκτύπωση ζυμαριού με τη χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή με βάση την εξώθηση (Zmograph.VX.2).....	76
1.2.2. Ξήρανση των εκτυπωμένων ζυμαριών .....	77
1.3. Ανάλυση υφής των εκτυπωμένων δειγμάτων ζυμαριού .....	79
1.4. Προσδιορισμός ποσότητας ολικών πολυφαινόλων με την μέθοδο Folin-Ciocalteu και της αντιοξειδωτικής ικανότητας με την μέθοδο DPPH <sup>·</sup> στα ξηραμένα δείγματα ζυμαριών...	81
1.5. Στατιστική ανάλυση .....	86
2 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο.....	87
2. Αποτελέσματα και συζήτηση.....	87
2.1. Ονοματολογία δειγμάτων ζυμαριών .....	87
2.2. Φυσικοχημικές ιδιότητες νωπών ζυμαριών.....	88
2.2.1. Υγρασία νωπών ζυμαριών .....	88
2.2.2. pH νωπών ζυμαριών.....	89
2.2.3. Χρώμα νωπών ζυμαριών .....	90
2.2.4. Μεταβολή χρώματος εμπλουτισμένων ζυμαριών κατά την διαδικασία του στοφαρίσματος.....	92
2.3. Υφή νωπών ζυμαριών .....	93
2.4. Θερμικές ιδιότητες νωπών ζυμαριών.....	97
2.4.1. Ζελατινοποίηση.....	97
2.4.2. Αναδιάταξη/ Ανακρυστάλλωση αμύλου .....	101
2.5. Ξήρανση νωπών ζυμαριών .....	103
2.6. Χρώμα δειγμάτων ζυμαριών μετά την ξήρανση .....	105

2.7. Υφή δειγμάτων ζυμαριών μετά την ξήρανση .....	108
2.8. Ολικά Φαινολικά και Αντιοξειδωτική Ικανότητα δειγμάτων ζυμαριών μετά από ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα και υπό κενό.....	109
2.8.1. Ολικά φαινολικά .....	109
2.8.2. Αντιοξειδωτική Ικανότητα.....	111
3° Κεφάλαιο .....	113
3. Συμπεράσματα .....	113
4° Κεφάλαιο .....	116
4. Βιβλιογραφικές Αναφορές .....	116
5° κεφάλαιο .....	131
5. Παράρτημα/ Θερμογραφήματα DSC.....	131
5.1. Θέρμανση δειγμάτων ζυμαριών .....	131
5.2. Αναθέρμανση δειγμάτων ζυμαριών.....	133

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διατροφή του ανθρώπου από τα παλαιότερα χρόνια μέχρι και σήμερα βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην κατανάλωση αμυλούχων τροφίμων. Ωστόσο, η πλειοψηφία των τροφίμων αυτών έχουν ως βασική σύσταση υλικά όπως αλεύρι, νερό, μαγιά και αλάτι, συνεπώς η διατροφική τους αξία θεωρείται χαμηλή (Carpelli et al., 2019). Παράλληλα, τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη τροφίμων χωρίς γλουτένη έχει προσελκύσει μεγάλη προσοχή λόγω της αύξησης του επιπολασμού της κοιλιοκάκης και ως αποτέλεσμα των καλύτερων διαγνώσεων της δίαιτας ελεύθερης σε γλουτένη για την ασθένεια αυτή (Matos et al., 2015). Σε μια διατροφή ελεύθερη γλουτένης τα τρόφιμα με βάση το σιτάρι, το κριθάρι και τη σίκαλη, δίνουν την θέση τους σε τρόφιμα που παρασκευάζονται από δημητριακά χωρίς γλουτένη, όπως ρύζι, καλαμπόκι, κεχρί και άλλα. Όμως, οι τροφές που είναι ελεύθερες από γλουτένη τις περισσότερες φορές παρασκευάζονται από σκέτο άμυλο είτε επεξεργασμένο αλεύρο και ως αποτέλεσμα, μπορεί να μην παρέχουν την ίδια θρεπτική αξία με τα τρόφιμα με βάση το σιτάρι, ειδικά εάν τα τρόφιμα αυτά είναι ολικής αλέσεως ή εμπλουτισμένα (Tompson, 2009).

Η παρασκευή καλής ποιότητας ζυμαριών ελεύθερων γλουτένης είναι σαφώς δυσκολότερη από τα συμβατικά ζυμαρία διότι η γλουτένη έχει μεγάλη επίδραση στις ρεολογία και στην υφή του ζυμαριού και η απουσία της επηρεάζει σημαντικά τις οργανοληπτικές του ιδιότητες. Η υπάρχουσα βιβλιογραφία αναφέρει την χρήση υλικών τα οποία αντικαθιστούν τη γλουτένη στα προϊόντα αυτά. Εναλλακτικές πηγές πρωτεΐνης, υδροκολλοειδή και γαλακτοματοποιητές είναι υλικά που μιμούνται τις ιξωδοελαστικές ιδιότητες της γλουτένης και χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην παραγωγή των ζυμαριών (Carpelli et al., 2020; Matos et al, 2015; Arendt et al., 2008).

Επίσης, κρίνεται αναγκαίος ο εμπλουτισμός των ζυμαριών αυτών με συστατικά που θα προσφέρουν σε αυτό μικρο- και μακρο- θρεπτικά συστατικά, π.χ. φυτικές ίνες, βιοδραστικά συστατικά, αμινοξέα κ.α. στα οποία θεωρούνται φτωχά. Η χρήση φρούτων ως συστατικό εμπλουτισμού ζυμαριών, αποτελεί έναν πολλά υποσχόμενο τρόπο για τη βελτίωση της διατροφικής αξίας ενός τροφίμου προσδίδοντάς του φυτικές ίνες και αντιοξειδωτικά συστατικά. Όμως, η προσθήκη αυτών των συστατικών μπορεί να μεταβάλλει τις φυσικοχημικές ιδιότητες (π.χ. χρώμα και pH) και την υφή των ζυμαριών, παράγοντες που συμβάλουν στην αποδοχή του τροφίμου από τους καταναλωτές (Rainero et al, 2022; Sun-

Waterhouse et al, 2013; Maner et al, 2017). Το βύσσινο είναι ένα φρούτο που περιέχει υψηλή ποσότητα βιοδραστικών συστατικών όπως οι ανθοκυανίνες, που έχει φανεί ότι έχουν αντιφλεγμονώδεις, αντικαρκινικές και καρδιοπροστατευτικές ιδιότητες και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τον εμπλουτισμό των τροφίμων αυτών (Wojdyto et al., 2014; Chaovanalikit, 2004; Gao,1995; Wang et al.,1999). Για την παραγωγή των τελικών αμυλούχων προϊόντων το ζυμάρι υπόκειται σε θερμική επεξεργασία, π.χ. ξήρανση, ψήσιμο, διεργασίες που μειώνουν την ποσότητα των θερμοευαίσθητων βιοενεργών συστατικών όπως οι ανθοκυανίνες (Ansari et al.,2012).



# **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ**

## **1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο**

### **1. Ζυμάρι ελεύθερο γλουτένης**

#### **1.1. Γενικά**

Τα τελευταία χρόνια η δυσανεξία στη γλουτένη, η οποία συμβαίνει σε άτομα με κοιλιοκάκη και οδηγεί και σε άλλα προβλήματα υγείας (Ren et al., 2020; Matos et al., 2015), έχει γίνει παγκόσμιο πρόβλημα. Κατά συνέπεια, το ενδιαφέρον και η ζήτηση για προϊόντα χωρίς γλουτένη έχει αυξηθεί μεταξύ καταναλωτών (Ren et al., 2020). Αυτό αυξάνει και το ενδιαφέρον της ερευνητικής κοινότητας για σχεδιασμό τροφίμων ελεύθερων γλουτένης που να ομοιάζουν ποιοτικά με τα συμβατικά προϊόντα. Ταυτόχρονα, τα λεγόμενα «χωρίς» προϊόντα (χωρίς λακτόζη, χωρίς ζάχαρη, κ.λπ.) έχουν γίνει παγκόσμιος δείκτης επιλογών υγιεινού τρόπου ζωής, γεγονός που έχει επεκτείνει την αγορά προϊόντων χωρίς γλουτένη (Ren et al., 2020). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι κρούστες ψωμιού χωρίς γλουτένη, οι οποίες είναι γνωστές για την εύθρυπτη υφή, το ανοιχτό χρώμα, την κακή θρεπτική τους ποιότητα και το αδύναμο άρωμά τους

#### **1.2. Συνέπειες απουσίας γλουτένης στο ζυμάρι**

Τα ζυμάρια και τα προϊόντα αρτοποιίας χωρίς γλουτένη είναι σαφώς πιο δύσκολο να παραχθούν και να έχουν παράλληλα υψηλή ποιότητα σε σχέση με τα προϊόντα που περιέχουν γλουτένη, π.χ. με αλεύρι σίτου. Αυτό οφείλεται κυρίως στην απουσία της γλουτένης, η οποία είναι ένα δομικό σύμπλοκο πρωτεϊνών, της γλοιαδίνης και της γλουτελίνης και περιέχεται στο ενδοσπέρμιο πολλών καρπών δημητριακών όπως το σιτάρι, η σίκαλη και το κριθάρι. Η απουσία γλουτένης έχει σημαντική επίδραση τόσο στη ρεολογία του ζυμαριού όσο και στην ποιότητα του τελικού προϊόντος (Matos et al., 2015,; Arendt et al., 2008). Οι αλληλεπιδράσεις γλιαδινών και γλουτενινών μέσω ομοιοπολικών και μη ομοιοπολικών δεσμών για το σχηματισμό συμπλεγμάτων γλουτένης καταλήγουν σε ιξωδοελαστικό ζυμάρι που έχει την ικανότητα να αντέχει τις τάσεις που ασκούνται κατά την ανάμιξη και να συγκρατεί αέρια κατά τη ζύμωση και το ψήσιμο, παράγοντας ένα ελαφρύ ψημένο προϊόν (Lindsay et al., 1999). Η αντικατάσταση της γλουτένης εξακολουθεί να είναι η κύρια πρόκληση στην ανάπτυξη του ζυμαριού και των τελικών αρτοσκευασμάτων. Στη βιβλιογραφία καταγράφονται διάφορες στρατηγικές βελτίωσης της ρεολογίας και την υφής των

ζυμαριών ελεύθερων σε γλουτένη. Η πιο ενεργή προσέγγιση επιδιώκει να εντοπίσει εναλλακτικά συστατικά που μπορούν να μιμηθούν τις ιξωδοελαστικές ιδιότητες του δικτύου γλουτένης, ιδίως υδροκολλοειδή, γαλακτωματοποιητές, εναλλακτικές πηγές πρωτεΐνης κλπ.

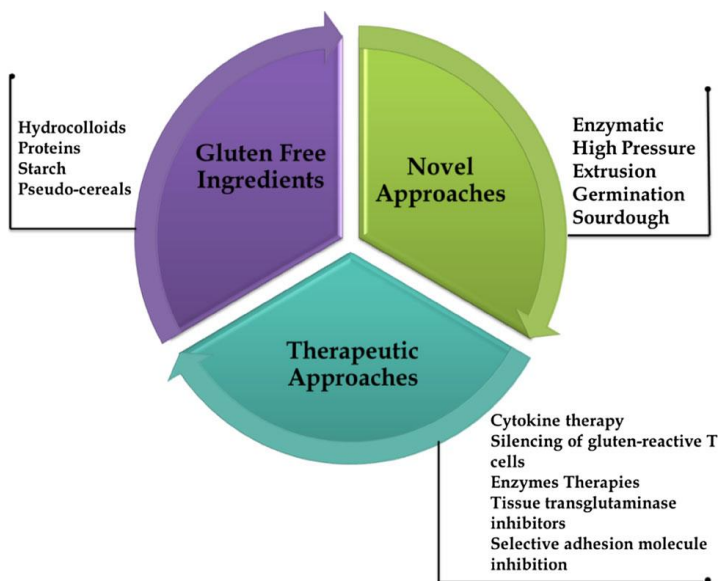
Για παράδειγμα, η παρασκευή άρτου βασίζεται στη μοναδική ικανότητα της ενυδατωμένης γλουτένης να αναπτύσσει ένα ιξωδοελαστικό δίκτυο (Carpelli et al., 2018), το οποίο παγιδεύει αέρια και παράγει ψωμί με μεγαλύτερο όγκο (Ren et al., 2020) και μετά το ψήσιμο, η γλουτένη συμβάλλει στον έλεγχο της υγρασίας εντός του. Τα ζυμάρια χωρίς γλουτένη χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη συνοχή και ελαστικότητα σε σύγκριση με το συμβατικό ζυμάρι από αλεύρι σίτου (Matos et al., 2015; Arendt et al., 2008). Επιπλέον, η απουσία γλουτένης οδηγεί σε τελικό προϊόν με κακή υφή και χρώμα, που χαρακτηρίζεται από χαμηλότερο ειδικό όγκο (Matos et al., 2015; Arendt et al., 2008). Άλλα προβλήματα είναι η μικρότερη διάρκεια ζωής, η αίσθηση ξηρότητας στο στόμα, η μη ικανοποιητική γεύση και άλλα ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά.

### **1.3. Πρακτικές αντικατάστασης γλουτένης στο ζυμάρι**

Αρχικά, η σύσταση των ζυμαριών ελεύθερων γλουτένης συχνά περιλαμβάνει συστατικά (υδροκολλοειδή και άλλες πηγές αμύλου και πρωτεΐνης) που βελτιώνουν τη δομή του, αυξάνουν την ικανότητα συγκράτησης αερίων και βελτιώνουν τον όγκο του. Δεύτερον, συνήθως προστίθεται περισσότερο νερό, οδηγώντας σε ζυμάρια με υφή που μοιάζει περισσότερο λεπτόρρευστη σε σχέση με το συμβατικό ζυμάρι με στόχο την αύξηση της ενυδάτωσης του αμύλου και την επακόλουθη διόγκωση (Arendt et al., 2008; Duodu et al., 2012). Τρίτον, τα ζυμάρια χωρίς γλουτένη απαιτούν συνήθως μικρότερους χρόνους ανάμειξης, διόγκωσης και ψησίματος από τα ζυμάρια με αλεύρι σίτου (Matos et al., 2015; Arendt et al., 2008; Duodu et al., 2012).

Οι πιο αξιοσημείωτες προσεγγίσεις βασίζονται σε: χρήση αλεύρων χωρίς γλουτένη (ψευδοδημητριακά, καλαμπόκι, ρύζι κ.λπ.) και φυσικές πηγές αμύλου χωρίς γλουτένη (πατάτα, καλαμπόκι, ρύζι κ.λπ.), την προσθήκη κάποιου είδους πρωτεΐνης (αυγό, γαλακτοκομικά συστατικά, σόγια κ.λπ.) ή τη χρήση εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης για την ενίσχυση του ζυμαριού (έντομα και όσπρια π.χ. αρακάς), και την προσθήκη κόμμεων, υδροκολλοειδών, γαλακτωματοποιητών και ενζύμων ως βελτιωτικών (Carpelli et al., 2020).

Τα υδροκολλοειδή εφαρμόζονται πρόσφατα για την ενίσχυση των ρεολογικών χαρακτηριστικών ζυμών και ζυμών χωρίς γλουτένη (Lazaridou et al., 2007), καθώς διαθέτουν τεράστιες προοπτικές στη δομή τρισδιάστατου πολυμερούς συμπλέγματος σε διαλύματα (Arendt et al., 2008). Τα υδροκολλοειδή εφαρμόζονται επίσης σημαντικά για την ενίσχυση της ικανότητας σύνδεσης του νερού, του ιξώδους της ζύμης, της υφής, του όγκου και της τελικής ποιότητας του ψωμιού. Η μεθυλοκυτταρίνη και το κόμμι ξανθάνης είναι τα ευρέως χρησιμοποιούμενα υδροκολλοειδή στη σύνθεση άλευρου χωρίς γλουτένη, λόγω της ικανότητάς τους να βελτιώνουν την ποιότητα του προϊόντος (Hager et al., 2013).



**Εικόνα 1:** Προσεγγίσεις στην τεχνολογία παρασκευής ζυμαριών ελεύθερων γλουτένης (Deora et al., 2014)

## 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

### 2. Είδη βιοπολυμερών και η χρήση τους σε ζυμάρι

#### 2.1. Άμυλο

##### 2.1.1. Γενικά

Το άμυλο είναι ένα συστατικό που απαντάται σε υψηλές συγκεντρώσεις στα διάφορα είδη ζυμαριών. Γενικώς, αποτελεί τον κυριότερο αποθηκευτικό φυτικό πολυσακχαρίτη που χρησιμεύει ως ενεργειακό υπόστρωμα στα φυτά και στους ανθρώπους. Η γλυκόζη που βρίσκεται σε περίσσεια στο φυτικό κύτταρο αποθηκεύεται με τη μορφή αμύλου προκειμένου να χρησιμοποιηθεί όταν υπάρξει ανάγκη για ενέργεια. Το άμυλο βρίσκεται στα φύλλα των πράσινων φυτών αλλά και στους σπόρους, τους καρπούς, τους μίσχους, τις ρίζες και τους κονδύλους των περισσότερων φυτών. Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο, το άμυλο παραλαμβάνεται συνήθως από πηγές όπως το καλαμπόκι, το σιτάρι, η πατάτα, το ρύζι κλπ. Ως συστατικό πολλών τροφίμων που βρίσκονται στην καθημερινή διατροφή, αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές πηγές ενέργειας του ανθρώπου (Bertoft, 2017). Τόσο τα μη τροποποιημένα (φυσικά) όσο και τα τροποποιημένα άμυλα χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία τροφίμων ως διογκωτικοί παράγοντες, πυκνωτικά μέσα, σταθεροποιητές, ενισχυτικά ιξώδους και βοηθούν στον σχηματισμό πηκτών. (Ratnayake et al, 2009). Το άμυλο χρησιμοποιείται επίσης για την παραγωγή διαφόρων προϊόντων υδρόλυσης, όπως μαλτόζη, μαλτοδεξτρίνες και κυκλοδεξτρίνες, με ενζυμικές μεθόδους ή/και μετατροπής οξέος (Ratnayake et al., 2009).

##### 2.1.1.1. Άμυλο καλαμποκιού

Περίπου το 80% της παγκόσμιας παραγωγής αμύλου είναι άμυλο καλαμποκιού, το οποίο εξάγεται από κομμάτια καλαμποκιού (περιεκτικότητα 64–80%) μέσω της διαδικασίας υγρής επεξεργασίας (Marichelvam et al., 2019). Το άμυλο καλαμποκιού χρησιμοποιείται σε μια ευρεία ποικιλία τροφίμων και εφαρμογών. Τα βασικά άμυλα καλαμποκιού έχουν μικρή ποσότητα πρωτεΐνης (0,35%), λιπιδίων (0,8%), τέφρας και αποτελούνται στο >98% από πολυσακχαρίτες την αμυλόζη και αμυλοπηκτίνη. Το άμυλο καλαμποκιού προέρχεται από φυτικές πηγές που είναι αδιάλυτες στο νερό και σε θερμοκρασία δωματίου έχει τη μορφή κόκκων (Srichuwong et al., 2017) . Συνήθως, οι κόκκοι αμύλου καλαμποκιού και κηρώδους αραβοσίτου διαφέρουν ως προς το μέγεθός τους από 2 έως 30 mm (συνήθως

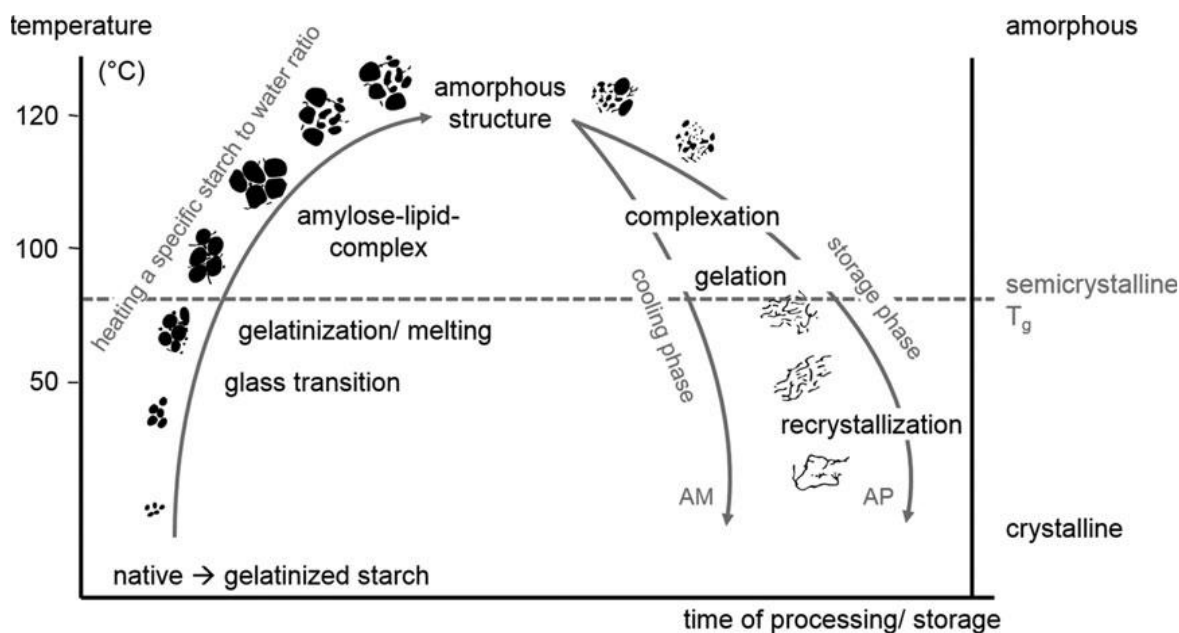
12-15mm)(Qin et al., 2016). Το καλαμπόκι παράγει επίσης άμυλο με υψηλή περιεκτικότητα σε αμυλόζη, το οποίο υφίσταται την διαδικασία της ζελατινοποίησης σε υψηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με άλλους τύπους αμύλου και διατηρεί την περιεκτικότητά του σε ανθεκτικό άμυλο κατά το ψήσιμο, την ήπια εξώθηση και σε περαιτέρω τεχνικές επεξεργασίας τροφίμων (Eckhoff et al., 2009).

### **2.1.2. Δομή**

Το άμυλο οργανώνεται με την μορφή κόκκων, τους αμυλόκοκκους, οι οποίοι σχηματίζονται στους αμυλοπλάστες. Οι αμυλόκοκκοι αποτελούνται από δύο είδη πολυμερών που έχουν ως δομική μονάδα την α-D-γλυκόζη, την αμυλόζη και την αμυλοπηκτίνη. Η αμυλόζη είναι κατά κύριο λόγο ένα γραμμικό μόριο στο οποίο οι μονάδες γλυκόζης συνδέονται με α, 1-4, γλυκοζυτικούς δεσμούς. Λιγότερο από 0,5% των μορίων γλυκόζης που απαρτίζουν την αμυλόζη συνδέεται με α, 1-6, γλυκοζυτικούς δεσμούς και δημιουργεί διακλαδώσεις. Από την άλλη, η αμυλοπηκτίνη έχει μεγαλύτερο μοριακό βάρος και είναι διακλαδισμένο μόριο όπου οι διακλαδώσεις σχηματίζονται με α, 1-6, γλυκοζυτικούς δεσμούς. Στους περισσότερους «κανονικούς» κόκκους αμύλου, η αμυλοπηκτίνη αποτελεί το κύριο συστατικό κατά βάρος, ενώ η αμυλόζη αποτελεί το 15–30%. Ωστόσο, υπάρχουν πολλές εξαιρέσεις όπως τα κηρώδη άμυλα, που περιέχουν καθόλου ή πολύ λίγη αμυλόζη. Από την άλλη, τα γενετικά τροποποιημένα άμυλα μπορεί να περιέχουν 50-80% αμυλόζη (Shi et al., 1998). Μια πρόσφατη μελέτη παρουσίασε ένα κατασκευασμένο άμυλο κριθαριού που φτάνει σχεδόν το 100% της φαινομενικής αμυλόζης (Carciofi et al., 2012). Πειράματα περίθλασης ακτίνων Χ, έχουν δείξει τον ημικρυσταλλικό χαρακτήρα των αμυλόκοκκων ο οποίος υποδεικνύει το μεγάλο βαθμό προσανατολισμού των μορίων των δύο πολυμερών. Περίπου το 70% της μάζας του αμυλόκοκκου θεωρείται ότι είναι άμορφο και περιέχει την κύρια ποσότητα της αμυλόζης αλλά και μια σημαντική ποσότητα αμυλοπηκτίνης και το υπόλοιπο 30% κρυσταλλικό και περιέχει την μεγαλύτερη ποσότητα αμυλοπηκτίνης (Belitz et al, 2008).

### 2.1.3. Θερμικές Ιδιότητες- Ζελατινοποίηση αμύλου

Το άμυλο έχει μοναδικές θερμικές ιδιότητες και λειτουργικότητα που επιτρέπουν την ευρεία χρήση του σε προϊόντα διατροφής και σε βιομηχανικές εφαρμογές. Οι κόκκοι αμύλου μετά την απομόνωση από τον πυρήνα είναι εν μέρη κρυσταλλικοί και ως εκ τούτου είναι αδιάλυτοι στο κρύο νερό. Σε θερμοκρασία δωματίου οι κόκκοι μπορούν να απορροφήσουν περίπου το 30% του βάρους τους σε νερό μέσω δεσμών υδρογόνου. Σημαντικές μη αναστρέψιμες αλλαγές στις φυσικές ιδιότητες του αμύλου δεν λαμβάνουν χώρα μέχρις ότου δεχθεί θερμική επεξεργασία με ταυτόχρονη παρουσία νερού (Leon et al., 1997). Όταν οι κόκκοι ακατέργαστου αμύλου θερμαίνονται παρουσία νερού (πάνω από μια κρίσιμη ποσότητα) διενεργείται μια μη αναστρέψιμη διαδικασία στο άμυλο γνωστή ως ζελατινοποίηση (Donald, 2004). Η θερμότητα δημιουργεί κινητική ενέργεια εντός του κόκκου του αμύλου, σπάζοντας τους υπάρχοντες δεσμούς υδρογόνου και επιτρέποντας την διείσδυση νερού μέσα στον κόκκο. Εφόσον οι αμυλόκοκκοι διογκωθούν, έως έναν μέγιστο όγκο διασπώνται. Η αμυλόζη τείνει να διαφύγει του κόκκου και μαζί με την αμυλοπηκτίνη ενυδατώνονται με αποτέλεσμα την αύξηση του ιξώδους και μείωση της διαύγειας του διαλύματος άμυλου-νερού. Οι αλλαγές αυτές προκαλούν μείωση της κρυσταλλικότητας και απώλεια της ιδιότητας της διπλής διάθλασης (birefringence), οι οποίες γίνονται ορατές κάτω από το μικροσκόπιο. Συγκεκριμένα, το σημείο όπου χάνεται η διπλή διάθλαση ορίζεται ως πραγματικό σημείο ζελατινοποίησης. Οι παράγοντες οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης είναι το είδος του αμύλου (περιεκτικότητα αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης, βαθμός κρυσταλλικότητας κλπ), το pH, ο ρυθμός θέρμανσης ( $dQ/dt$ ), και η παρουσία σακχάρων και λιπών και άλλων ουσιών (π.χ. αντιοξειδωτικά). (Ratnayake et al., 2009; White, 2001)



**Εικόνα 2:** Διάγραμμα μετάπτωσης φάσεων αμύλου με την εφαρμογή θερμότητας (Schirmer et al.,2015).

**Πίνακας 1:** Ενthalπίες και ενδεικτικές θερμοκρασίες έναρξης, λήξης και κορύφωσης ζελατινοποίησης σε είδη αμύλου (Ratnayake et al., 2009)

	Τ έναρξης (°C)	Τ λήξης (°C)	Τ κορύφωσης (°C)	ΔH (J/g)
Άμυλο κανονικού καλαμποκιού	64	75,5	69	13
Άμυλο σίτου	57,1	66,2	61,6	10,7
Άμυλο ρυζιού	61,5	78,6	70	7,1
Άμυλο πατάτας	61,6	79,4	65,9	17

Όσον αφορά το άμυλο καλαμποκιού οι Ratnayake et al (2009)., έδειξαν ότι κατά τη θέρμανση παρουσία περίσσειας νερού, οι κόκκοι αμύλου καλαμποκιού παρέμειναν άθικτοι στους 50°C, ενώ η διαδικασία της ζελατινοποίησης άρχισε από θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 70°C, όποτε και πραγματοποιούνταν πλήρης διάρρηξη των κόκκων και ο σχηματισμός ζελατινοποιημένου διαλύματος. Αυτό συνδέεται με την διαφορετική περιεκτικότητα σε αμυλόζη και αμυλοπηκτίνη του αμύλου καλαμποκιού που επηρεάζει τις θερμικές και ρεολογικές ιδιότητες του όπως έδειξαν και σε έρευνα τους οι Bagley et al. (1982).

**Πίνακας 2:** Ενθαλπίες και θερμοκρασία έναρξης, λήξης και κορύφωσης ζελατινοποίησης διαφόρων ποικιλιών αμύλου καλαμποκιού (Ratnayake et al., 2009)

	Τ έναρξης (°C)	Τ λήξης (°C)	Τ κορύφωσης (°C)	ΔΗ (J/g)
Φυσικό άμυλο καλαμποκιού	64	75,5	69	13
Υψηλό σε αμυλόζη άμυλο καλαμποκιού	68,9	106,1	80,5	11,5
Κηρώδες άμυλο καλαμποκιού	66	78,4	70,7	15,5

### 2.1.3.1. Επίδραση της παρουσίας σακχάρων στη ζελατινοποίηση

Είναι γνωστό ότι τόσο ο τύπος όσο και η συγκέντρωση σακχάρου επηρεάζουν τη διαδικασία της ζελατινοποίησης του αμύλου. Η κύρια επίδραση των σακχάρων στο άμυλο είναι η αύξηση της θερμοκρασίας ζελατινοποίησής του. Πολλές θεωρίες έχουν προταθεί για να εξηγήσουν την επίδραση των σακχάρων στη θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου. Ο Spies και η ομάδα του (Spies et al., 1982) ερεύνησαν δύο είδη σακχάρων, την σουκρόζη και την γλυκόζη, υπό την μορφή υδατικών διαλυμάτων στα οποία πρόσθεσαν άμυλο σίτου και πρότειναν δύο μηχανισμούς, για να εξηγήσουν τον τρόπο που επηρεάζουν τα σάκχαρα αυτά την ζελατινοποίηση. Ο πρώτος τρόπος είναι ότι γενικότερα τα σάκχαρα συνδέονται με το διαθέσιμο νερό και μειώνουν την διαθεσιμότητα του και άρα την ενεργότητα νερού του συστήματος. Η γλυκόζη φάνηκε ότι μειώνει περισσότερο την ενεργότητα νερού σε σχέση με την σουκρόζη στις ίδιες θερμοκρασίες και συγκεντρώσεις. Και ο δεύτερος τρόπος με τον οποίο συμφωνούν και ο Kohyama με την ομάδα του (Kohyama et al., 1991), είναι ότι αλληλοεπιδρούν με τις αλυσίδες του αμύλου στις άμορφες περιοχές των κόκκων αμύλου σχηματίζοντας δεσμούς σταθεροποιώντας αυτές τις περιοχές. Έτσι, απαιτείται περισσότερη ενέργεια (υψηλότερη θερμοκρασία) για την τήξη των αμυλόκοκκων. Οι Beleia et al σε έρευνα τους για την επίδραση διαφόρων σακχάρων (μονουδρική σουκρόζη, γλυκόζη, φρουκτόζη, μαλτόζη, μαλτοτετραόζη, μαλτοεπταόζη) στην ζελατινοποίηση ήρθαν στο συμπέρασμα ότι σε περιορισμένη ποσότητα νερού (<30%), η θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου αυξάνεται καθώς μειώνεται η περιεκτικότητα σε υγρασία. Όλων των ειδών τα σάκχαρα όταν διαλύονται στο νερό, εκτοπίζουν μέρος του νερού. Επομένως, η περιεκτικότητα σε υγρασία ενός κόκκου αμύλου σίτου σε σακχαρούχο διάλυμα είναι πάντα μικρότερη από 30%. Έτσι, η θερμοκρασία ζελατινοποίησης αυξάνεται. Καθώς η συγκέντρωση του σακχάρου αυξάνεται, η ποσότητα του νερού που εκτοπίζεται επίσης αυξάνεται, με αποτέλεσμα υψηλότερη θερμοκρασία έναρξης του φαινομένου. Έτσι, η επίδραση των σακχάρων στην αύξηση της θερμοκρασίας έναρξης της ζελατινοποίησης του αμύλου



φαίνεται να προκαλείται τουλάχιστον εν μέρει από τη μετατόπιση του νερού μέσα στον κόκκο του αμύλου. (Beleia et al., 1996)

### **2.1.3.2. Ζελατινοποίηση αμύλου και φαινολικές ενώσεις**

Κατά την παρασκευή ζυμαριών μπορεί να προστεθούν ουσίες που ενδέχεται να μεταβάλουν την δομή ή και τις ιδιότητες του αμύλου, όπως οι πολυφαινόλες. Πιο συγκεκριμένα, έχει φανεί ότι οι μη ομοιοπολικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ αμύλου και φαινολικών ενώσεων μπορεί να επηρεάσουν δυνητικά τις φυσικοχημικές και διατροφικές ιδιότητες των τροφίμων. Το άμυλο και οι φαινολικές ενώσεις αλληλοεπιδρούν για να σχηματίσουν είτε σύμπλοκο εγκλεισμού με τη μορφή μονών ελίκων αμυλόζης, είτε σύμπλοκο με πολύ ασθενέστερη σύνδεση περισσότερο μέσω δεσμών υδρογόνου. Το αποτέλεσμα των αλληλεπιδράσεων και ο αντίκτυπός τους στις ιδιότητες των τροφίμων φαίνεται να εξαρτώνται από τον τύπο, τη δομή και την συγκέντρωση της φαινολικής ένωσης, την υδατοδιαλυτότητά της, την σύνθεση του συστήματος σε φαινολικές ενώσεις, το είδος του αμύλου, την αναλογία νερού προς άμυλο, καθώς και από τη μέθοδο παρασκευής του συμπλόκου (Zhu, 2015).

Η ζελατινοποίηση του αμύλου παρουσία φυτικών εκχυλισμάτων πλούσιων σε πολυφαινόλες/καθαρές φαινολικές ενώσεις έχει μελετηθεί με την χρήση της διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης (DSC). Τα αποτελέσματα έχουν δείξει ότι οι ομάδες υδροξυλίου και καρβοξυλίου των διαλυτοποιημένων φαινολικών ενώσεων μπορεί να αλληλοεπιδράσουν με το νερό και έμμεσα με τις υδροξυλομάδες του αμύλου μέσω δεσμών υδρογόνου, αλλάζοντας τις ιδιότητες και του νερού και του αμύλου (Chai et al., 2013; Zhu et al., 2009). Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι, η αύξηση της συγκέντρωσης του εκχυλίσματος μαύρου τσαγιού σε διάλυμα νερού και αμύλου από 5 σε 15% κ.β. αύξησε τις θερμοκρασίες έναρξης, κορύφωσης και λήξης της ζελατινοποίησης και της ενθαλπίας των αμύλων ρυζιού και καλαμποκιού αλλά είχε μικρή επίδραση όταν εφαρμόστηκε στο άμυλο πατάτας (Xiao et al., 2012). Σε μια άλλη μελέτη που χρησιμοποιήθηκε καθαρή ρουτίνη που δεν έχει καλή υδατοδιαλυτότητα έδειξε ότι σε αναλογία νερού προς άμυλο 3:1, η φαινολική αυτή ένωση είχε μικρή επίδραση στη ζελατινοποίηση των αμύλων ρυζιού με διαφορετική περιεκτικότητα σε αμυλόζη, πιθανότατα λόγω της αδιάλυτη φύσης της (Zhu & Wang, 2012). Σε μία πρόσφατη έρευνα των Cui et al., όπου σε κινέζικα ψωμάκια ατμού πρόσθεσαν σκόνη σε

διάφορες αναλογίες (10, 30, 50 και 70%) από κόκκινο παντζάρι το οποίο είναι πλούσιο σε βιοδραστικές ουσίες όπως οι φαινολικές ουσίες (φλαβονοειδή, φερουλικό οξύ κ.α.) και η βεταλαΐνες και διερεύνησαν μεταξύ άλλων την μεταβολή στις θερμικές ιδιότητες των ψωμιών. Τα αποτελέσματα έδειξαν καθυστέρηση της έναρξης της ζελατινοποίησης όσο αυξανόταν η ποσότητα της σκόνης παντζαριού. Με βάση τους ερευνητές αυτή η καθυστέρηση οφείλεται μεταξύ άλλων και στην μεταβολή του Ρh και του ιοντικού δυναμικού λόγω της ύπαρξης των πολυφαινολών (Cui et al., 2022). Τέλος, σε μία άλλη έρευνα όπου εκχύλισαν τις ανθοκυανίνες του μαύρου ρυζιού και εμπλούτισαν άρτο παρατήρησαν αύξηση της κορύφωσης της ζελατινοποίησης αναλογικά με την αύξηση της περιεκτικότητας ανθοκυανινών (Ou et al, 2022).

#### **2.1.4. Αναδιάταξη αμύλου**

Όταν το άμυλο θερμαίνεται παρουσία νερού και στη συνέχεια ψύχεται, οι διαταραγμένες αλυσίδες αμυλόζης και αμυλοπηκτικής που δημιουργήθηκαν κατά τη ζελατινοποίηση μπορούν σταδιακά να επανασυνδεθούν σε μια διαφορετικά διατεταγμένη δομή σε σχέση με αυτή των αρχικών κόκκων σε μια διαδικασία που ονομάζεται αναδιάταξη (Karim et al., 2000). Η αναδιάταξη του αμύλου συνήθως συνοδεύεται από μια σειρά φυσικών αλλαγών όπως αυξημένο ιξώδες και μειωμένη διαύγεια των πηκτών αμύλου, σχηματισμό γέλης και αυξημένο βαθμό κρυσταλλικότητας με εμφάνιση κρυσταλλικών πολυμορφών τύπου Β (Wang et al., 2013). Η αναδιάταξη είναι μια συνεχής διαδικασία, η οποία αρχικά περιλαμβάνει ταχεία ανακρυστάλλωση των μορίων αμυλόζης που ακολουθείται από μια αργή ανακρυστάλλωση των μορίων της αμυλοπηκτικής. Η αναδιάταξη της αμυλόζης καθορίζει την αρχική σκληρότητα μιας πηκτής αμύλου και την κολλώδη ικανότητα (stickiness) και ικανότητα πέψης των επεξεργασμένων τροφίμων (Gray et al., 2003).

Το μεγαλύτερο μέρος του αμύλου που καταναλώνεται από τον άνθρωπο είναι επεξεργασμένο ή μαγειρεμένο, με εξαίρεση μερικά κοινά τρόφιμα πλούσια σε άμυλο που καταναλώνονται ωμά, όπως οι μπανάνες. Η ευαισθησία του επεξεργασμένου αμύλου στην πέψη από τα ένζυμα καθορίζεται κυρίως από την έκταση που διαταράχτηκε η δομή του αμύλου κατά τη ζελατινοποίηση του και τα συσσωματώματα που σχηματίστηκαν κατά την επακόλουθη αναδιάταξη. Όσο περισσότερο διαταράσσεται η δομή του αμύλου κατά τη ζελατινοποίηση, τόσο μεγαλύτερη είναι η ευαισθησία του αμύλου στην ενζυματική

πέψη. Το μερικώς ζελατινοποιημένο άμυλο μπορεί να περιέχει σημαντικές ποσότητες αργά διασπώμενου και ανθεκτικού αμύλου (το είδος αμύλου που δεν πέπτεται από τα πεπτικά ένζυμα και περνά σχεδόν άθικτο στο παχύ έντερο). Η πεπτικότητα του αναδιαταγμένου αμύλου σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την έκταση της ζελατινοποίησης και τον επακόλουθο χρόνο και θερμοκρασία αποθήκευσης. Αρχικά παρατηρείται ταχεία μείωση της πεπτικότητας του αμύλου λόγω της γρήγορης αναδιάταξης των μορίων της αμυλόζης. Κατά την εκτεταμένη αποθήκευση, υπάρχει περαιτέρω, σταδιακή μείωση της πεπτικότητας λόγω του χαμηλότερου ρυθμού αναδιάταξης της αμυλοπηκτίνης (Wang et al, 2015).

Υπάρχουν διάφορες ουσίες που μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως συστατικά σε ζυμάρια και να τροποποιήσουν τον βαθμό αναδιάταξης του αμύλου. Έχει φανεί ότι ουσίες όπως οι υδατάνθρακες-σάκχαρα, οι πολυφαινόλες, τα άλατα κ.α. μπορεί να οδηγήσουν βαθμιαία σε αναστολή του φαινομένου της αναδιάταξης. Μέσω της ανασκόπησης των Wang et al., σχετικά με τους υδατάνθρακες, η αναδιάταξη του αμύλου επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο και τη συγκέντρωση των υδατανθράκων. Η γλυκόζη, η ριβόζη, η φρουκτόζη, η μαλτόζη και η υδατοδιαλυτές μαλτοδεξτρίνες έχει φανεί μέσω ερευνών ότι αναστέλλουν την διαδικασία της αναδιάταξης του αμύλου και μάλιστα οι δισακχαρίτες σε σχέση με τους μονοσακχαρίτες έχουν φανεί πιο αποτελεσματικοί στην αναστολή της αναδιάταξης της αμυλοπηκτίνης. Οι μηχανισμοί για την αναστολή της αναδιάταξης του αμύλου από τους υδατάνθρακες εξηγούνται με όρους ανταγωνισμού για το υπάρχον νερό μεταξύ του αμύλου και των άλλων υδατανθράκων (Wang et al, 2015). Όσον αφορά τα υδροκολλοειδή, όπως επισημάνθηκε από τον BeMiller, δεν υπάρχουν γενικά συμπεράσματα σχετικά με την επίδραση τους στην αναδιάταξη του αμύλου. Η προσθήκη υδροκολλοειδών μπορεί να αυξήσει, να μειώσει ή να μην έχει καμία επίδραση στην έκταση της αναδιάταξης του αμύλου, ανάλογα με τη μέθοδο παρασκευής της πηκτής, τη θερμοκρασία και τον χρόνο αποθήκευσης και τις τεχνικές μέτρησης της αναδιάταξης του αμύλου. Γενικά, τα υδροκολλοειδή φαίνεται να προάγουν τη βραχυπρόθεσμη αναδιάταξη και την επιβράδυνση της μακροπρόθεσμης αναδιάταξης, πιθανώς επηρεάζοντας κυρίως τις αλληλεπιδράσεις αμυλόζης-αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης-αμυλοπηκτίνης, αντίστοιχα (BeMiller, 2011). Η αναστολή της αναδιάταξης του αμύλου από τα υδροκολλοειδή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συγκέντρωσή τους στο διάλυμα.

Σε μελέτη των Wu et al. (2009), η προσθήκη πολυφαινολών τσαγιού στο άμυλο ρυζιού φάνηκε να επιβραδύνει σημαντικά την αναδιάταξη του αμύλου με τρόπο εξαρτώμενο από τη συγκέντρωση (Wu et al., 2009). Ομοίως, η προσθήκη του φλαβονοειδούς ρουτίνη επιβράδυνε επίσης σε μεγάλο βαθμό την αναδιάταξη των αμύλων ρυζιού κανονικού και υψηλής αμυλόζης. Η αναδιάταξη του κανονικού αμύλου ρυζιού ανεστάλη πλήρως με την προσθήκη ρουτίνης, όπως μετρήθηκε με DSC.

## **2.2. Πρωτεΐνη αρακά**

### **2.2.1. Προέλευση**

Το μπιζέλι του αγρού (field pea) (*Pisum sativum*) είναι ένα ευρέως παραγόμενο όσπριο που καλλιεργείται σε όλο τον κόσμο ως τροφή και πηγή ζωοτροφών λόγω των θρεπτικών συστατικών του. Η πρωτεΐνη του μπιζελιού είναι ελκυστική για τη βιομηχανία τροφίμων λόγω της λειτουργικότητας, των διατροφικών της ιδιοτήτων, της διαθεσιμότητας, του σχετικά χαμηλού κόστους της πρώτης ύλης και του ότι είναι υποαλλεργική (Barac et al., 2010). Το ξηρό μπιζέλι περιέχει 20-30% πρωτεΐνες από τις οποίες το 65-80% είναι σφαιρίνες και το 10-20% αλβουμίνες. Τα είδη πρωτεΐνης που περιέχονται στο μπιζέλι είναι κυρίως αποθηκευτικές πρωτεΐνες και ταξινομούνται σε τέσσερις κύριες ομάδες: γλοβουλίνη, αλβουμίνη, προλαμίνη και γλουτελίνη (Adebiyi et al., 2011). Σε σύγκριση με το προφίλ αμινοξέων των πρωτεϊνών των δημητριακών, το μπιζέλι είναι πλούσιο στα αμινοξέα λυσίνη και τρυπτοφάνη και φτωχό ως προς τα θειούχα αμινοξέα (κυστεΐνη, μεθειονίνη) κάτι που συμβαίνει αντίθετα στα δημητριακά και γι' αυτόν τον λόγο οι πρωτεΐνες των δημητριακών και των οσπρίων είναι συμπληρωματικές μεταξύ τους. (Gruber et al., 2005). Οι πρωτεΐνες του μπιζελιού μπορούν σχετικά εύκολα να διαλυτοποιηθούν και να απομονωθούν.

### **2.2.2. Λειτουργικές ιδιότητες πρωτεΐνης αρακά**

Οι λειτουργικές ιδιότητες των απομονωμένων πρωτεϊνών αρακά έχουν μελετηθεί από αρκετούς ερευνητές (Sosulski et al., 1987; Tömösközi et al., 2001) διότι καθορίζουν την συμπεριφορά και την απόδοση τους σε συστήματα τροφίμων κατά την επεξεργασία, αποθήκευση και κατανάλωση τους επηρεάζοντας τις οργανοληπτικές, φυσικοχημικές και ρεολογικές ιδιότητες του. Οι λειτουργικές ιδιότητες της πρωτεΐνης αρακά είναι μεταξύ άλλων, η

διαλυτότητα, η ικανότητα συγκράτησης νερού και ελαίου και ιδιότητες γαλακτωματοποίησης, αφρισμού και πηκτωματοποίησης (Ge et al., 2020).

### **Διαλυτότητα**

Η διαλυτότητα είναι προϋπόθεση για άλλες λειτουργικές ιδιότητες της πρωτεΐνης και παίζει σημαντικό ρόλο στις εφαρμογές προσθήκης της πρωτεΐνης σε συστήματα τροφίμων. Ο γονότυπος του μπιζελιού, η μέθοδος εκχύλισης πρωτεΐνης και το κλάσμα πρωτεΐνης, το pH και η ιοντική ισχύς μπορεί να επηρεάσουν το προφίλ διαλυτότητας της πρωτεΐνης μπιζελιού, επειδή οι διαφορές σε αυτές τις συνθήκες οδηγούν σε αλλαγές στη διαμόρφωση πρωτεΐνης και τις ιδιότητες της επιφάνειας επηρεάζοντας τη διαλυτότητα. Γενικά, τα προϊόντα απομόνωσης πρωτεΐνης αρακά παρασκευάζονται με αλκαλική εκχύλιση/ ισοηλεκτρική καταβύθισης (AE/IP) και εμφανίζει ελάχιστη διαλυτότητα στο νερό κοντά σε pH 4,5 (ισοηλεκτρικό σημείο). Η διαλυτότητά της αυξάνεται σημαντικά με τη μετατόπιση του pH είτε σε πιο όξινες είτε σε αλκαλικές συνθήκες και το προφίλ διαλυτότητας σε σχέση με το pH έχει ένα τυπικό "σχήμα U". Σε σύγκριση με το φυσικό προϊόν απομόνωσης πρωτεΐνης αρακά, η χαμηλότερη διαλυτότητα της απομόνωσης πρωτεΐνης αρακά του εμπορίου μπορεί να οφείλεται σε μετουσίωση και συσσωμάτωση που προκαλείται από την υψηλή θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ξήρανσης με ψεκασμό. Σημαντικά διαφορετικό προφίλ διαλυτότητας, παρατηρείται και σε προϊόντα που λαμβάνονται από διαφορετικούς γονότυπους ή ποικιλίες, ακόμα και αν χρησιμοποιείται η ίδια μέθοδος εκχύλισης (όπως AE/IP), γεγονός που αποδίδεται στη διαφορά του περιεχομένου και της σύνθεσης της πρωτεΐνης αποθήκευσης (Ge et al., 2020; Zhao et al., 2020; Ladjal-Ettoumi et al., 2016).

### **Ιδιότητα δημιουργίας γέλης και ιξώδες**

Η ιδιότητα μιας πρωτεΐνης να δημιουργεί γέλη (gelation) μπορεί να θεωρηθεί ως η διαδικασία κατά την οποία οι πρωτεΐνες αλληλοεπιδρούν για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου δομικού δικτύου μορίων (Bryant et al., 1998). Αυτές οι αλληλεπιδράσεις διενεργούνται μεταξύ πρωτεΐνης-νερού, πρωτεΐνης-λιπών και πρωτεΐνης-πρωτεΐνης και επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες όπως η συγκέντρωση πρωτεΐνης, η θερμοκρασία, το pH, πρόσθετα, ενδογενή και εξωγενή ένζυμα (Shand et al., 2007; Sun et al., 2010). Έχει αναφερθεί ότι ο τύπος και η σύσταση της πρωτεΐνης αρακά, καθώς και οι διαφορετικές

διεργασίες επεξεργασίας, επηρεάζουν τις ιδιότητες δημιουργίας γέλης (O'Kane et al., 2005). Η πρωτεΐνη αρακά που δεν έχει υποστεί υδρόλυση χρησιμοποιείται σε μικρές συγκεντρώσεις κάτω από 10% κ.β. σε γαλακτώματα λόγω της ικανότητας της να σχηματίζει πολύ ιξώδη γαλακτώματα όταν χρησιμοποιείται σε μεγάλες συγκεντρώσεις (Bajaj et al., 2017).

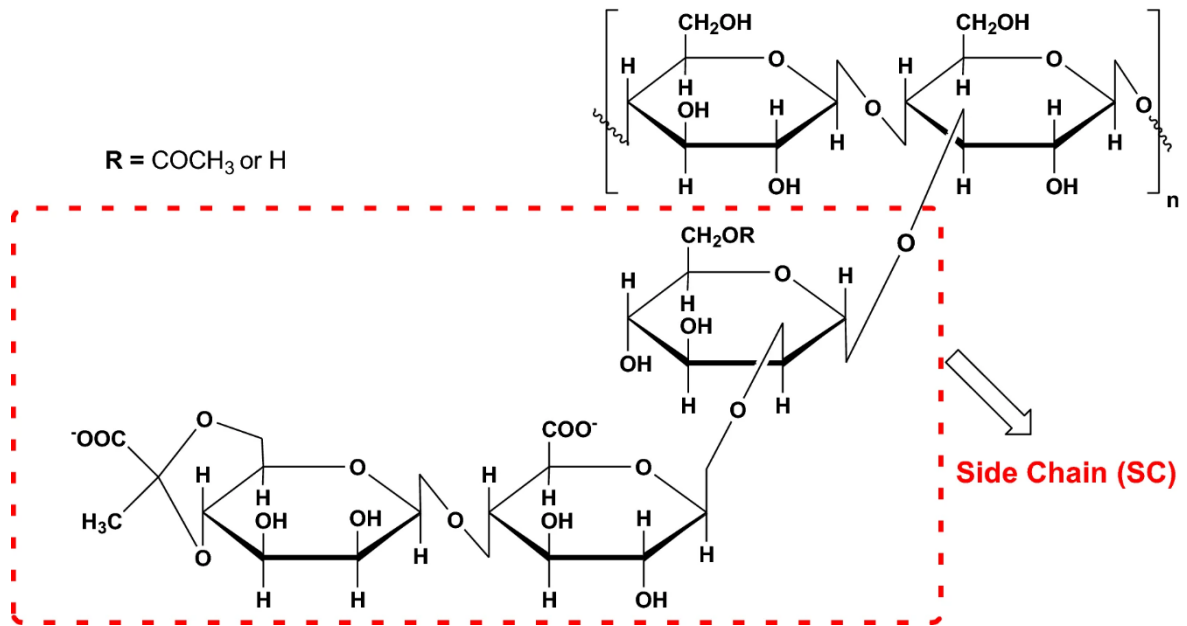
### **Γαλακτωματοποιητική ικανότητα**

Η πρωτεΐνη αρακά έχει εξαιρετικές γαλακτωματοποιητικές ιδιότητες για τη δημιουργία γαλακτωμάτων λαδιού-σε-νερό (Sijtsma et al., 1998). Οι Karaca et al. (2011), ανέφεραν ότι η χαμηλή ικανότητα γαλακτωματοποίησης της πρωτεΐνης αρακάς οφειλόταν στο χαμηλό επιφανειακό φορτίο και τη χαμηλή διαλυτότητα. Η πρωτεΐνη αρακά έχει μικρότερη ικανότητα γαλακτωματοποίησης σε τιμές pH κοντά στο ισοηλεκτρικό της σημείο, με τη συγκεκριμένη ιδιότητα να βελτιώνεται σημαντικά σε τιμές pH πάνω από 7 (Adebiyi et al., 2011).

## **2.3. Κόμμι Ξανθάνης**

### **2.3.1. Γενικά**

Το κόμμι ξανθάνης είναι ένας σύνθετος εξωπολυσακχαρίτης που παράγεται από το φυτοπαθογόνο βακτήριο *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. Αποτελείται από υπολείμματα D-γλυκόζης, D-μαννόζης και D-γλυκουρονικού οξέος σε μοριακή αναλογία 2:2:1 και μεταβλητές αναλογίες υπολειμμάτων Ο-ακετυλίου και πυρουβικού οξέος. Λόγω των φυσικών του ιδιοτήτων είναι ένα υδροκολλοειδές που χρησιμοποιείται ευρέως σε βιομηχανίες τροφίμων όσο και σε άλλου τύπου βιομηχανίες ως πυκνωτικό. Το κόμμι ξανθάνης είναι διαλυτό στο κρύο νερό, ενώ χρησιμοποιείται επίσης ως σταθεροποιητής για μια μεγάλη ποικιλία εναιωρημάτων, γαλακτωμάτων και αφρών. Τα διαλύματά του ακόμα και όταν βρίσκεται σε πολύ μικρές ποσότητες παρουσιάζουν υψηλό ιξώδες και ψευδοπλαστικότητα, με το υψηλό ιξώδες να ευθύνεται για την ιδιότητά του ως πηκτωματογόνος παράγοντας (Mali et al., 2003; Vuyst et al., 1987).



Εικόνα 3: Δομή κόμμεος ξανθάνης (Sethi et al., 2020)

### 2.3.2. Αλληλεπίδραση κόμμεως ξανθάνης και άμυλου

Οι ιδιότητες των σκευασμάτων με βάση το άμυλο μπορούν να τροποποιηθούν (αύξηση του ιξώδους, καθυστερημένη υποβάθμιση της αμυλόζης, μείωση της αναδιάταξης, μείωση της συνέργειας και βελτίωση των χαρακτηριστικών υψής) ενσωματώνοντας μικρές ποσότητες υδροκολλοειδών (Becker et al., 1998). Καθώς το άμυλο είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο υδροκολλοειδές, υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για τη βελτίωση των ιδιοτήτων αποθήκευσής του, συμπεριλαμβανομένης της αναδιάταξής του, της απελευθέρωσης νερού και της αστάθειας. Ο Christiansson παρασκεύασε υδατικά διαλύματα διαφόρων υδροκολλοειδών συμπεριλαμβανομένου και του κόμμεως ξανθάνης και πρόσθεσε σε αυτά άμυλο σίτου και μελέτησε την ρεολογία και τις ιδιότητες πηκτωματοποίησης του αμύλου και απέδωσε την αύξηση του ιξώδους με την προσθήκη κόμμεως ξανθάνης στην αλληλεπίδραση του διαλυτού μέρους (διαλυμένη αμυλόζη και αμυλοπηκτίνες χαμηλής μοριακής μάζας) του κόκκου αμύλου και του κόμμεως. Μια εναλλακτική φυσική εξήγηση ήταν ότι το προστιθέμενο κόμμι ξανθάνης αλληλοεπιδρούσε με τους κόκκους αμύλου, σχηματίζοντας πιο παχύρρευστα εναιωρήματα από το εναιώρημα αμύλου-νερού που παρασκευάστηκε με την ίδια συγκέντρωση αμύλου μόνο. (Christiansson, 1982)

Το κόμμι ξανθάνης έχει μικρή επίδραση στη ζελατινοποίηση του αμύλου, αλλά βελτιώνει σημαντικά τις ιδιότητές του. Μικρές ποσότητες ξανθάνης βοηθούν στη σταθεροποίηση των διαλυμάτων αμύλου κατά την αποθήκευση, ακόμη και σε χαμηλές

συγκεντρώσεις κόμμεος. Τα διαλύματα αμύλου σε 1,5 ή 3% κ.β. (φυσικό ή τροποποιημένο) δεν είναι σταθερά σε θερμοκρασία δωματίου, αλλά η προσθήκη 0,1 % ή 0,2% κ.β. ξανθάνης εμποδίζει την αναδιάταξη του αμύλου και καθιστά το διάλυμα σταθερό στην αποθήκευση. Το άμυλο δεν είναι σταθερό σε χαμηλό pH, αλλά 0,1-0,2% ξανθάνη μπορεί να σταθεροποιήσει την πάστα αμύλου σε pH περίπου 3. Το άμυλο δεν είναι σταθερό μετά από έναν κύκλο απόψυξης κατάψυξης, ειδικά εάν το προϊόν αποψυχθεί σε φούρνο μικροκυμάτων. Ωστόσο, 0,1 ή 0,2% ξανθάνη μπορεί να κάνει αυτά τα διαλύματα σταθερά σε τέτοιες συνθήκες. Τα θετικά αποτελέσματα της χρήσης υδροκολλοειδών στη μείωση της σκληρότητας των πηκτωμάτων αμύλου καλαμποκιού έχουν παρατηρηθεί σε διάφορες μελέτες. (Urlacher et al., 1997)

Οι Mali et al. αξιολόγησαν τη σταθερότητα των πηκτών αμύλου Yam (*Dioscorea alata*) με προσθήκη κόμμεων γκουάρ και ξανθάνης, αποθηκευμένα σε θερμοκρασίες ψύξης (4°C). Οι συγγραφείς επαλήθευσαν ότι στις πηκτές που περιείχαν υδροκολλοειδές η ικανότητα συγκράτησης νερού ήταν υψηλότερη και η υφή πιο επιθυμητή (Mali et al., 2003). Οι Tester et al., αξιολόγησαν την επίδραση των υδροκολλοειδών στη ζελατινοποίηση. Η κύρια τροποποίηση που προκλήθηκε από τα υδροκολλοειδή ήταν η μείωση της κινητικότητας του κλάσματος νερού στο σύστημα, οπότε περιορίστηκε η ζελατινοποίηση. (Tester et al., 2003)

### **2.3.3. Εφαρμογές στα τρόφιμα**

Λόγω της ειδικής δομής του και των ιδιοτήτων του που αναφέρθηκαν παραπάνω το κόμμι ξανθάνης έχει βρει πολλές εφαρμογές στον τομέα των τροφίμων. Η πιο σημαντική εφαρμογή του είναι ως πυκνωτικό μέσο και σταθεροποιητής σε σάλτσες για σαλάτα. Λόγω της τρισιδιάστατης δομής που σχηματίζει αποτρέπει την συναίρεση της σάλτσας και της σούπας και συμβάλλει στο «δέσιμο». Στα προϊόντα αρτοποιίας το κόμμι ξανθάνης βελτιώνει την συνεκτικότητα των αμυλόκοκκων και συνεισφέρει στη δομή και την αύξηση του χρόνου ζωής αυτών των τροφίμων λόγω της ικανότητας συγκράτησης υγρασίας. Περαιτέρω, χρησιμοποιείται σε παρασκευασμένα μείγματα κέικ για τον έλεγχο της ρεολογίας του μείγματος και της συγκράτησης αέρα (Katzbauer, 1998).



### 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

#### 3. Εκχυλίσματα φρούτων και βιοδραστικά συστατικά

##### 3.1. Γενικά

Τα φυσικά εκχυλίσματα φρούτων, αλλά και λαχανικών, βοτάνων και άλλων φυτικών υλικών παρουσιάζουν ολοένα και μεγαλύτερο ενδιαφέρον στη βιομηχανία τροφίμων, επειδή προσδίδουν στα τρόφιμα στα οποία προστίθενται ευεργετικές ιδιότητες οι οποίες βελτιώνουν την ποιότητα και την θρεπτική τους αξία, όπως η επιβράδυνση της οξειδωτικής αποικοδόμησης των λιπιδίων (Loliger et al, 1991). Πολλές μελέτες έχουν αναδείξει τον προστατευτικό ρόλο των φρούτων και των λαχανικών ενάντια σε διάφορες ασθένειες του ανθρώπινου οργανισμού όπως ο καρκίνος και τα καρδιαγγειακά νοσήματα (Wang et al., 1999). Αυτός ο προστατευτικός ρόλος για την ανθρώπινη υγεία αλλά και την ποιότητα των τροφίμων φαίνεται ότι οφείλεται στην αντιοξειδωτική δράση των βιοδραστικών συστατικών που περιέχονται στα φρούτα και τα λαχανικά όπως οι βιταμίνες και οι φυτοχημικές ουσίες (Ferretti et al., 2010). Η σημασία των βιοδραστικών συστατικών των φυτικών υλικών για την προστασία, διατήρηση και προαγωγή της ανθρώπινης υγείας αυξάνει το ενδιαφέρον μεταξύ επιστημόνων, παραγωγών τροφίμων και καταναλωτών καθώς η μελλοντική τάση στην βιομηχανία των τροφίμων κινείται προς λειτουργικά τρόφιμα με συγκεκριμένα οφέλη για την υγεία (Loliger et al. ,1991).

Μια από τις βασικές κατηγορίες βιοδραστικών ενώσεων είναι οι φαινολικές ενώσεις ή πολυφαινόλες. Οι πολυφαινόλες είναι φυσικές ενώσεις, γνωστές για το χρώμα τους, π.χ. ανθοκυανίνες, καθώς και για τη θετική τους επίδραση στην ανθρώπινη υγεία λόγω του ότι είναι επιρρεπείς στην οξείδωση. Κατά την οξείδωση τους δημιουργούν πιο σταθερές ρίζες σε σύγκριση με τα περισσότερα είδη ελευθέρων ριζών, λόγω της σταθεροποίησης του ελεύθερου ηλεκτρονίου με μετεγκατάσταση του στον αρωματικό δακτύλιο που περιέχουν και ως αποτέλεσμα απομακρύνονται οι βλαβερές ελεύθερες ρίζες, οι οποίες ανάγονται. (Hidalgo et al., 2017) Οι φυσικές πολυφαινόλες μπορεί να εμφανίζονται ως απλά μόρια, όπως τα φαινολικά οξέα, έως ενώσεις υψηλού πολυμερισμού, όπως οι τανίνες. Είναι δευτερογενείς μεταβολίτες των φυτών και έχουν έναν τουλάχιστον αρωματικό (συνήθως ετεροκυκλικό) δακτύλιο στην δομή τους. Εμφανίζονται κυρίως σε συζευγμένη μορφή, με ένα ή περισσότερα υπολείμματα σακχάρων συνδεδεμένα με ομάδες υδροξυλίου, αν

και συχνά συνδέεται και άμεσα ο αρωματικός δακτύλιος με τα υδροξύλια. Τα συζευγμένα σάκχαρα μπορεί να είναι μονό-, δι- ή όλιγο-σακχαρίτες (Ferretti et al, 2010, Bravo,1998).

Τα φρούτα περιέχουν ένα ευρύ φάσμα πολυφαινολών, δηλαδή φλαβονοειδών και φαινολικών οξέων, με αντιοξειδωτικές ικανότητες. Οι βασικές υποκατηγορίες φλαβονοειδών είναι οι ανθοκυανίνες, προανθοκυανίνες, φλαβονόλες και κατεχίνες ενώ τα φαινολικά οξέα που συνήθως υπάρχουν στα φρούτα είναι υδροξυλιωμένα παράγωγα του βενζοϊκού και του κινναμωμικού οξέος (Macheix et al., 1990) Όσον αφορά έρευνες που έχουν γίνει για την αντιοξειδωτική ικανότητα των φρούτων οι Wang et al, εξέτασαν φρέσκο εκχύλισμα φράουλας και βρήκαν 15 φορές υψηλότερη συνολική αντιοξειδωτική ικανότητα από το Trolox (υδατοδιαλυτό ανάλογο της βιταμίνης E) σε ένα σύστημα μοντέλου τεχνητής υπεροξειδικής ρίζας (Wang et al., 1997). Επίσης, σε άλλη έρευνα βρέθηκε ότι τα εκχυλίσματα από βατόμουρα, μαύρες και κόκκινες σταφίδες, μύρτιλα και μαύρα και κόκκινα σμέουρα είχαν μια αξιοσημείωτα υψηλή αντιοξειδωτική δράση έναντι των χημικών ριζών υπεροξειδίου (Constantino et al., 1992).

Η μεταβλητότητα της περιεκτικότητας σε φαινολικές ενώσεις ανάμεσα στα φρούτα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως ο βαθμός ωριμότητας κατά τη συγκομιδή, οι περιβαλλοντικές συνθήκες κατά την ανάπτυξη των καρπών κ.λπ. Ωστόσο, η παραγωγή φρούτων με υψηλή περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά και εκτεταμένες αντιοξειδωτικές ιδιότητες εξαρτάται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από το γενετικό τους υπόβαθρο παρά από τις κλιματικές συνθήκες και τις γεωργικές πρακτικές. Επιπλέον, η συνολική περιεκτικότητα σε πολυφαινολικές ενώσεις στα κόκκινα φρούτα αυξάνεται στο τελευταίο στάδιο ωρίμανσης, λόγω της μέγιστης συσσώρευσης ανθοκυανινών και φλαβονολών (Zadernowski 2005; Gerasopoulos, 1997).

### 3.2. Βύσσινο

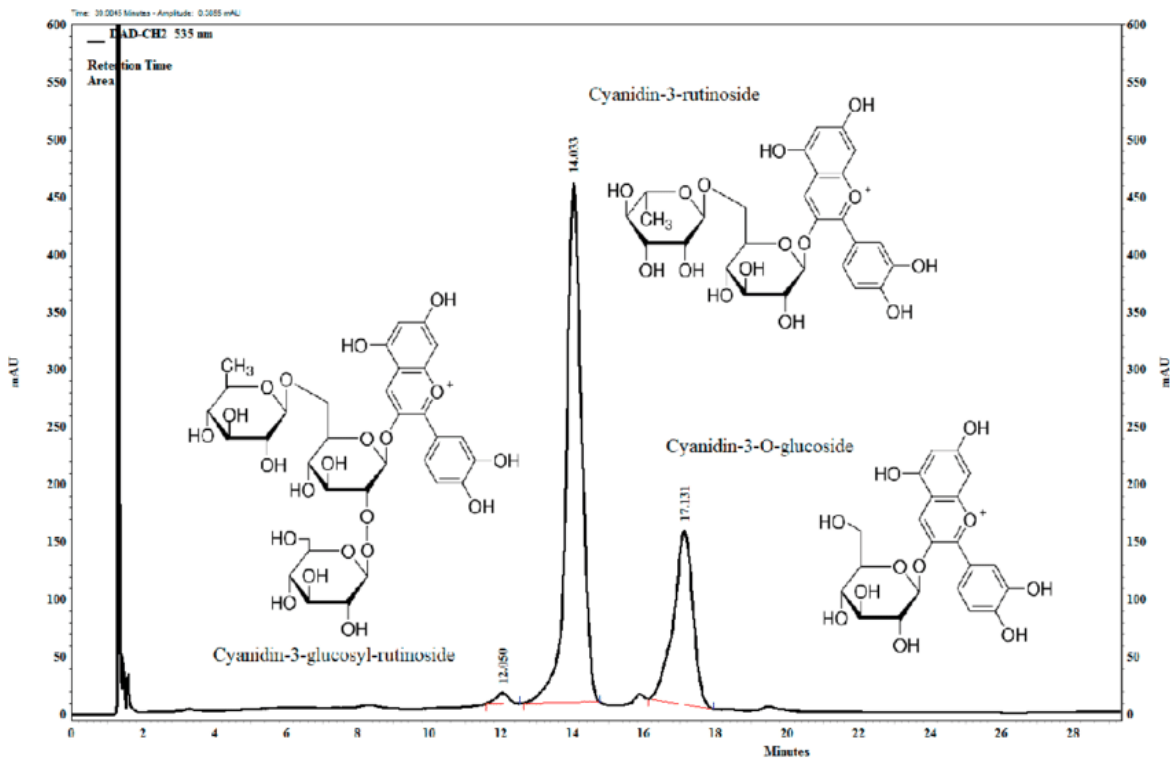
Ο καρπός του βύσσινου (*Prunus cereasus* L.) είναι μια καλή πηγή φυτοχημικών συστατικών τα οποία επηρεάζουν ισχυρά την ποιότητα, τις οργανοληπτικές ιδιότητες αλλά και την θρεπτική του αξία. Μεταξύ των βιοδραστικών ενώσεων, το βύσσινο αποτελεί πλούσια πηγή φαινολικών ουσιών. Οι πιο σημαντικές πολυφαινόλες του βύσσινου είναι οι ανθοκυανίνες, στις οποίες οφείλεται το κόκκινο χρώμα του φλοιού και της σάρκας του φρούτου (Wojdyło et al., 2014). Οι Bonerz et al ανέφεραν ότι η συνολική περιεκτικότητα των

βύσσινων σε φαινολικά κυμαίνονταν από 2704 έως 4998 mg ισοδύναμου γαλλικού οξέος (GA) ανά kg, ενώ το νεοχλωρογενικό οξύ 67-278 mg/kg, το χλωρογενικό οξύ 6- 58 mg/kg, κερκετίνη-3-ρουτινοσίδη 10-44 mg/kg, παράγωγα π-κουμαρικού οξέος 6-41 mg/kg, κερκετίνη-3-γλυκοσίδη 2-4 mg/kg, καμπφερόλη-3-ρουτινοσίδη 0-13 mg/kg και η ισοραμνετιν-3-ρουτινοσίδη 3-26 mg/kg είναι τα πιο κυρίαρχα άχρωμα φαινολικά. Οι ανθοκυανίνες είναι πολύ πιο άφθονες στα βύσσινια, όπου η κυανιδίνη-3-γλυκοζυλρουτινοσίδη 361-515 mg/kg είναι η κύρια, ακολουθούμενη από την κυανιδίνη-3-ρουτινοσίδη 125-213 mg/kg, την κυανιδίνη-3-σοφοροσίδη 37-185 mg/kg και πεονιδιν-3-ρουτινοσίδη 5-15 mg/kg (Bonperz et al, 2007). Λόγω της όξινης γεύσης τους τα βύσσινια δεν μπορούν να καταναλωθούν ως φρούτα σε πολύ μεγάλες ποσότητες. Ως εκ τούτου, η παραγωγή χυμού βύσσινου είναι υψηλή, αφήνοντας πίσω της μεγάλους όγκους παραπροϊόντων, όπως ο πυρήνας ο οποίος θεωρείται μια πλούσια πηγή πολυφαινολών. Οι Cilek et al. (2012) ανέφεραν ότι η συνολική περιεκτικότητα σε φαινολικά σε σκόνη που λαμβάνεται από εκχύλισμα πυρήνα βύσσινου (romace) με ξήρανση με κατάψυξη είναι 91,29 mg GAE/g ξηρού βάρους (Cilek et al, 2012).



**Εικόνα 4:** Χημικές ενώσεις ανθοκυανινών στα βύσσινια (Wojdylo et al., 2014)

Τα παραπάνω φάνηκαν και από την έρευνα των Wojdyło et al. οι οποίοι μέσω ανάλυσης LC/MS διαφορετικών ποικιλιών βύσσινου μπόρεσαν να χαρακτηρίσουν 41 ενώσεις. Στη συνέχεια, αυτές μπόρεσαν να ταξινομηθούν σε τέσσερις ομάδες φαινολικών ενώσεων: ανθοκυανίνες, υδροξυκινναμωμικά οξέα, φλαβονόλες και φλαβόνες και φλαβανό-3-όλες (μονομερή, διμερή και πολυμερείς προκυανιδίνες) (Wojdyło et al, 2014). Μεταξύ των φαινολικών οξέων, τα υδροξυκινναμωμικά (νεοχλωρογενικό οξύ και π-κουμαροϋλοκινικό οξύ) έχουν ποσοτικοποιηθεί και από άλλους ερευνητές στα κεράσια και στα βύσσινια. (Chaouanalikit, 2004; Gao,1995). Τα υψηλότερα επίπεδα ολικών φαινολικών στα βύσσινια έχουν αποδοθεί σε υψηλότερες συγκεντρώσεις ανθοκυανινών και υδροξυκινναμωμικών οξέων (Kim, 2005). Από τους Kim et al, οι συνολικές ανθοκυανίνες του βύσσινου ήταν μεταξύ 45 (ποικ. Balaton) και 109 (ποικ. Sumadinka) mg CGE/100 g φρέσκου βύσσινου ενώ τα ολικά φαινολικά από 162 (ποικ. Danube) έως 295 (ποικ. Schattenmorelle) mg GAE/100 g φρέσκου βύσσινου. (Kim et al., 2005) Στην ανάλυση των Blando et al σε διάφορες ποικιλίες, οι συνολική ποσότητα ανθοκυανινών ανάλογα με την ποικιλία βύσσινου κυμαίνονταν από 27,8-80,4 mg CGE/100 g φρέσκου βύσσινου και πιο συγκεκριμένα οι ανθοκυανίνες που βρέθηκαν ήταν οι κυανιδίνη 3-σοφοροσίδη, η κυανιδίνη 3-γλυκοζυλορουτινοσίδη, η κυανιδίνη 3-γλυκοσίδη και η κυανιδίνη 3-ρουτινοσίδη.



**Εικόνα 5:** Χρωματογράφημα UHPLC στα 534 nm εκχυλίσματος βύσσινου από ποικιλία υ-ψηλή σε ανθοκυανίνες (Nemes et al., 2019)

Η αναγνώριση ότι τα βύσσινα περιέχουν σημαντικά επίπεδα ανθοκυανινών (Wang et al., 1997) έχει προσελκύσει κατά πολύ το ενδιαφέρον σε αυτά. Οι ανθοκυανίνες από το βύσσινο έχει αποδειχθεί ότι διαθέτουν ισχυρές αντιοξειδωτικές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες (Wang et al., 1999) και ότι αναστέλλουν την ανάπτυξη καρκινικού όγκου σε ποντίκια ArcMin και την ανάπτυξη του καρκινικών κυττάρων στο παχύ έντερο του ανθρώπου (Kang et al., 2003). Επιπλέον, η κυανιδίνη, αγλυκόνη της ανθοκυανίνης, έχει δείξει πιο αποτελεσματική αντιφλεγμονώδη δράση από την ασπιρίνη (Wang et al, 1999). Πρόσφατες μελέτες αποκάλυψαν ότι οι ανθοκυανίνες του βύσσινου παρουσιάζουν in vitro αντιοξειδωτικές δράσεις που μπορούν να συγκριθούν με αυτές εμπορικών αντιοξειδωτικών προϊόντων, όπως η βουτυλιωμένη υδροξυανισόλη (BHA) και το βουτυλιωμένο υδροξυτολουόλιο (BHT) και φάνηκε ότι η δράση τους ήταν ανώτερη από τη βιταμίνη E σε συγκέντρωση 2 Mm (Wang et al, 1999). Επίσης, τα αντιοξειδωτικά που περιέχονται στο βύσσινο αναφέρονται ως ανθεκτικά στη θερμική επεξεργασία. Οι Chaovanalikit et al, έδειξαν ότι κατά την κονσερβοποίηση του βύσσινου 50% των ανθοκυανινών και των ολικών φαινολικών μεταφέρθηκαν από το φρούτο στο σιρόπι. Όταν οι ποσότητες των ανθοκυανινών, των

ολικών φαινολικών και η αντιοξειδωτική ικανότητα της σάρκας και του σιροπιού του κονσερβοποιημένου βύσσινου συνδυάστηκαν δεν βρέθηκε απώλεια μετά την επεξεργασία (Chaovanalikit et al, 2004).

## 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

### 4. Εμπλουτισμός τροφίμων με βιοδραστικά συστατικά από φρούτα- Εφαρμογές

#### 4.1. Γενικά

Τα τελευταία χρόνια οι καταναλωτές ενδιαφέρονται για κατανάλωση τροφίμων με περισσότερο φυσικά συστατικά ή/και τροφίμων που θα τους προσφέρουν οφέλη στην υγεία τους. Τα φυσικά αυτά συστατικά, οι βιοδραστικές ενώσεις λαμβάνονται από ορισμένες φυσικές πηγές (εκχυλίσματα φρούτων, λαχανικών, ξηρών καρπών κλπ.). Αυτές οι φυσικές βιοδραστικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται στον εμπλουτισμό τροφίμων στην βιομηχανία είναι δύο τύπων: (α) εκείνες που παρουσιάζουν λειτουργικές επιδράσεις στα συστήματα τροφίμων, όπως αντιοξειδωτικά, αντιμικροβιακά, ενισχυτικά γεύσης, χρωστικές και σταθεροποιητές, και (β) εκείνες που παρουσιάζουν λειτουργικές επιδράσεις στους καταναλωτές, όπως π.χ. αντιοξειδωτικές, αντιφλεγμονώδεις, αντιδιαβητικές και αντιυπερτασικές ενώσεις (Kaur et al, 2021).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα εκχυλίσματα φρούτων περιέχουν πληθώρα βιοδραστικών συστατικών τα οποία μπορούν να εμπλουτίσουν τα συμβατικά τρόφιμα προσδίδοντας σε αυτά ποικίλα οφέλη (Bonertz et al., 2007; Cilek et al., 2012). Τα βιοδραστικά αυτά συστατικά περιέχουν αντιοξειδωτικές, αντιμικροβιακές, αρωματικές ενώσεις και χρωστικές που χαρίζουν στο εμπλουτισμένο τρόφιμο θρεπτικές και προστατευτικές ιδιότητες ενάντια σε ασθένειες όπως τα καρδιαγγειακά νοσήματα ή τον καρκίνο. Αυτές οι ενώσεις ασκούν τις «δυνάμεις» τους στα συστήματα τροφίμων και παρέχουν καλύτερη ποιότητα και σταθερότητα σε αυτά. Ωστόσο, το κύριο πρόβλημα που συναντάται κατά την επεξεργασία και αποθήκευση αυτών των φυσικών βιοδραστικών ενώσεων είναι η ευαισθησία στην θερμότητα, η ασταθής δομή τους και η γρήγορη αποικοδόμησή τους. (Ansari et al., 2012).

Υπάρχουν διάφορα παραδείγματα εμπλουτισμού τροφίμων με βιοδραστικά συστατικά από εκχυλίσματα, σκόνη ή χυμούς φρούτων. Το κεφίρ είναι ένα πόσιμο τρόφιμο που έχει υποστεί ζύμωση και έχουν γίνει έρευνες για τον εμπλουτισμό του με χυμούς φρούτων με σκοπό την ενίσχυση της γεύσης, της υφής αλλά και της αύξησης των βιοδραστικών συστατικών που περιέχει. Οι Du et al., εμπλούτισαν το κεφίρ με χυμό από αρώνια και σαμπούκο, σε ποσοστά 13 και 10% κ.β. και κατέληξαν σε προϊόν με πιο γλυκιά γεύση, μεγαλύτερη αποδοχή από τους καταναλωτές και εμπλουτισμένο ως προς τα φαινολικές

ουσίες και ανθοκυανίνες, αυξάνοντας και την αντιοξειδωτική του ικανότητα (Du et al., 2018). Επίσης, προσθήκη χυμού από φράουλα, ρόδι και μαύρο μούρο σε διάφορα ποσοστά 10, 25 και 50% κ.β. βελτίωσε την αντιοξειδωτική ικανότητα του κεφίρ και ο εμπλουτισμός με χυμό από μαύρο μούρο προκάλεσε αύξηση των ανθοκυανινών (Settanni et al., 2020).

Άλλη έρευνα εμπλουτισμού τροφίμων με φρούτα έγινε με χουρμάδες. Οι χουρμάδες είναι ένα φρούτο που παράγεται στις χώρες τις Μέσης Ανατολής και είναι ένα πολλά υποσχόμενο μέσο εμπλουτισμού λόγω της υψηλής ποσότητας φαινολικών ουσιών που περιέχουν. Οι Gad et al., πρόσθεσαν σε γιαούρτι από άπαχο γάλα 2, 4, 6, 8 και 10% σιρόπι από χουρμάδες και το αποθήκευσαν για 12 μέρες στους 5°C και το γιαούρτι με την μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε σιρόπι από χουρμά είχε αυξημένη αντιοξειδωτική ικανότητα καθόλη την διάρκεια αποθήκευσης του (Gad et al., 2010). Σε γιαούρτι φάνηκε αύξηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας και της ποσότητας ολικών φαινολικών και με προσθήκη σκόνης από φλούδα σταφυλιών σε ποσοστό 1,7% και 8% χυμό από μωβ σταφύλια (Karnopp et al., 2017)

#### **4.2. Εφαρμογές στον εμπλουτισμό ζυμαριών και τροφίμων αρτοποιίας**

Παρακάτω αναφέρεται σχετική βιβλιογραφία εμπλουτισμού ζυμαριών με εκχυλίσματα ή σκόνη φρούτων και παραπροϊόντων φρούτων. Τα στέμφυλα είναι ένα υλικό εμπλουτισμού που έχει χρησιμοποιηθεί κατά κόρον στον εμπλουτισμό τροφίμων αρτοποιίας. Οι Rainero et al, παρασκεύασαν κριτσίνια αντικαθιστώντας ένα μέρος από το αλεύρι σίτου με πούδρα από στέμφυλα. Η αντικατάσταση αυτή άλλαξε τις ρεολογικές ιδιότητες του νέου τροφίμου αυξάνοντας την απορρόφηση νερού και την συνεκτικότητα του παράλληλα μειώνοντας την ικανότητα έκτασης του ζυμαριού. Η υφή του εμπλουτισμένου ζυμαριού είχε μειωμένη σκληρότητα και ευθραυστότητα και ως προς τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά το pH, ο όγκος και ο ειδικός όγκος ήταν μειωμένα σε σχέση με το δείγμα χωρίς την πούδρα στέμφυλων. Τα ολικά φαινολικά και τα αντιοξειδωτικά αυξήθηκαν στο προϊόν μετά την προσθήκη της πούδρας από τα στέμφυλα και το προϊόν μπορούσε να χαρακτηριστεί «καλή πηγή φυτικών ινών». Από την άλλη υπήρχαν προβλήματα ως προς την μυρωδιά κρασιού, την οξύτητα, την πικράδα όμως τελικά το προϊόν ήταν αποδεκτό οργανοληπτικά από τον καταναλωτή (Rainero et al, 2022). Οι Maner et al., έλαβαν



παρόμοια αποτελέσματα μετά την εφαρμογή πούδρας από στέμφυλα που περιέχει ανθοκυανίνες, στην παρασκευή μπισκότων. Η προσθήκη 5, 10, 15 και 20% εκχυλίσματος στεμφύλων πλούσιου σε ανθοκυανίνες οδήγησε σε υψηλότερη περιεκτικότητα σε ανθοκυανίνες στο τελικό προϊόν (2,03–3,51 mg/g των δειγμάτων με εκχύλισμα έναντι 0,16 mg/g του δείγματος ελέγχου). Η συμπερίληψη αυτού του εκχυλίσματος στη ζύμη μπισκότων αύξησε τη συνολική περιεκτικότητα σε φαινολικές ενώσεις, τανίνες, φλαβονοειδή και την αντιοξειδωτική ικανότητα του τελικού προϊόντος (Maner et al, 2017).

Σε μία άλλη έρευνα εμπλουτισμού οι Sun-Waterhouse et al, προσέθεσαν σε ζυμαρικά τύπου fettuccine συμπυκνωμένο χυμό σαμπούκου και φυτικές ίνες από άμυλο Hi-Maize ή πηκτίνη από μήλα. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών του συμπυκνωμένου χυμού σαμπούκου και των φυτικών ινών προκαλούν διαφορές στην περιεχόμενη πρωτεΐνη, την πηκτίνη και στις ολικές φυτικές ίνες και τις τιμές ολικών εκχυλισμένων φαινολικών και ολικής αντιοξειδωτικής ικανότητας, όπως και το προφίλ των πολυφαινόλων των ζυμαρικών. Μετά το μαγείρεμα, περίπου το 70% της ολικής αντιοξειδωτικής ικανότητας διατηρήθηκε για τα ζυμαρικά που εμπλουτίστηκαν με τον χυμό και την high methoxyl-πηκτίνη. Οι περιεχόμενες φυτικές ίνες και πολυφαινόλες των εμπλουτισμένων ζυμαρικών (ειδικά αυτά με πηκτίνη) μπορεί να επιτρέψουν την χρήση πιθανών ισχυρισμών για την υγεία όπως «καλή πηγή φυτικών ινών» και «καλή πηγή αντιοξειδωτικών». (Sun-Waterhouse et al, 2013)

Τα παραπροϊόντα μήλου έχουν διερευνηθεί αρκετά ως προς τον εμπλουτισμό τροφίμων αρτοποιίας για αύξηση του φαινολικού περιεχομένου αλλά και των φυτικών ινών στο τελικό προϊόν. Οι Rocha-Parra et al., χρησιμοποίησαν ξηραμένα παραπροϊόντα μύλου σε μορφή σκόνης (η ποσότητα της σκόνης ήταν σε αναλογία έως 12,5% των υλικών άμυλο-ρυζάλευρο-ασπράδια αυγού) για την αύξηση των φυτικών ινών άρτου ελεύθερου γλουτένης με βασικά υλικά το άμυλο κασάβας, ρυζάλευρο και ασπράδια αυγού. Το αποτέλεσμα της προσθήκης αυτής ήταν να αυξηθεί η σκληρότητα και να μειωθεί η συνεκτικότητα της ψίχας του άρτου καθώς και ότι η αναλογία ξηρών συστατικών με το νερό έπαιξε σημαντικό ρόλο στις μηχανικές ιδιότητες του άρτου (Rochas-Parra et al., 2005). Οι Rupasinghe et al., αντικατέστησαν το 32% του αλεύρου σίτου με σκόνη από ξηραμένες φλούδες μήλου και πέτυχαν αύξηση του φαινολικού περιεχομένου και της αντιοξειδωτικής ικανότητας και αύξηση των φυτικών ινών στο τελικό προϊόν (Rupasinghe et al., 2008).

Τέλος, σε προϊόντα εξώθησης σε μια έρευνα έγινε αντικατάσταση του χοντρού καλαμποκάλευρου σε ποσοστό 10,15 και 20% με σκόνη από παραπροϊόντα μήλου και σε μία άλλη έρευνα έγινε αντικατάσταση του μείγματος ρυζάλευρου/σιμιγδάλι σίτου σε ποσοστό 10,20 και 30% με παραπροϊόντα μήλου και παρατηρήθηκε και στις δύο αύξηση του φαινολικού περιεχομένου και της αντιοξειδωτικής ικανότητας (Drożdż et al., 2014; Reis et al., 2014).

## 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

### 5. Τρισδιάστατη εκτύπωση

#### 5.1. Γενικά

Η τρισδιάστατη (3D) εκτύπωση τροφίμων είναι μια νέα ιδέα που βασίζεται στην τεχνολογία προσθετικής κατασκευής (additive manufacturing) που χρησιμοποιεί έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή για την εκτύπωση ενός προϊόντος τροφίμου. Η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης επιτρέπει τη φυσική υλοποίηση ενός τρισδιάστατου μοντέλου σχεδίασης με τη βοήθεια υπολογιστή όπου ένα προσχεδιασμένο τρισδιάστατο μοντέλο είναι «περασμένο» σε λογισμικό στο οποίο δημιουργείται ο κώδικας G μαζί με μια διαδρομή δημιουργίας του στερεού αντικείμενου. Η κατασκευή του τρισδιάστατου τροφίμου γίνεται εφαρμόζοντας την προσθήκη υλικών στρώμα προς στρώμα, δημιουργώντας έτσι ένα τρισδιάστατο φυσικό αντικείμενο που έχει την ίδια δομή με το ψηφιακό μοντέλο. Επί του παρόντος, χρησιμοποιείται ευρέως στη μηχανική βιολογικών ιστών, την ιατρική, το περιβάλλον και τις εφαρμογές τροφίμων. Ειδικότερα, η προσπάθεια για υγιεινή διατροφή έχει κάνει γνωστή την τρισδιάστατη εκτύπωση τροφίμων λόγω της υψηλής ευελιξίας, της υψηλής δυνατότητας διαμόρφωσης και του υψηλού ποσοστού χρήσης των πρώτων υλών σε αυτήν την τεχνική. (Liu et al, 2019; Pulatsu et al, 2020)

Οι περισσότερες τρισδιάστατες μέθοδοι εκτύπωσης τροφίμων που χρησιμοποιούνται αυτή την στιγμή βασίζονται στην εξώθηση υλικού, όπου οι πρώτες ύλες τροφίμων ωθούνται μέσα από ένα ακροφύσιο με πίεση αέρα και εναποτίθενται στην τράπεζα κατασκευής ακολουθώντας ένα συγκεκριμένο σχέδιο. Τέτοιες τεχνικές μπορούν να πραγματοποιήσουν συνεχή εκτύπωση τροφίμων χρησιμοποιώντας υγρά ή υλικά χαμηλού ιξώδους. Επί του παρόντος, η τρισδιάστατη εκτύπωση τύπου εξώθησης χρησιμοποιείται για την παρασκευή πολλών διαφορετικών τύπων τροφίμων, όπως ζυμάρι, πουρές πατάτας, λαχανικά και φρούτα και κρέας, με μια ποικιλία πολύπλοκων και μοναδικών δομών (Liu et al, 2019, Martínez-Monzó et al., 2019; Derossi et al.2018; Dick et al., 2019). Η κατασκευή τροφίμων με πολύπλοκες δομές με χρήση τρισδιάστατης εκτύπωσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις φυσικές ιδιότητες του υλικού, το οποίο είναι ένα από τα πιο σημαντικά ερευνητικά θέματα που σχετίζονται με την τρισδιάστατη εκτύπωση. Οι τρεις πιο σημαντικοί παράγοντες για την υλοποίηση της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι:

- οι ιδιότητες του υλικού (π.χ. αναλογία του στο βιομελάνι, ιξώδες),
- η δυνατότητα εκτύπωσης υλικού (π.χ. ρεολογική συμπεριφορά, ζελατινοποίηση, θερμοκρασία τήξης και υαλώδους μετάπτωσης)
- και οι παράμετροι επεξεργασίας (π.χ. ύψος και διάμετρος ακροφυσίου εκτύπωσης, ρυθμός ροής του υλικού (Liu et al., 2017))

## 5.2. Παραδείγματα τρισδιάστατης εκτύπωσης σε ζυμάρι

Οι μεγαλύτερες προκλήσεις στην τρισδιάστατη εκτύπωση τροφίμων είναι η ρεολογία του μείγματος συστατικών, η ακρίβεια της δομής, η σταθερότητα του σχήματος, η συμβατότητα με τις παραδοσιακές τεχνολογίες επεξεργασίας τροφίμων (π.χ. ψήσιμο και ξήρανση) και η ταχύτητα εκτύπωσης (Lille et al., 2018). Για παράδειγμα, ενώ οι παραδοσιακές συνταγές μπισκότων έχει φανεί ότι είναι συμβατές με την τρισδιάστατη εκτύπωση, λόγω της παρουσίας μεγάλης ποσότητας λιπών δεν διατηρούν το σχήμα και τη δομή τους μετά την επεξεργασία (π.χ. ψήσιμο) (Lipton et al., 2010). Γι' αυτό τον λόγο για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί η παραδοσιακή συνταγή μπισκότων και να είναι συμβατή με την τρισδιάστατη εκτύπωση θα πρέπει να τροποποιηθεί η βασική συνταγή (Lille et al., 2018).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σημαντικό για την δυνατότητα εκτύπωσης τροφίμων με βάση το ζυμάρι είναι η αναλογία στερεών προς τα υγρά υλικά. Οι Yang et al. ανέλυσαν τα χαρακτηριστικά και τις φυσικές ιδιότητες ζυμαριού που θα χρησιμοποιηθεί στην αρτοποιία με διαφορετικές συστάσεις νερού, σακχαρόζης, βουτύρου, αλεύρου και περιεκτικότητας αυγών. Η σακχαρόζη και το βούτυρο είναι δύο υλικά που παίζουν σημαντικό ρόλο στην ικανότητα εκτύπωσης του ζυμαριού. Για να επιτευχθεί η εκτυπώσιμη συνοχή στην ζύμη για μπισκότα, εκτός από την αλλαγή της αναλογίας των άλλων συστατικών στην παραδοσιακή σύνθεση ζύμης, προστέθηκε επιπλέον νερό στη νέα συνταγή καθώς η παραδοσιακή φόρμουλα ζύμης ήταν πολύ στεγνή για να εξωθηθεί. Το νερό λειτουργεί ως λιπαντικό και επιτρέπει στο υλικό να εκτυπωθεί με επιτυχία. (Yang et al, 2018). Το ίδιο συνέβη και με την παραδοσιακή συνταγή για πίτσα όπου για να μπορέσει το ζυμάρι να εκτυπωθεί χρειάστηκε περισσότερο νερό (Lipton et al., 2015).

## 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

### 6. Ξήρανση

#### 6.1. Γενικά

Η ξήρανση είναι μια από τις παλαιότερες διαδικασίες συντήρησης των τροφίμων που είχε στην διάθεση της η ανθρωπότητα όπως φαίνεται από δεδομένα της προϊστορικής εποχής. Κατά τη διάρκεια της ανθρώπινης ιστορίας, ο ήλιος, ο αέρας και ο καπνός της φωτιάς χρησιμοποιήθηκαν ευρέως για να απομακρυνθεί το νερό από διάφορα τρόφιμα όπως φρούτα, κρέατα, σπόρους και σιτηρά. Εξ' ορισμού η ξήρανση των τροφίμων είναι η διαδικασία απομάκρυνσης του νερού από τα τρόφιμα μέσω της κυκλοφορίας ζεστού αέρα μέσα σε αυτό. Στην αρχή απομακρύνεται το ελεύθερο νερό από την επιφάνεια και εν συνεχεία το δεσμευμένο νερό από το εξωτερικό. Πολλές φορές επικρατεί σύγχυση μεταξύ της λέξης ξήρανση και αφυδάτωση. Ο USDA κατηγοριοποιεί τα τρόφιμα ως αφυδατωμένα όταν η υγρασία τους είναι μικρότερη από 2,5% επί ξηρού και τρόφιμα που έχουν υποστεί ξήρανση αυτά που έχουν υγρασία μεγαλύτερη από 2,5%. Κατά την ξήρανση των τροφίμων πραγματοποιείται ταυτόχρονη μεταφορά μάζας και θερμότητας μεταξύ του τροφίμου και αδρανών αερίων ή κενού, κατά την οποία υπάρχει μείωση της υγρασίας του τροφίμου από μια αρχική τιμή σε μια τελική. Τα τρόφιμα που έχουν υποστεί ξήρανση είναι μικροβιολογικά σταθερά καθώς δεν αποτελούν πρόσφορο έδαφος για την ανάπτυξη μικροοργανισμών που θα τα αλλοιώσουν. Επίσης, τις περισσότερες φορές έχουν καλύτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, είναι ελαφριά σε βάρος, εύκολα στην αποθήκευση και την κατανάλωση. Από την άλλη πλευρά, η ξήρανση προκαλεί αλλοιώσεις στο χρώμα, στο μέγεθος, στην υφή, στην γεύση, στο άρωμα και μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή θερμοευαίσθητων θρεπτικών συστατικών όπως π.χ. κάποιες βιταμίνες. (Ahmed et al, 2013, Στέγγου Α., 2015, Rahmad, 2007)

Οι πιο σημαντικοί λόγοι εφαρμογής της ξήρανσης στην βιομηχανία των τροφίμων με βάση την βιβλιογραφία είναι:

- Η καλύτερη συντήρηση των τροφίμων που προκύπτει από την μείωση της ενεργότητας ύδατος η οποία είναι κύριος παράγοντας που επηρεάζει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών με συνέπεια την εξασφάλιση μικροβιολογικής σταθερότητας και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του προϊόντος.

- Η μείωση του βάρους του τροφίμου που επιτελείται μέσω της απομάκρυνσης του νερού και ως αποτέλεσμα η μείωση των εξόδων μεταφοράς του αλλά και η δημιουργία τροφίμων εύκολα στον χειρισμό και την αποθήκευση (π.χ. σκόνη γάλακτος).
- Η δημιουργία νέων τροφίμων με διαφορετικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες όπως περισσότερο τραγανά ή ελαστικά ή με διαφορετική γεύση ή άρωμα (Fox et al, 2014).

## 6.2. Μέθοδοι ξήρανσης

Οι μέθοδοι ξήρανσης μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τον τρόπο αφαίρεσης του νερού, δηλαδή

- Ξήρανση με θερμότητα, όπου χρησιμοποιείται ένα αέριο ή κενό αέρος για να απομακρυνθεί η υγρασία και χωρίζεται στις εξής κατηγορίες:
    - A) Ξήρανση με ρεύμα αέρα
    - B) Ξήρανση σε περιβάλλον με χαμηλό ποσοστό αέρα
    - Γ) Ξήρανση με τροποποιημένη ατμόσφαιρα
  - Ωσμωτική αφυδάτωση, όπου χρησιμοποιείται διαλύτης για να γίνει η απομάκρυνση του νερού με την διαδικασία της ώσμωσης
  - Μηχανική αφυδάτωση, όπου χρησιμοποιείται εξωτερική φυσική δύναμη
- Πριν την επιλογή μιας από τις διαδικασίες ξήρανσης πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφοροι παράγοντες όπως ο τύπος του προϊόντος, οι επιθυμητές ιδιότητες του τελικού προϊόντος, το κόστος και η ευαισθησία του προϊόντος στην θερμότητα (Rahmad, 2007).

## 6.3. Ξήρανση με θερμότητα

Η ξήρανση με θερμότητα είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος ξήρανσης των τροφίμων. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί την θέρμανση ως μέσο απομάκρυνσης της υγρασίας. Ο μηχανισμός της μεταφοράς της υγρασίας εξαρτάται από τον τύπο και την φυσικοχημική κατάσταση του τροφίμου και την διαδικασία ξήρανσης.

Η ξήρανση με θερμότητα ακολουθεί τα παρακάτω στάδια:

- A. Αρχικό στάδιο. Στο στάδιο αυτό το προϊόν θερμαίνεται μέχρι να φτάσει την θερμοκρασία υγρού βολβού του αέρα (παροδικό στάδιο). Η θερμότητα που απαιτείται για το στάδιο αυτό παρέχεται με την μεταφορά από τον αέρα προς την επιφάνεια και με αγωγή μέσα στη μάζα του τροφίμου. Ο μηχανισμός που ελέγχει το στάδιο αυτό είναι η θερμική

αντίσταση στη μετάδοση της θερμότητας με αγωγή μέσα στη μάζα του τροφίμου, οπότε και καθορίζει το χρονικό διάστημα του αρχικού σταδίου το οποίο είναι αρκετά μικρό.

- B. Στάδιο σταθερού ρυθμού ξήρανσης. Στο στάδιο αυτό η υγρασία απομακρύνεται πολύ εύκολα. Η περιεκτικότητα σε υγρασία που συμβαίνει η αλλαγή από το αρχικό στάδιο στο στάδιο σταθερού ρυθμού ονομάζεται κρίσιμη. Στο στάδιο αυτό το τρόφιμο και ο αέρας έρχονται σε ισορροπία κατά τη μεταφορά μάζας και θερμότητας. Αυτή η πρώτη περίοδος πτώσης εξαρτάται τόσο από εσωτερικούς όσο και από εξωτερικούς παράγοντες μεταφοράς μάζας. Η θερμοκρασία του στερεού διατηρείται σταθερή στην τιμή της θερμοκρασίας υγρού βολβού του αέρα. Ο μηχανισμός που ελέγχει το στάδιο αυτό είναι η αντίσταση στη μεταφορά της μάζας των ατμών του νερού από την επιφάνεια του τροφίμου στη συνολική μάζα του αέρα, ενώ η αντίσταση στη μεταφορά του νερού μέσα στη μάζα του τροφίμου, θεωρείται αμελητέα.
- C. Στάδιο ελαττωμένου ρυθμού ξήρανσης. Σε αυτό το στάδιο η θερμοκρασία του τροφίμου αυξάνεται σταδιακά πλησιάζοντας την τιμή της θερμοκρασίας ξηρού βολβού του αέρα, ενώ η εξάτμιση του νερού γίνεται πλέον από το εσωτερικό της μάζας του. Κατά αυτό το στάδιο η ξήρανση γίνεται με αργό ρυθμό ο οποίος εξαρτάται από την αντίσταση στη μεταφορά μάζας από το εσωτερικό στερεό πλέγμα του τροφίμου. Η αντίσταση στη μεταφορά του από την επιφάνεια του στερεού δεν επηρεάζει σημαντικά το ρυθμό μείωσης της υγρασίας και θεωρείται αμελητέα κατά την φάση αυτή.

Η συμπεριφορά του κάθε τροφίμου κατά την ξήρανση εξαρτάται από το πορώδες, την ομοιογένεια και τις υγροσκοπικές ιδιότητες. (Rahman, 2007)

### **6.3.1. Ξήρανση με ρεύμα αέρα**

Οι ξηραντήρες με ρεύμα αέρα είναι τύπου καμπίνας ή κλίνης (π.χ. tray dryer, tunnel). Είναι ο πιο απλός τρόπος ξήρανσης όπου η ξήρανση πραγματοποιείται σε κλειστού τύπου θερμούς θαλάμους. Το μέσο ξήρανσης, δηλαδή ο ζεστός αέρας σε ρυθμιζόμενη θερμοκρασία και υγρασία, διέρχεται πάνω από το προϊόν, το οποίο τοποθετείται συνήθως σε ανοιχτούς δίσκους στον ξηραντήρα. Παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό ξήρανσης είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα και η κατανομή του αέρα, η ανταλλαγή του αέρα εντός και εκτός ξηραντήρα, η γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά του τροφίμου και το πάχος του τροφίμου. Το προς ξήρανση τρόφιμο συνήθως τοποθετείται σε διχτυωτούς δίσκους ή χύμα

σε μια κλίνη ή κρέμεται για καλύτερη κυκλοφορία του αέρα πάνω και κάτω από αυτό. Γενικά, όσο πιο υψηλή είναι η θερμοκρασία του αέρα, τόσο πιο γρήγορος είναι ο ρυθμός ξήρανσης. Όσο χαμηλότερη είναι η υγρασία του αέρα, τόσο υψηλότερος είναι ο ρυθμός ξήρανσης. Η σχετική υγρασία είναι χαμηλότερη όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του αέρα. Ένας ξηραντήρας πρέπει να διώχνει αέρα για να απαλλαγεί από την υγρασία που περνάει από το προς ξήρανση τρόφιμο στον αέρα, επιτρέποντας έτσι να εισέλθει νέος αέρας χαμηλότερης υγρασίας στο σύστημα. Ωστόσο, αυτή η διαδικασία προκαλεί απώλεια θερμότητας από τον ξηραντήρα. (Rahman, 2007)

### **6.3.2. Ξήρανση υπό κενό**

Η ξήρανση των τροφίμων υπό κενό περιλαμβάνει την υποβολή των τροφίμων σε συνθήκες χαμηλής πίεσης υπό θέρμανση. Το κενό επιτρέπει στο νερό να εξατμιστεί σε χαμηλότερη θερμοκρασία από ότι σε ατμοσφαιρικές συνθήκες, επομένως τα τρόφιμα μπορούν να ξεραθούν χωρίς έκθεση σε υψηλή θερμοκρασία, η οποία μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες για το τρόφιμο. Επιπλέον, το χαμηλό επίπεδο οξυγόνου στην ατμόσφαιρα μειώνει τις αντιδράσεις οξειδωσης κατά την ξήρανση. Γενικά, το χρώμα, η υφή και η γεύση των προϊόντων που έχουν ξηραθεί σε κενό είναι βελτιωμένα σε σύγκριση με τα προϊόντα που έχουν στεγνώσει στον αέρα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το προϊόν είναι συγκρίσιμο με την ποιότητα των λυοφιλιωμένων τροφίμων. (Rahman, 2007)

### **6.3.3. Ξήρανση με κατάψυξη ή λυοφιλίωση**

Κατά την λυοφιλίωση, το κατεψυγμένο τρόφιμο υποβάλλεται σε ξήρανση υπό πολύ χαμηλή πίεση, κάτω από το τριπλό σημείο (στους 0°C, πίεση: 610 Pa) και θερμαίνεται για να προκληθεί εξαχνωση του πάγου σε ατμό. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως για προϊόντα υψηλής ποιότητας, τα οποία περιέχουν θερμοευαίσθητα συστατικά όπως βιταμίνες, αντιβιοτικά και μικροβιακές καλλιέργειες. Η εικονική απουσία αέρα και νερού σε υγρή μορφή και η χαμηλή θερμοκρασία αποτρέπουν τη φθορά λόγω οξειδωσης ή χημικής τροποποίησης του τροφίμου. Αυτός ο τρόπος ξήρανσης δίνει πολύ πορώδη προϊόντα, με αποτέλεσμα υψηλά ποσοστά επανυδάτωσης. Ωστόσο, η λυοφιλίωση είναι μια αργή και δαπανηρή διαδικασία. Απαιτεί μεγάλο χρόνο επεξεργασίας και πρόσθετη ενέργεια για τη λειτουργία του συμπιεστή και των μονάδων ψύξης, γεγονός που καθιστά τη διαδικασία



πολύ ακριβή για εμπορική χρήση. Έτσι, χρησιμοποιείται κυρίως για προϊόντα υψηλής αξίας (Rahman, 2007).

#### **6.4. Αλλαγές στην ποιότητα του τροφίμου που έχει υποστεί ξήρανση**

##### **6.4.1. Αντιδράσεις αμαύρωσης**

Οι αντιδράσεις αμαύρωσης αλλάζουν το χρώμα και μειώνουν τη θρεπτική αξία, δημιουργούν δυσάρεστες γεύσεις και προκαλούν αλλαγές στην υφή του τροφίμου. Οι αντιδράσεις αμαύρωσης μπορούν να ταξινομηθούν ως ενζυμικές ή μη ενζυμικές, με τις τελευταίες να είναι πιο σοβαρές όσον αφορά τη διαδικασία ξήρανσης. Οι δύο κύριοι τύποι μη ενζυμικής αμαύρωσης είναι η καραμελοποίηση και οι αντιδράσεις Maillard. Εκτός από το επίπεδο υγρασίας, η θερμοκρασία, το pH και η σύσταση του τροφίμου είναι άλλες παράμετροι που επηρεάζουν το ρυθμό μη ενζυμικής αμαύρωσης. Βρέθηκαν αρκετές προτάσεις που βοηθούν στη μείωση της μη ενζυμικής αμαύρωσης κατά την ξήρανση. Σε όλες τις περιπτώσεις, τονίστηκε ότι όταν το προϊόν βρίσκεται στην κρίσιμη περιεκτικότητα υγρασίας δεν θα πρέπει να φορτώνεται με περίσσεια θερμότητας. Για να λάβουν χώρα οι αντιδράσεις Maillard χρειάζονται υψηλές θερμοκρασίες 80-90°C. Οι αντιδράσεις αυτές αυξάνονται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία και ο χρόνος ξήρανσης (Rahman, 2007).

##### **6.4.2. Δομικές αλλαγές**

Οι διάφορες μέθοδοι ξήρανσης είναι υπεύθυνες για το σχηματισμό διαφορετικών πορωδών μικρο- και μακρο-δομών που συνήθως διαφέρουν από το αρχικό φρέσκο προϊόν, λόγω της απομάκρυνσης του νερού από την εσωτερική δομή προς το περιβάλλον. Ως αποτέλεσμα, η πρώτη ύλη μπορεί να έχει εντελώς διαφορετική δομή, ανάλογα με τη μέθοδο ξήρανσης και τις συνθήκες που εφαρμόζονται. Σύμφωνα με την εφαρμοζόμενη μέθοδο και συνθήκες, τα τρόφιμα μπορεί να υποστούν σημαντική συρρίκνωση, οδηγώντας σε κατάρρευση της δομής λαμβάνοντας υπόψη ότι ορισμένες μέθοδοι μπορούν να οδηγήσουν σε καλύτερη διατήρηση της αρχικής δομής των τροφίμων. Η συρρίκνωση των υλικών τροφίμων επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα των τελικών προϊόντων, επειδή τα συρρικνωμένα προϊόντα χαρακτηρίζονται από αυξημένη σκληρότητα και κακή εμφάνιση που τα διαφοροποιεί από το αρχικό φρέσκο υλικό (Krokida et al., 1997). Η συρρίκνωση κατά την ξήρανση λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα με τη διάχυση της υγρασίας, επηρεάζοντας τον

ρυθμό απομάκρυνσης της υγρασίας. Η συρρίκνωση εμφανίζεται πρώτα στην επιφάνεια και στη συνέχεια σταδιακά μετακινείται προς το εσωτερικό του τροφίμου καθώς αυξάνεται ο χρόνος ξήρανσης. Καθώς η ξήρανση προχωρά σε υψηλή θερμοκρασία, σχηματίζονται ρωγμές στην εσωτερική δομή (Rahmad, 2007). Στο αρχικό στάδιο ξήρανσης, η δομή των κυττάρων φαίνεται να είναι άθικτη και το σχήμα των δειγμάτων διατηρείται καλά. Στα πρώτα στάδια ξήρανσης, η συρρίκνωση συνοδεύεται από παραμόρφωση σωματιδίων (Khraisheh et al, 2004). Η πρόοδος των φαινομένων συρρίκνωσης μπορεί να αποδοθεί τόσο σε εσωτερικούς παράγοντες (χημική σύσταση, αρχική δομή, πορώδες, ποσότητα πτητικών συστατικών) όσο και σε εξωτερικούς παράγοντες (θερμοκρασία, πίεση, σχετική υγρασία, χαρακτηριστικά αέρα, ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κ.λπ.) κατά την ξήρανση.

Κατά την ξήρανση με κατάψυξη, η περιορισμένη κινητικότητα του παγωμένου νερού οδηγεί στη διατήρηση του αρχικού σχήματος του υλικού, προκαλώντας περιορισμένη συρρίκνωση. Τα λυοφιλωμένα υλικά χαρακτηρίζονται από τις χαμηλότερες τιμές φαινομενικής πυκνότητας και το υψηλότερο πορώδες. Ωστόσο, οι συνθήκες λειτουργίας μπορούν να επηρεάσουν το σχήμα και τον όγκο των προϊόντων τροφίμων. Οι κύριες παράμετροι που επηρεάζουν τη διαδικασία λυοφιλίωσης είναι ο ρυθμός κατάψυξης (θερμοκρασία κατάψυξης) και η εφαρμοζόμενη πίεση, η οποία αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία στην οποία εξαχνώνεται ο πάγος (Rhim et al, 2011).

Από την άλλη, τα ξηραμένα στον αέρα υλικά τροφίμων χαρακτηρίζονται από εκτεταμένη συρρίκνωση και χαμηλό πορώδες λόγω της μετανάστευσης του νερού από το κέντρο προς την επιφάνεια του υλικού τροφίμου, της διάρρηξης των κυτταρικών τοιχωμάτων, της ζελατινοποίησης αμύλου και της μετουσίωσης πρωτεϊνών, λόγω των εφαρμοζόμενων υψηλών θερμοκρασιών. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της ξήρανσης στον αέρα το μέγεθος των κυττάρων μειώνεται. Το φαινόμενο αυτό επηρεάζει τόσο τον ρυθμό ξήρανσης, όσο και τις δομικές ιδιότητες, επηρεάζοντας κατά συνέπεια και άλλα χαρακτηριστικά των τελικών προϊόντων. Η πιο σημαντική παράμετρος που επηρεάζει σημαντικά τη δομή των υλικών που ξηραίνονται στον αέρα είναι η θερμοκρασία που εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ξήρανσης (Moreira et al., 2010).

Τέλος, κατά την ξήρανση υπό κενό η φαινόμενη πυκνότητα των είναι σημαντικά χαμηλότερη από αυτή των συμβατικά αποξηραμένων τροφίμων. Κατά την ξήρανση υπό κενό η φαινόμενη πυκνότητα των υπό ξήρανση υλικών μειώνεται, ενώ το πορώδες

αυξάνεται όσο μειώνεται η πίεση και η υγρασία του υλικού. Συνεπώς, τα φαινόμενα συρρίκνωσης μπορούν να περιοριστούν όσο μειώνεται η πίεση (Lewicki, 2006; Dev et al., 2012). Κατά την ξήρανση μούρων με θερμό αέρα και με λυοφιλίωση φάνηκε ότι με την λυοφιλίωση η συρρίκνωση των μούρων ήταν σημαντικά μικρότερη (5-15%) ενώ με την ξήρανση με θερμό αέρα η συρρίκνωση έφτανε έως και 80% και με αυτήν την παρατήρηση συμφωνούν και άλλες έρευνες σε διάφορα τρόφιμα (Janckovic, 1993).

Η θεωρία της υαλώδους μετάπτωσης είναι μία από τις προτεινόμενες εξηγήσεις της διαδικασίας συρρίκνωσης και κατάρρευσης κατά την ξήρανση. Σύμφωνα με αυτή την θεωρία, υπάρχει αμελητέα κατάρρευση (περισσότεροι πόροι) στο τρόφιμο εάν υποβληθεί σε επεξεργασία κάτω από το εύρος θερμοκρασίας υαλώδους μεταπτώσεως και όσο μεγαλύτερη η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας της ξήρανσης και της θερμοκρασίας υαλώδους μεταπτώσεως, τόσο μεγαλύτερη είναι η κατάρρευση (Rahmad, 2007). Για το λόγο αυτό, η συρρίκνωση και η κατάρρευση του υπό ξήρανση τροφίμου είναι σημαντικά πιο συχνή όταν αυτό έχει ξεραθεί με ξήρανση με θερμό αέρα όπου η διαδικασία τελείται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης των τροφίμων (Ratti, 2001). Γενικώς, η θεωρία της υαλώδους μεταπτώσεως δεν ταιριάζει σε όλα τα τρόφιμα. Άλλες έννοιες όπως η επιφανειακή τάση, η δομή, η περιβαλλοντική πίεση και ο μηχανισμός μεταφοράς υγρασίας παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στην εξήγηση του σχηματισμού των πόρων (Rahmad, 2007).

#### **6.4.3. Υφή**

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την υφή περιλαμβάνουν την περιεκτικότητα σε υγρασία, τη σύνθεση, την ποικιλία ή το είδος του τροφίμου, το pH, η ωρίμανση του προϊόντος και οι διαστάσεις του. Η υφή εξαρτάται επίσης από τη μέθοδο ξήρανσης και προεπεξεργασίες που υπόκειται το τρόφιμο (Rahmad, 2007).

#### **6.4.4. Χρώμα**

Η υψηλή θερμοκρασία και ο μεγάλος χρόνος ξήρανσης υποβαθμίζουν το αρχικό χρώμα ενός τροφίμου. Το χρώμα στα τρόφιμα μπορεί να διατηρηθεί με ελάχιστη έκθεση στη θερμότητα ή με εφαρμογή υψηλής θερμοκρασίας και σύντομου χρόνου ξήρανσης με ρύθμιση του pH (Rahmad, 2007). Σε έρευνες που έγιναν, οι χρωματικές παράμετροι  $L^*$ ,  $a^*$  και  $b^*$

βρέθηκαν να επηρεάζονται σημαντικά από τη μέθοδο ξήρανσης. Υλικά που είχαν ξηρανθεί στον αέρα, στο κενό και στο φούρνο μικροκυμάτων προκάλεσαν εκτεταμένο μαύρισμα στα φρούτα και τα λαχανικά, το οποίο εκδηλώθηκε με σημαντική μείωση της παραμέτρου  $L^*$  και αύξηση των παραμέτρων  $a^*$  και  $b^*$ . Η λυοφιλίωση φαίνεται να αποτρέπει τις αλλαγές χρωμάτων, με αποτέλεσμα προϊόντα με βελτιωμένα χρωματικά χαρακτηριστικά (Krokida et al, 2001).

#### **6.4.5. Απώλειες θρεπτικών συστατικών**

Τα περισσότερα θρεπτικά συστατικά, βιταμίνες και μέταλλα είναι θερμοευαίσθητα οπότε κατά την ξήρανση, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών παρατηρείται καταστροφή τους. Μια βιταμίνη που καταστρέφεται με την θέρμανση είναι η βιταμίνη C. (Rahmad, 2007). Σε έρευνα που διενεργήθηκε ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα στους 50, 60 και 70° C φάνηκε στατιστικά σημαντική υποβάθμιση των βιταμινών C και D ανάλογη με την αύξηση της θερμοκρασίας. Έχει φανεί ότι η απώλεια βιταμίνης A και C κατά την ξήρανση θα μπορούσε να αποφευχθεί απουσία οξυγόνου. Το ίδιο συνέβη και για τα μέταλλα που υπάρχουν στο κρεμμύδι όπως νάτριο, κάλιο, ασβέστιο και φώσφορος όπου με την ξήρανση σημειώθηκε μείωση της ποσότητας τους ανάλογη με την αύξηση της θερμοκρασίας (Ojalusi, 2014).

Περνώντας στα αμινοξέα, παρόλο που τα περισσότερα αμινοξέα είναι αρκετά ανθεκτικά στη θέρμανση-ξηρανση, η λυσίνη είναι αρκετά ασταθής στη θερμότητα και πιθανόν να είναι οριακή ή χαμηλή στη διατροφή των ανθρώπων και ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου οι υψηλής ποιότητας ζωικές πρωτεΐνες είναι σπάνιες και ακριβές (Rahmad, 2007).

Όσον αφορά τις πολυφαινόλες και τα αντιοξειδωτικά συστατικά γενικότερα οι Miranda et al., πραγματοποίησαν ξήρανση σε κινόα με κοινό εργαστηριακό ξηραντήρα σε θερμοκρασίες από 40°C έως 80°C και χρόνους από 150 έως 420 λεπτά μέχρι τα δείγματα να φτάσουν σε συγκεκριμένο βάρος και η έρευνα έδειξε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης είχε σημαντική επίδραση στη συνολική περιεκτικότητα σε φαινολικές ουσίες στα δείγματα, οδηγώντας σε αξιοσημείωτη μείωση σε αυτά τα συστατικά, ειδικά σε υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. 60, 70 και 80 °C). Απώλειες στην ολική ποσότητα πολυφαινολών λόγω θερμικής αποδόμησης έχουν επίσης αναφερθεί από άλλους συγγραφείς όπως οι Chan et al, όπου μελέτησαν την επίδραση διαφόρων μεθόδων ξήρανσης σε φύλλα και τσάι

από τζίντζερ. Σε αυτήν την έρευνα βρέθηκε ότι όλοι οι τρόποι θερμικής ξήρανσης οδήγησαν σε μείωση των ολικών πολυφαινολών και της αντιοξειδωτικής ικανότητας (Chan et al., 2009). Επιπλέον, οι μειώσεις των ολικών πολυφαινολών κατά την ξήρανση μπορεί να αποδοθούν στη δέσμευση πολυφαινολών με άλλες ενώσεις (πρωτεΐνες) ή στις αλλαγές στη χημική δομή των πολυφαινολών που δεν μπορούν να εκχυλιστούν και να προσδιοριστούν με τις διαθέσιμες μεθόδους. (Miranda et al, 2010). Τέλος, σε μια άλλη έρευνα μελετήθηκε η θερμοκρασία ξήρανσης σε κοινό ξηραντήρα ρεύματος αέρα με ροή αέρα 2m/s για τη ξήρανση παραπροϊόντων πορτοκαλιού μέχρι αυτά να φτάσουν σε συγκεκριμένα επίπεδα υγρασίας. Η υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα είτε για φλούδα είτε για την πούλπα προσδιορίστηκε όταν η ξήρανση έγινε στους 60°C. Το στέγνωμα σε υψηλότερες θερμοκρασίες (δηλαδή 80 και 90°C) ή σε θερμοκρασίες που συνεπάγονται μεγαλύτερους χρόνους στεγνώματος (δηλαδή 30 και 40°C) προήγαγε μια μείωση της αντιοξειδωτικής ικανότητας (Garau et al, 2007).

## **7<sup>ο</sup> Κεφάλαιο**

### **7. Υφή τροφίμων**

#### **7.1. Γενικά**

Η υφή είναι μια από τις βασικές φυσικές ιδιότητες των τροφίμων που καθορίζει την ποιότητα, τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και την αποδοχή του τροφίμου από τον καταναλωτή. Τα τρόφιμα παρουσιάζουν μοναδικά χαρακτηριστικά υφής τα οποία επηρεάζονται από παράγοντες όπως η σύσταση τους, η επεξεργασία και η ωριμότητα. Η υφή μπορεί να μετρηθεί με περιγραφικές οργανοληπτικές μεθόδους οι οποίες είναι υποκειμενικές ή με ενόργανες μεθόδους που είναι περισσότερο αντικειμενικές (Λάζου, 2019, Bourne, 2002).

#### **7.2. Μέθοδοι μέτρησης της υφής τροφίμων**

Οι μέθοδοι μέτρησης της υφής περιλαμβάνουν την συμπίεση, την διάτρηση, την διάτμηση, την κάμψη και άλλες, είναι καταστρεπτικές και συνήθως ο τρόπος μέτρησης γίνεται μέσω εφαρμογής ενός φορτίου στο υπό μέτρηση τρόφιμο. Παρακάτω θα αναλυθούν κάποιες από την συχνά χρησιμοποιούμενες μεθόδους ανάλυσης της υφής (Λάζου, 2019, Bourne, 2002).

##### **7.2.1. Συμπίεση**

Η συμπίεση (compression) συνήθως εφαρμόζεται σε κυλινδρικά δείγματα και σε άθικτα δείγματα καλά καθορισμένης γεωμετρίας. Η American Society of Agricultural and Biological Engineers έδειξε ότι στην περίπτωση κυλινδρικών δειγμάτων η συμπίεση που υφίσταται το δείγμα είναι με μονοαξονική φόρτιση. Η δοκιμή συμπίεσεως μετράει είτε την απόσταση (βάθος) που συμπιέζεται ένα δείγμα όταν υπόκεινται σε μια συγκεκριμένη δύναμη συμπίεσεως είτε την δύναμη η οποία χρειάζεται να εφαρμοστεί στο δείγμα για να συμπιεστεί ως μια συγκεκριμένη απόσταση (Λάζου, 2019, Bourne, 2002).

##### **7.2.2. Θραύση και κάμψη**

Η δοκιμή θραύσεως και κάμψεως υπολογίζει την δύναμη που χρειάζεται να εφαρμοστεί για να λυγίσει ή να σπάσει το εύθραυστο τρόφιμο όπως πχ φρυγανιές ή κράκερ. Το δείγμα τοποθετείται οριζόντια σε δύο κάθετες ράβδους που το στηρίζουν και μια τρίτη ράβδος που βρίσκεται σε ίση απόσταση από τις άλλες δύο είναι τοποθετημένη πάνω από το

δείγμα και χαμηλώνει μέχρι να σπάσει το δείγμα και υπολογίζεται η απαραίτητη δύναμη (Λάζου, 2019, Bourne, 2002).

### **7.2.3. Ανάλυση Αναπαραστάσεως Υφής (TPA, Texture Profile Analysis)**

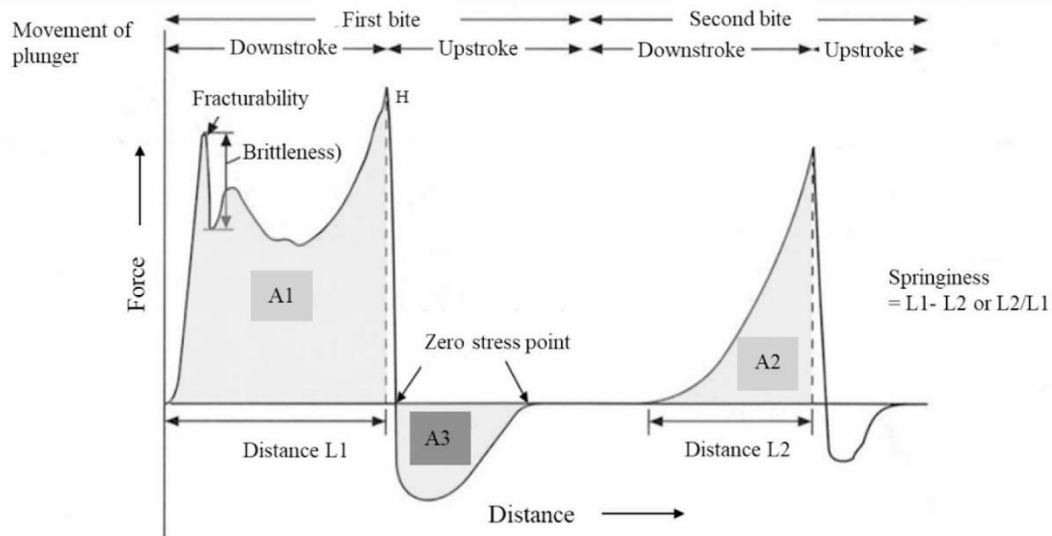
Κατά την δοκιμή αυτή, η οποία, μιμείται την ανθρώπινη μάσηση, ένα δείγμα τροφίμου συγκεκριμένου μεγέθους και σχήματος τοποθετείται σε μια βάση (πλάκα) στην οποία συμπιέζεται και αποσυμπιέζεται δύο φορές από ένα έμβολο συγκεκριμένων διαστάσεων που έχει προσαρμοστεί στο σύστημα μεταδόσεως κινήσεως. Παράλληλα, γίνεται καταγραφή η καμπύλη της δυνάμεως έναντι της παραμορφώσεως από την οποία εξαγονται παράμετροι υφής όπως η προσκολλησιμότητα, η ελαστικότητα, η σκληρότητα, το κομμιώδες, η συνεκτικότητα και η μασητικότητα.

Στην καμπύλη της δυνάμεως έναντι της παραμορφώσεως η σκληρότητα είναι η μέγιστη κορυφή που παρουσιάζεται κατά την πρώτη διείδυση στο δείγμα. Η ελαστικότητα είναι ο χρόνος μεταξύ του τέλους της πρώτης διείδυσης και της αρχής της δεύτερης. Ο λόγος του έργου που καταναλώθηκε κατά τον δεύτερο κύκλο συμπίεσης προς το έργο του πρώτου κύκλου, δηλαδή ο λόγος του εμβαδού της καμπύλης του δεύτερου κύκλου προς το εμβαδόν του πρώτου κύκλου αποτελεί την συνεκτικότητα. Το εμβαδόν που τυχόν μπορεί να υπάρχει στην αρνητική μεριά του διαγράμματος ορίζεται ως προσκολλησιμότητα. Το κομμιώδες προκύπτει από το γινόμενο της σκληρότητας επί την συνεκτικότητα, ενώ η μασητικότητα αντιπροσωπεύεται από το γινόμενο του κομμιώδους επί την ελαστικότητα.

Οι έννοιες των παραπάνω όρων συνοψίζονται παρακάτω:

- **Σκληρότητα:** Η απαιτούμενη δύναμη για να συμπιεστεί ένα τρόφιμο μεταξύ των γομφίων του στόματος.
- **Ελαστικότητα:** Το πόσο ένα συμπιεσμένο τρόφιμο επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση, όταν πάψει να υφίσταται το φορτίο.
- **Προσκολλησιμότητα:** Η ενέργεια που απαιτείται για να αποκολληθεί ένα τρόφιμο από μια επιφάνεια.
- **Συνεκτικότητα:** Η δύναμη των δεσμών που συγκροτούν ένα τρόφιμο.
- **Μασητικότητα:** Η ενέργεια που απαιτείται για να μασηθεί ένα τρόφιμο μέχρι να είναι έτοιμο για κατάποση.

- Κομμώδες: Η ενέργεια που απαιτείται για να διασπαστεί –αποσυντεθεί ένα τρόφιμο μέχρι να είναι έτοιμο για κατάποση.



Values specified by the Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan  
 1) Hardness: H (N/m<sup>2</sup>) Stress at maximum deformation in the first byte  
 2) Adhesiveness: A3 (J/m<sup>3</sup>)  
 3) Cohesiveness: A2/A1 (non-dimension)

**Εικόνα 6:** Αντιπροσωπευτική καμπύλη ανάλυσης υφής και ορισμός/υπολογισμός παραμέτρων υφής (Funami et al., 2022)



## ΣΚΟΠΟΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Τα τελευταία χρόνια οι καταναλωτές φαίνεται ότι δίνουν μεγαλύτερη σημασία στα προϊόντα υψηλής διατροφικής αξίας. Τα προϊόντα από άμυλο αποτελούν την βάση της διατροφής του σύγχρονου ανθρώπου, όμως, είναι τρόφιμα λειψά σε θρεπτικά συστατικά όπως βιταμίνες και αντιοξειδωτικά, ενώ είναι πλούσια σε απλούς υδατάνθρακες και λιπαρά και γι' αυτό χαρακτηρίζονται ως τρόφιμα χαμηλής διατροφικής αξίας. Συγχρόνως, λόγω της αύξησης του επιπολασμού της δυσανεξίας στην γλουτένη, η οποία οδηγεί στην κοιλιοκάκη και σε άλλα προβλήματα υγείας, αλλά και της γενικότερης προσκόλλησης του πληθυσμού σε δίαιτες με κατανάλωση προϊόντων «ελεύθερων από γλουτένη ή γαλακτοκομικά κ.λ.π. είναι ζωτικής σημασίας για την παγκόσμια αγορά τροφίμων να αναπτυχθούν τρόφιμα με βάση το άμυλο, τα οποία θα είναι περισσότερο θρεπτικά σε σχέση με τα συμβατικά και παράλληλα θα καλύπτουν και ανάγκες όπως το «ελεύθερο γλουτένης» ή «χορτοφαγικό προϊόν». Όμως, υπάρχουν πολλά εμπόδια στην ανάπτυξη τέτοιου είδους τροφίμου το οποίο θα είναι θρεπτικό και παράλληλα θα έχει και τα κατάλληλα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά έτσι ώστε να είναι αποδεκτό από τους καταναλωτές.

Τα φρούτα είναι ένα πολλά υποσχόμενο υλικό εμπλουτισμού, καθώς τα εκχυλίσματα ή η σκόνη, ακόμα και τα παραπροϊόντα, που προκύπτουν από αυτά περιέχουν μεγάλες ποσότητες θρεπτικών συστατικών όπως πολυφαινόλες, βιταμίνες και φυτικές ίνες. Συγκεκριμένα, το βύσσινο είναι ένα φρούτο το οποίο περιέχει υψηλή ποσότητα πολυφαινολών και συγκεκριμένα ανθοκυανινών, οι οποίες μέσα από έρευνες έχει φανεί ότι προσφέρουν πολλά οφέλη για την ανθρώπινη υγεία.

Για τους παραπάνω λόγους, σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η ανάπτυξη τροφίμου με βάση το άμυλο, το οποίο θα είναι εμπλουτισμένο με βιοδραστικά συστατικά από σκόνη και εκχύλισμα βύσσινου και παράλληλα θα είναι ελεύθερο γλουτένης και χορτοφαγικό. Μέσα από την παρούσα έρευνα, είναι σκόπιμο να αναδειχθούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των υλικών εμπλουτισμού με τα βασικά υλικά του τροφίμου και πως ο εμπλουτισμός επηρεάζει τις φυσικοχημικές ιδιότητές του (pH, υγρασία, χρώμα), τις θερμικές ιδιότητες (ζελατινοποίηση και αναδιάταξη του αμύλου), αλλά και την υφή, όπως και η επίδραση δύο ειδών ξήρανσης (ρεύματος θερμού αέρα και υπό κενό), οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή του τροφίμου, στην βιοπροσβασιμότητα των βιοδραστικών συστατικών, την αντιοξειδωτική ικανότητα και την υφή του τελικού τροφίμου.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

#### 1. Υλικά και μέθοδοι

##### 1.1. Προσδιορισμός βέλτιστης σύνθεσης, θερμικών και φυσικοχημικών ιδιοτήτων του ζυμαριού

##### 1.1.1. Παρασκευή ζυμαριών

###### Σκοπός:

Πραγματοποιήθηκαν πιλοτικές μετρήσεις ούτως ώστε να προσδιοριστεί η επιθυμητή σύσταση του ζυμαριού αναφορικά με το επίπεδο προσθήκης των βασικών συστατικών : άμυλο, υδροκολλοειδές και το νερό. Για τον σκοπό αυτόν χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικής βοτανικής προέλευσης είδη αμύλου (πατάτας και καλαμποκιού) και τρία διαφορετικά είδη υδροκολλοειδούς (κόμμα ξανθάνης, κ-καραγενάνη και αραβικό κόμμα) σε συγκεκριμένες ποσότητες. Επιπλέον, αξιολογήθηκε και η χρήση δύο διαφορετικών παραγόντων διόγκωσης (μαγιά και baking powder). Έπειτα από πιλοτικές μετρήσεις των παραμέτρων υφής και ρεολογίας των παρασκευασθέντων ζυμαριών, επιλέχθηκε το άμυλο καλαμποκιού, η πρωτεΐνη αρακά και το κόμμα ξανθάνης, σαν βασικά συστατικά για την παραγωγή του τελικού ζυμαριού. Η τελική τροποποίηση της βασικής σύστασης του ζυμαριού αφορούσε την ποσότητα προσθήκης του κόμμεως ξανθάνης, όπου αξιολογήθηκαν 3 διαφορετικές ποσότητες (0.5, 0.8 και 1 g). Έπειτα, από πιλοτικές μετρήσεις και εφαρμογές τρισδιάστατης εκτύπωσης, απορρίφθηκε η χρήση ξανθάνης σε ποσοστό 1%, λόγω της αδυναμίας εξώθησης κατά την τρισδιάστατη εκτύπωση. Τα τελικά ζυμάρια, εμπλουτίστηκαν με προσθήκη λυοφιλιωμένης σκόνης και λυοφιλιωμένου εκχυλίσματος βύσσινου και αξιολογήθηκαν ως βιομελάνια για την τρισδιάστατη εκτύπωση με την ακριβή σύσταση τους να αποτυπώνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3).

###### Υλικά-Αντιδραστήρια:

- ✓ Άμυλο καλαμποκιού (Starch from corn), Sigma-Aldrich, Χαρακτηριστικά: Άσπρη σκόνη, Σύσταση: Υγρασία  $\leq 15.0$  %, pH = 4,0 – 7,0
- ✓ Πρωτεΐνη αρακά (Προμηθευτής: KIRPITSAS INGREDIENTS), Βιολογική πρωτεΐνη Αρακά 80% Χαρακτηριστικά: Μπεζ-Κίτρινη σκόνη Μέγεθος σωματιδίων: 150  $\mu\text{m}$  (100 mesh)

- ✓ Κόμμι ξανθάνης (Xanthan gum from *Xanthomonas campestris*), Sigma-Aldrich, Χαρακτηριστικά: Μπεζ-λευκή σκόνη, Σύσταση: Ιξώδες: 25-70 mPa.s, 1% in H<sub>2</sub>O (25°C)
- ✓ Σκόνη λυοφιλιωμένου βύσσινου και λυοφιλιωμένο εκχύλισμα βύσσινου
- ✓ Ξηρή μαγιά
- ✓ Baking powder
- ✓ Έξτρα Παρθένο Ελαιόλαδο
- ✓ Ζάχαρη
- ✓ Αλάτι
- ✓ Νερό

Ποσότητες-Αναλογίες:

**Πίνακας 3:** Ποσότητες υλικών παρασκευής ζυμαριών

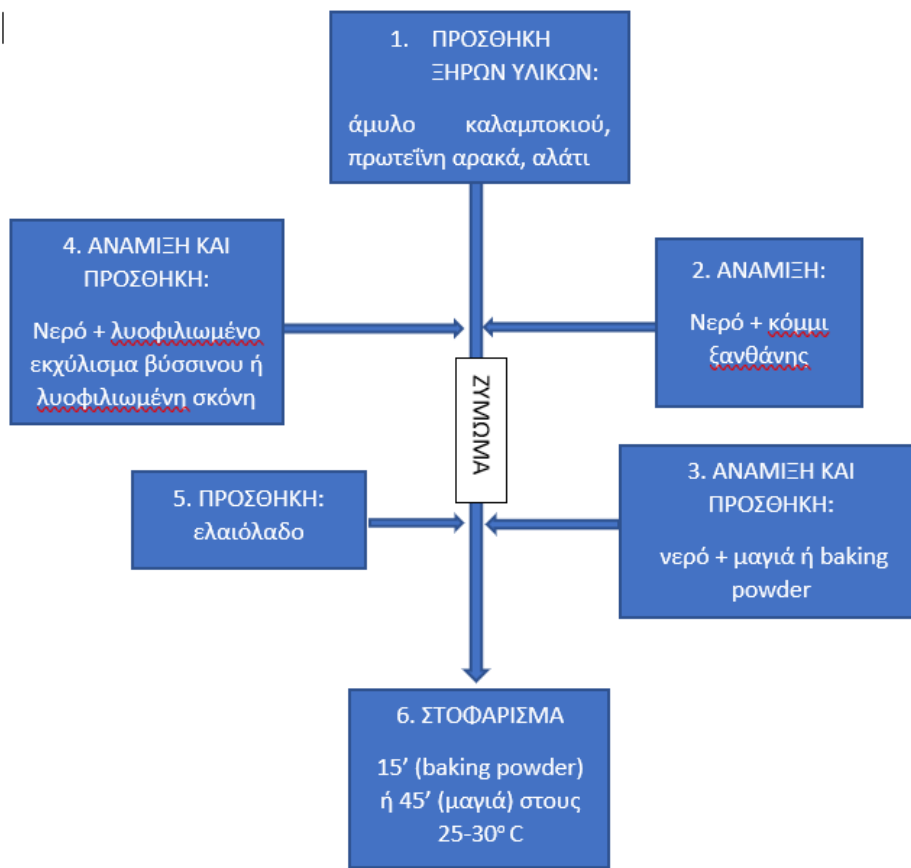
Συστατικά (g)	C.Y.a	C.Y.b	P.Y.a	P.Y.b	LE.Y.a	LE.Y.b	C.B.a	C.B.b	P.B.a	P.B.b	LE.B.a	LE.B.b
Διογκωτικός παράγοντας (g)	Μαγιά						Baking powder					
Άμυλο καλαμποκιού	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
Πρωτεΐνη αρακά	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Κόμμι ξανθάνης	0,5	0,8	0,5	0,8	0,5	0,8	0,5	0,8	0,5	0,8	0,5	0,8
Σκόνη ή λυοφ. εκχ. Βυσσίνου	-	-	5	5	5	5	-	-	5	5	5	5
Μαγιά	2	2	2	2	2	2	-	-	-	-	-	-
Baking powder	-	-	-	-	-	-	4	4	4	4	4	4
Νερό	110	110	110	110	110	110	110	121,5	110	121,5	110	121,5
Ζάχαρη	4	4	4	4	4	4	-	-	-	-	-	-
Αλάτι	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ελαιόλαδο	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Όργανα

- ✓ Ζυγός
- ✓ Γυάλινο μπολ
- ✓ Γυάλινος αναδευτήρας
- ✓ Uroboxes
- ✓ Μεταλλικό κουτάλι
- ✓ Φούρνος για την διαδικασία του στοφαρίσματος

### Αναλυτική διαδικασία:

Σε ένα γυάλινο μπολ προστέθηκαν το άμυλο καλαμποκιού, η πρωτεΐνη αρακά και το αλάτι. Ανάλογα με το είδος του ζυμαριού έγινε προσθήκη στα ξηρά συστατικά, του baking powder ή/και της πούδρας λυοφιλιωμένου βύσσινου. Στην περίπτωση που το ζυμάρι παρασκευαζόταν με μαγιά, προηγούνταν ένα βήμα διάλυσης και ανάδευσης της μαγιάς σε 40 g νερό και παραμονής της στο υδατόλουτρο (40°C , 12-15 min) μέχρι την ενεργοποίησή της. Σε δεύτερο υποδοχέα έγινε προσθήκη του κόμμεως ξανθάνης μαζί με τη σταδιακή προσθήκη της υπόλοιπης ποσότητας κρύου νερού και ακολούθως ανάδευση με σκοπό τη διάλυση του και τη δημιουργία γέλης. Στα ζυμάρια με λυοφιλιωμένο εκχύλισμα βύσσινου πριν την προσθήκη του εκχυλίσματος στα ξηρά συστατικά έγινε επανυδάτωση με μικρή ποσότητα από το νερό. Στην συνέχεια, στα ξηρά συστατικά έγινε προσθήκη της γέλης από το κόμμι ξανθάνης και ακολούθησε ζύμωμα με το χέρι. Έπειτα, προστέθηκε το υδατικό διάλυμα της μαγιάς και ακολούθησε εκ νέου ζύμωμα. Τέλος, προστέθηκε το ελαιόλαδο και ακολούθησε το τελικό ζύμωμα. Το ζυμάρι που δημιουργήθηκε τοποθετήθηκε στην στόφα στους 28-30° C για 15' όταν περιείχε baking powder και 45' όταν περιείχε μαγιά. Μετά το πέρας της διαδικασίας παρασκευής μια μικρή ποσότητα από το ζυμάρι προστέθηκε σε falcon για αποθήκευση σε κατάψυξη στους -80°C και το υπόλοιπο αποθηκεύτηκε σε διαφανή μεμβράνη για να ακολουθήσουν φυσικοχημικές μετρήσεις και η εκτύπωση στον τρισδιάστατο εκτυπωτή.



**Εικόνα 7:** Διάγραμμα ροής παρασκευής ζυμαριών

### 1.1.2. Ξήρανση του βύσσινου και του εκχυλίσματος του υπό κατάψυξη (freeze-drying)

#### Σκοπός

Για να χρησιμοποιηθεί η σκόνη από το βύσσινο και το εκχύλισμά του στην παρασκευή των ζυμαριών πρέπει πρώτα να πραγματοποιηθεί ξήρανση του φρούτου και του εκχυλίσματος για απομάκρυνση της υγρασίας και εν συνεχεία η παραλαβή της σκόνης από το λυοφιλωμένο, πλέον, φρούτο και εκχύλισμα. Για τον σκοπό αυτόν χρησιμοποιήθηκε ξήρανση υπό κατάψυξη διότι με την μέθοδο αυτή, λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας, προστατεύονται τα βιοδραστικά συστατικά του φρούτου και δεν καταστρέφονται.

### Υλικά

- ✓ Κατεψυγμένα βύσσινα
- ✓ Έτοιμο αιθανολικό εκχύλισμα βύσσινου

### Όργανα

- ✓ Uroboxes
- ✓ Parafilm
- ✓ Πορσελάνινο γουδί και γουδοχέρι
- ✓ Μεταλλικό κουτάλι
- ✓ Κόσκινο διατομής 1mm
- ✓ Πλαστικά σακουλάκια με zip
- ✓ Αναλυτικός ζυγός με ακρίβεια 4 δεκαδικών ψηφίων (KERN)
- ✓ Υπερκαταψύκτης -81° C (Igloo, Telstar)
- ✓ Συσκευή λυοφιλίωσης (Scientz-N Series, China)

### Πειραματική διαδικασία

Τα βύσσινα και το εκχύλισμα τοποθετήθηκαν σε υπερκαταψύκτη για 24 ώρες, και στη συνέχεια, μεταφέρθηκαν στον λυοφιλιωτή όπου παρέμειναν για 5 ημέρες μέχρι την πλήρη απομάκρυνση του περιεχόμενου νερού. Τα αποξηραμένα βύσσινα συλλέχθηκαν τοποθετήθηκαν κατά μέρη σε πορσελάνινο γουδί όπου και πραγματοποιήθηκε κατάτμηση μέχρι ότου αυτά να περιέλθουν σε μορφή σκόνης. Για την επίτευξη ομοιόμορφης κατανομής της σκόνης στο ζυμάρι, ακολούθησε το πέρασμα της σκόνης από κόσκινο διατομής 1 mm. Η συλλεχθείσα σκόνη εν συνεχεία τοποθετήθηκε σε σακουλάκια που κλείνουν, τα οποία τοποθετήθηκαν στον καταψύκτη τροφίμων για μελλοντική χρήση κατά την παρασκευή των ζυμαριών. Το λυοφιλιωμένο εκχύλισμα παρέμεινε στα uroboxes και αποθηκεύτηκε στον καταψύκτη τροφίμων για μελλοντική χρήση.

### 1.1.3. Προσδιορισμός φυσικοχημικών ιδιοτήτων του βέλτιστου ζυμαριού

#### 1.1.3.1. Προσδιορισμός χρώματος

##### Σκοπός

Κατά την παρασκευή των ζυμαριών έγινε προσδιορισμός του χρώματος τους πριν και μετά την τοποθέτησή τους στην στόφα (45 λεπτά για τα ζυμάρια με μαγιά και 15 λεπτά για τα ζυμάρια με baking powder σε θερμοκρασία 27-29°C), έτσι ώστε να δειχθεί το πως επηρεάζει η προσθήκη πούδρας ή εκχυλίσματος του βύσσινου, το pH που αλλάζει ανάλογα με την προσθήκη μαγιάς ή baking powder και η διαδικασία του στοφαρίσματος στο χρώμα του ζυμαριού.



**Εικόνα 8:** Χρωματόμετρο (Spectrometer CM-5, Konika Minolta)

##### Όργανα

- ✓ Χρωματόμετρο (Spectrometer CM-5, Konika Minolta)

##### Αναλυτική διαδικασία

Πριν ξεκινήσει η μέτρηση του χρώματος γίνεται βαθμονόμηση του οργάνου με βάση της οδηγίες του κατασκευαστή. Στην συνέχεια, γίνεται προσθήκη μικρής ποσότητας του ζυμαριού μέχρι να καλυφθεί ο υποδοχέας με την βοήθεια της μεταλλικής σπάτουλας και τοποθετείται στην υποδοχή και ακολουθεί η μέτρηση. Από το μηχάνημα πραγματοποιούνται μετρήσεις των παραμέτρων L, a, b, C, h. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για κάθε ζυμάρει τριπλούν.

Οι παράμετροι εκφράζουν: L\* (100 = λευκό, 0 = μαύρο), a\* (- τιμή = πράσινο, + τιμή = κόκκινο) and b\* (- τιμή = μπλε, + τιμή = κίτρινο)

Η διαφορά χρώματος μεταξύ των μη-εμπλουτισμένων δειγμάτων και των εμπλουτισμένων προσδιορίστηκε με την εξίσωση:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \text{ (Sant'Anna, et al., 2014)}$$

Εξίσωση 1: Προσδιορισμός διαφοράς χρώματος

Όπου  $\Delta L = L^*$  μη-εμπλουτισμένου ζυμαριού -  $L^*$  εμπλουτισμένου ζυμαριού,  $\Delta a^* = a^*$  μη-εμπλουτισμένου ζυμαριού -  $a^*$  εμπλουτισμένου ζυμαριού,  $\Delta b^* = b^*$  μη-εμπλουτισμένου ζυμαριού -  $b^*$  εμπλουτισμένου ζυμαριού

### 1.1.3.2. Προσδιορισμός pH

#### Σκοπός

Ο προσδιορισμός του pH του ζυμαριού



Εικόνα 9: Πεχάμετρο (SI Analytics Lab 845)

#### Όργανα

- ✓ Πεχάμετρο (SI Analytics Lab 845)
- ✓ Μαγνητικός θερμαινόμενος αναδευτήρας (Stuart Scientific)
- ✓ Μαγνήτης ανάδευσης
- ✓ Ποτήρι ζέσεως
- ✓ Ογκομετρικός κύλινδρος
- ✓ Απιονισμένο νερό



### Διαδικασία

Πριν ξεκινήσει η μέτρηση της οξύτητας γίνεται βαθμονόμηση του οργάνου με βάση της οδηγίες του κατασκευαστή. Σε ογκομετρικό κύλινδρο γίνεται προσθήκη απιονισμένου νερού μέχρι τα 100 ml. Στην συνέχεια το νερό αυτό προστίθεται στο ποτήρι ζέσεως μαζί με μικρή ποσότητα από το ζυμάρι που θα μετρηθεί. Το ποτήρι ζέσεως μεταφέρεται στον μαγνητικό αναδευτήρα και παράλληλα τοποθετείται και το ηλεκτρόδιο στο ποτήρι ζέσεως σε βάθος που να καλύπτεται ακριβώς ο αισθητήρας μέτρησης και παραμένει στο δείγμα μέχρι να σταθεροποιηθεί η ένδειξη της μέτρησης.

#### **1.1.3.3. Προσδιορισμός υγρασίας ζυμαριού σε υγρή βάση**

##### Σκοπός

Ο προσδιορισμός της υγρασίας των ζυμαριών σε υ.β. συναρτήσει της σύστασής τους.

##### Όργανα

- ✓ Φούρνος (Mettler)
- ✓ Περιέκτες αλουμινίου
- ✓ Αναλυτικός ζυγός 4 δεκαδικών (Ohaus)

### Διαδικασία

Ζυγίστηκε στον αναλυτικό ζυγό συγκεκριμένη ποσότητα ζυμαριού που είχε τοποθετηθεί σε ειδικούς περιέκτες αλουμινίου αφού είχαν ζυγιστεί αυτοί για να ληφθεί το απόβαρο. Στην συνέχεια οι περιέκτες με τα ζυμάρια τοποθετήθηκαν σε φούρνο που κλείνει αεροστεγώς στους 115°C για 24 ώρες. Μετά το πέρας των 24 ωρών τα ζυμάρια ζυγίστηκαν στον ίδιο ζυγό και προσδιορίστηκε η περιεκτικότητα υγρασίας σε υγρή βάση με τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Υγρασία} = \left( \frac{\text{Βάρος}_{\pi+\nu.\zeta.} - \text{Βάρος}_{\pi+\xi.\zeta.}}{\text{Βάρος}_{\pi+\nu.\zeta.} - \text{Βάρος}_{\pi}} \right)$$

*Εξίσωση 2: Προσδιορισμός περιεκτικότητας υγρασίας σε υγρή βάση*

*$\pi$ =περιέκτης,  $\xi.\zeta.$ = ξηρό ζυμάρι,  $\nu.\zeta.$ = νωπό ζυμάρι*

#### 1.1.4. Προσδιορισμός θερμικών ιδιοτήτων του βέλτιστου ζυμαριού με Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης (DSC)

##### Σκοπός

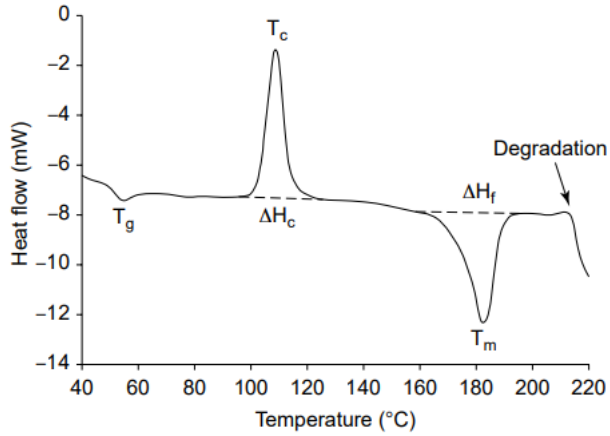
Ο προσδιορισμός της θερμικής σταθερότητας και ειδικότερα των παραμέτρων που σχετίζονται με το φαινόμενο της ζελατινοποίησης και της αναδιάταξης του αμύλου, για τη μελέτη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των βιοπολυμερών και της σκόνης/ λυοφιλιωμένου εκχυλίσματος βύσσινου.

##### Όργανα

- ✓ Συσκευή Διαφορικής Θερμιδομετρίας Σάρωσης DSC 6000 (Perkin Elmer)
- ✓ Ψυκτική Μονάδα Intracooler
- ✓ Universal Crimper Press (Perkin Elmer)
- ✓ Αλουμινένια Καψίδια (pans & covers)
- ✓ Υπολογιστικό πρόγραμμα: Pyris Software 6000

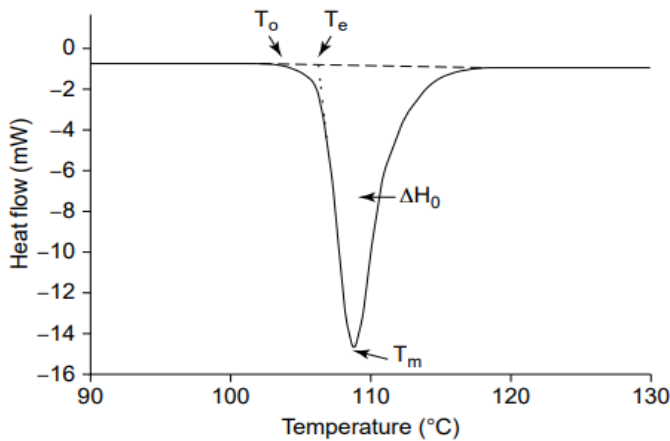
##### Αναλυτική Διαδικασία:

Για κάθε μέτρηση πραγματοποιήθηκε ζύγιση 8-10 mg των δειγμάτων ζυμαριών με τα διάφορα συστατικά σε καψύλια αλουμινίου. Ένα άδειο σφραγισμένο ερμητικά καψύλιο αλουμινίου, χρησιμοποιήθηκε ως δείγμα αναφοράς. Εν συνεχεία τα δείγματα σφραγίστηκαν ερμητικά και αναλύθηκαν (Ημέρα 0). Στην συνέχεια, αποθηκεύτηκαν σε συμβατικό ψυγείο στους 4° C έτσι ώστε να ερευνηθεί η αναδιάταξη του αμύλου και αναλύθηκαν εκ νέου στις ημέρες 5 και 10. Όλα τα δείγματα την ημέρα 0 υπέστησαν θερμοκρασιακή σάρωση από τους -40-125°C και τις ημέρες 5 και 10 από τους 10-120° C, με ρυθμό θέρμανσης 10°C/min, όπου καταγράφηκαν οι θερμοκρασίες έναρξης ( $T_o$ ), κορύφωσης ( $T_p$ ), λήξης ( $T_e$ ) της ζελατινοποίησης και η ενθαλπία της ζελατινοποίησης ( $\Delta H_g$ ). Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν εις τετραπλούν. Η βαθμονόμηση του οργάνου DSC έλαβε χώρα με χρήση πρότυπου δείγματος ινδίου. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με τη χρήση του υπολογιστικού προγράμματος Pyris software με ολοκλήρωση των θερμοδιαγραμμάτων που εξάχθηκαν από τις μετρήσεις.



**Εικόνα 10:** Παράδειγμα θερμογραφήματος DSC σουκρόζης (Clas et al., 1999)

$T_g$ : θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης σουκρόζης,  $T_c$ : θερμοκρασία εξώθερμης ανακρυστάλλωσης σουκρόζης,  $\Delta H_c$ : ενθαλπία εξώθερμης αναδιάταξης σουκρόζης,  $T_m$ : θερμοκρασία ενδόθερμης αντίδρασης τήξης σουκρόζης,  $\Delta H_f$ : ενθαλπία τήξης σουκρόζης



**Εικόνα 11:** Παράδειγμα θερμογραφήματος DSC φαρμακευτικής ουσίας (Clas et al., 1999)

$T_o$ : θερμοκρασία έναρξης τήξης της ουσίας,  $T_e$ : προεκτεινόμενη θερμοκρασία έναρξης τήξης της ουσίας,  $T_m$ : θερμοκρασία κορύφωσης τήξης της ουσίας,  $\Delta H_0$ : ενθαλπία του φαινομένου τήξης της ουσίας

## 1.2. Τρισδιάστατη εκτύπωση και ξήρανση των δειγμάτων ζυμαριού

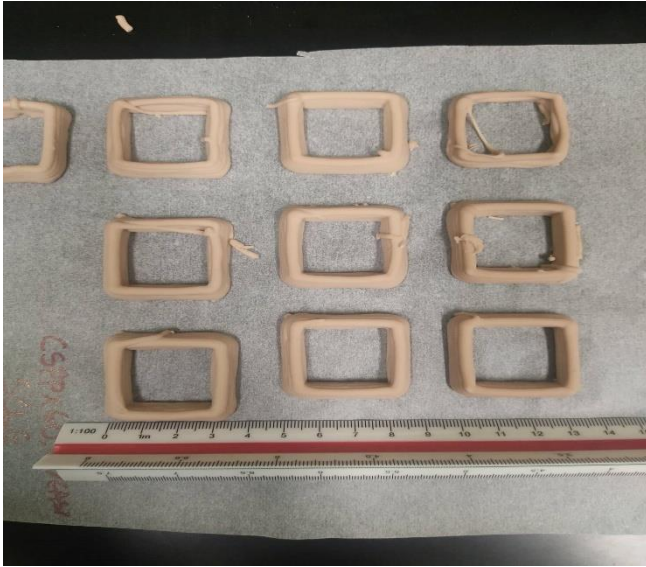
### 1.2.1. Τρισδιάστατη εκτύπωση ζυμαριού με τη χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή με βάση την εξώθηση (Zmorph.VX.2)

#### Σκοπός

Η εύρεση των βέλτιστων συνθηκών εκτύπωσης των βιομελανιών. Εξετάστηκαν οι παράμετροι της ρευστότητας σε εύρος 60-85%, το ύψος και ο αριθμός των στρώσεων, η ταχύτητα του ακροφύσιου, η ταχύτητα της εκτύπωσης κ.α. και επιλέχθηκαν οι βέλτιστες συνθήκες για το κάθε είδος ζυμαριού. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι βέλτιστες συνθήκες τρισδιάστατης εκτύπωσης ήταν όμοιες, όμως, σε κάποιες περιπτώσεις έγιναν τροποποιήσεις ανάλογα με την ρευστότητα του βιομελανιού (ζυμάρι) και την δυνατότητα εκτύπωσής του.



**Εικόνα 12:** Τρισδιάστατος εκτυπωτής (Zmorph.VX.2) και σύριγγα εξώθησης



**Εικόνα 13:** Δείγματα εκτυπωμένων ζυμαριών

### **1.2.2. Ξήρανση των εκτυπωμένων ζυμαριών**

#### Σκοπός

Η ξήρανση των εκτυπωμένων δειγμάτων ζυμαριού σε ρεύμα αέρα (tray drier) και υπό κενό (vacutherm) και η διερεύνηση της επιρροής της ξήρανσης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά και στην ποσότητα ολικών φαινολικών συστατικών και αντιοξειδωτικής ικανότητας των δειγμάτων.

#### Όργανα

- ✓ Εργαστηριακός ξηραντήρας με ράφια (UOP8 Tray Drier της εταιρίας Armfield)
- ✓ Εργαστηριακός ξηραντήρας κενού (Vacutherm, Heraus Instruments)
- ✓ Θερμόμετρο υδραργύρου
- ✓ Εργαστηριακό θερμόμετρο



**Εικόνα 14:** Ξηραντήρας ρεύματος θερμού αέρα με ράφια (UOP8 Tray Drier/Armfield)



**Εικόνα 15:** Ξηραντήρας κενού (Vacuotherm/Heraeus Instruments)

### Αναλυτική διαδικασία

Μετρήθηκαν οι διαστάσεις (μήκος, ύψος με απλό χάρακα και πάχος ύψος με παχύμετρο) και το αρχικό βάρος των προς ξήρανση ζυμαριών και τοποθετήθηκαν στον ξηραντήρα με ρεύμα αέρα (tray drier) και στον ξηραντήρα υπό κενό (vacuotherm) όπου ξηράθηκαν για 60 min. Στα δείγματα από τον tray drier γινόταν ζύγιση κάθε 5 min με σκοπό την εύρεση του σημείου όπου ο ρυθμός απώλειας νερού μειωνόταν. Μετά το πέρας των 60 min γινόταν

ζύγιση όλων των δειγμάτων για να βρεθεί η συνολική απώλεια νερού και εκ νέου μέτρηση διαστάσεων για να βρεθεί ο βαθμός συρρίκνωσης.

### **1.3. Ανάλυση υφής των εκτυπωμένων δειγμάτων ζυμαριού**

#### Σκοπός

Πραγματοποιήθηκε ανάλυση υφής με την βοήθεια του αναλυτή υφής Texture Analyzer (TA.XT. Plus Stable Micro Systems) για να προσδιοριστούν οι παράμετροι υφής των ζυμαριών πριν και μετά την ξήρανση και να βρεθεί ο τρόπος επίδρασης των επιμέρους συστατικών του ζυμαριού αλλά και του τρόπου ξήρανσης στις παραμέτρους αυτές.

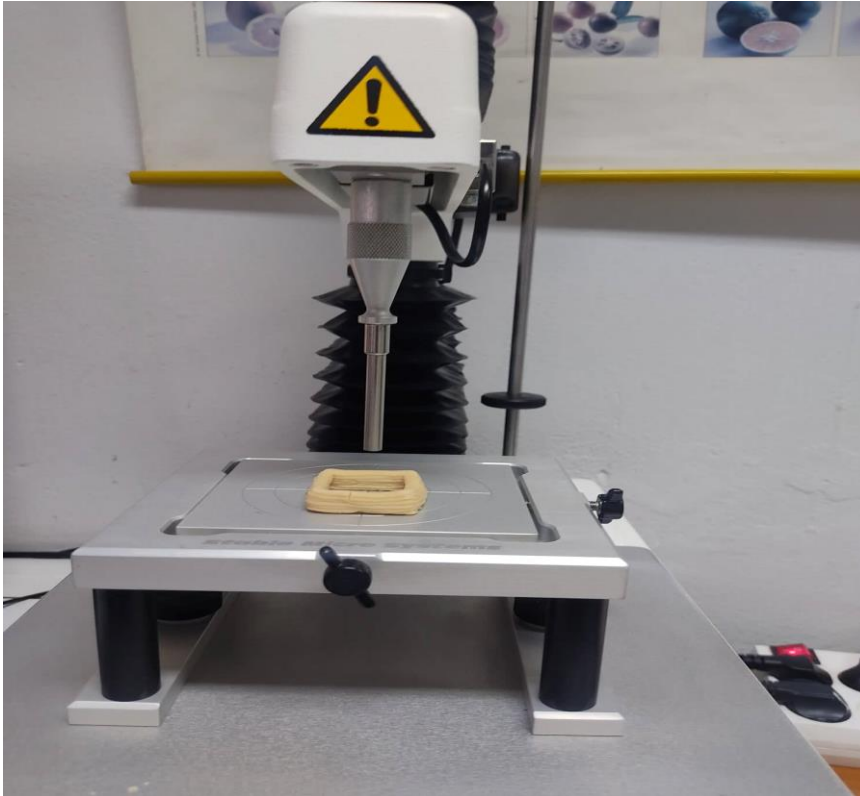
#### Όργανα

- ✓ Αναλυτής υφής Texture Analyzer (TA.XT. Plus Stable Micro Systems)
- ✓ Έμβολο αναλυτή (P/6)
- ✓ Υπολογιστικό πρόγραμμα: Exponent Connect

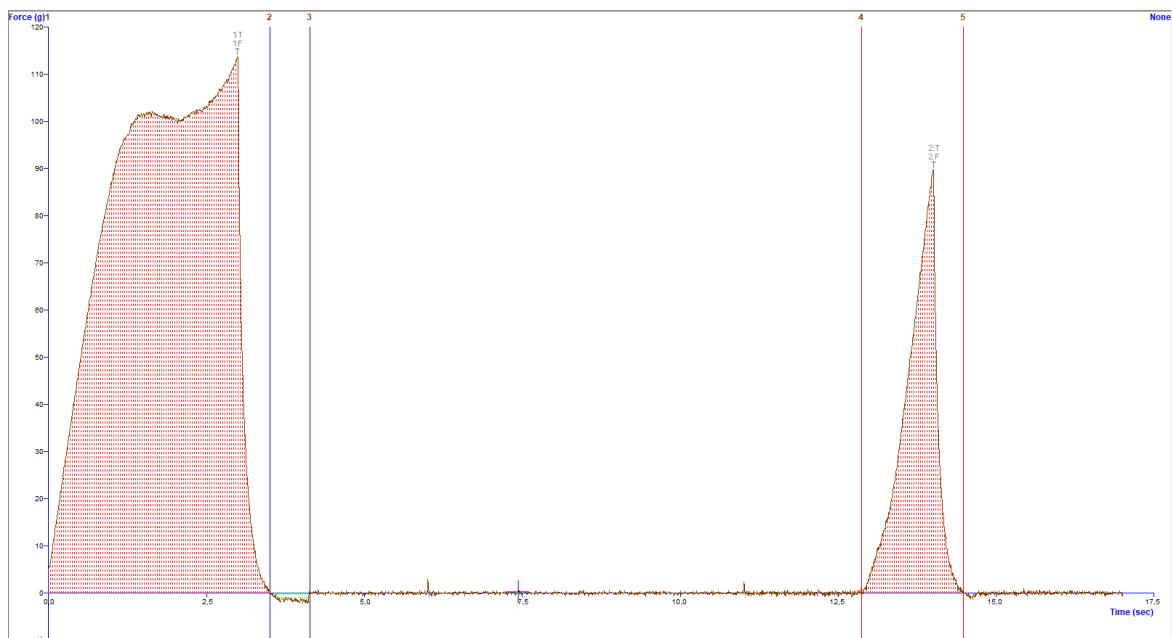
#### Αναλυτική διαδικασία

Για την ανάλυση υφής αρχικά γινόταν άνοιγμα του αναλυτή και του υπολογιστικού προγράμματος Exponent Connect όπου ρυθμίστηκαν οι παράμετροι μέτρησης (ταχύτητα πριν: 1mm/s, μετά: 10 mm/s και κατά τη διάρκεια της συμπίεσης: 1 mm/s και το βάθος της συμπίεσης: 3 mm/s) και επιλέχθηκε το κατάλληλο έμβολο P/6. Για τα νωπά δείγματα επιλέχθηκαν δύο τρόποι μέτρησης, η μονή συμπίεση (one-compression) και η ανάλυση αναπαράστασης υφής (TPA) ενώ για τα εψημένα δείγματα έγινε μόνο ανάλυση μονής συμπίεσης. Κατά την ανάλυση μονής συμπίεσης μπορεί να εξαχθεί συμπέρασμα μόνο για την σκληρότητα του μετρούμενου δείγματος ενώ από την TPA μέσω του διαγράμματος μπορούν να προσδιοριστούν η σκληρότητα, η προσκολλησιμότητα, συνεκτικότητα, κομμίδες, ελαστικότητα με τους παρακάτω τύπους:

- Σκληρότητα (N): Η μέγιστη κορυφή κατά την πρώτη διεύθυνση στο δείγμα (Force 1)
- Συνεκτικότητα: Εμβαδόν 2<sup>ης</sup> καμπύλης (Area 4:5)/ Εμβαδόν 1<sup>ης</sup> καμπύλης (Area 1:2)
- Ελαστικότητα: Απόσταση 2 (Distance 2) / Απόσταση 1 (Distance 1)
- Κομμίδες: Σκληρότητα \* Συνεκτικότητα



**Εικόνα 16:** Μέτρηση παραμέτρων υφής δείγματος εκτυπωμένου ζυμαριού στον αναλυτή υφής (Texture Analyzer TA.XT.Plus Stable Micro Systems)



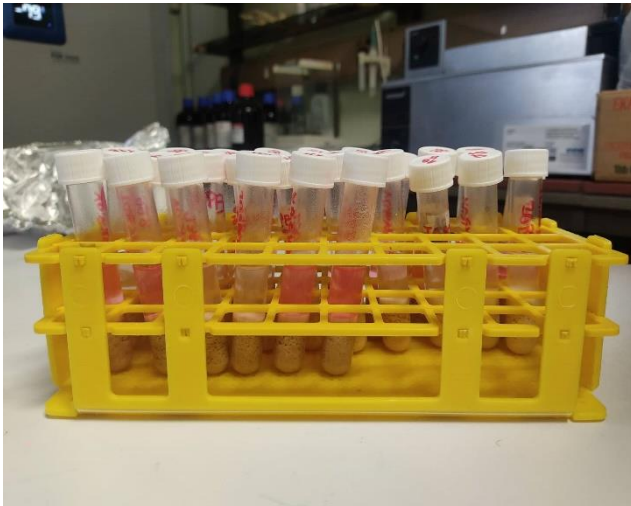
**Εικόνα 17:** Καμπύλη δύναμης-χρόνου από τον αναλυτή υφής με την μέθοδο TPA



#### **1.4. Προσδιορισμός ποσότητας ολικών πολυφαινολών με την μέθοδο Folin-Ciocalteu και της αντιοξειδωτικής ικανότητας με την μέθοδο DPPH<sup>•</sup> στα ξηραμένα δείγματα ζυμαριών.**

##### Σκοπός

Ο προσδιορισμός της ποσότητας ολικών πολυφαινολών και της αντιοξειδωτικής ικανότητας των ζυμαριών μετά την ξήρανση. Ειδικότερα, πραγματοποιήθηκε μελέτη της επίδρασης της θερμικής επεξεργασίας (ξηρανση) στα φαινολικά συστατικά και τα αντιοξειδωτικά που προήλθαν από τον εμπλουτισμό με βύσσινο των ζυμαριών αλλά και την επίδραση των συστατικών του ζυμαριού στα ολικά φαινολικά και στην αντιοξειδωτική ικανότητα.



**Εικόνα 18:** Προετοιμασία δειγμάτων προς εκχύλιση

#### **Εκχύλιση αντιοξειδωτικών ουσιών από κονιορτοποιημένα ξηραμένα δείγματα ζυμαριού**

##### Αντιδραστήρια

- ✓ Διάλυμα 37% υδροχλωρικού οξέος/μεθανόλης/νερού (1/80/10, v/v/v).
- ✓ Λυοφιλιωμένα και κονιορτοποιημένα δείγματα εψημένων ζυμαριών

##### Όργανα

- ✓ Ογκομετρικοί σωλήνες των 10 ml
- ✓ Γυάλινο σιφώνιο

- ✓ Ζυγός ακριβείας, τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων (Analytical Balance Kern ALS 120-4, Kern & Sohn, GmbH, Germany)
- ✓ Επιτραπέζια φυγόκεντρος (HermLe 2320)
- ✓ Περιστροφικός Εξατμιστήρας Κενού (Heidoph Laborata 4000 Efficient)
- ✓ Συσκευή Vortex (ZX3 , Velp Scientifica, Usmate, Italy)

### Αναλυτική διαδικασία

Για την εκχύλιση των αντιοξειδωτικών τα εψημένα δείγματα ζυμαριών πέρασαν από την διαδικασία της λυοφιλίωσης έτσι ώστε να απομακρυνθεί η υγρασία. Το πρωτόκολλο εκχύλισης που πραγματοποιήθηκε ήταν των Conte et al. με κάποιες αναπροσαρμογές (Conte et al., 2020). Συνοπτικά, τα εψημένα δείγματα κονιορτοποιήθηκαν για τη διαδικασία της εκχύλισης και ζυγίστηκαν 2 g σκόνης σε ογκομετρικούς σωλήνες των 10 ml, με χρήση αναλυτικού ζυγού. Στους σωλήνες προστέθηκε με γυάλινο σιφώνιο 4 ml διαλύματος 37% υδροχλωρικού οξέος/μεθανόλης/νερού (1/80/10, v/v/v) και έγινε ανακίνηση στην συσκευή vortex για τουλάχιστον 1 min. Η εκχύλιση έλαβε χώρα σε τράπεζα ανακίνησης, σε συνθήκες σκότους για 2 h. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε φυγοκέντρηση των δειγμάτων στις 3000 στροφές/min για 5 min και συλλογή του υπερκείμενου (εκχύλισμα). Έλαβαν χώρα τρεις ακόμα διαδοχικές εκχυλίσεις με προσθήκη με προσθήκη διαλύματος 37% υδροχλωρικού οξέος/μεθανόλης/νερού (4 mL κάθε φορά), με την προαναφερόμενη διαδικασία εκχύλισης. Ακολούθως, στα εκχυλίσματα των μη εμπλουτισμένων δειγμάτων έγινε εξατμιση του διαλύτη σε περιστροφικό εξατμιστήρα κενού μέχρι τελικού όγκου 4 mL. Τα εκχυλίσματα αποθηκεύθηκαν στους -40°C μέχρι την αξιολόγησή τους.

### **Πειραματικό πρωτόκολλο Folin-Ciocalteu**

#### Αντιδραστήρια

- ✓ Απιονισμένο νερό
- ✓ Αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu (Merck, Darmstadt, Germany)
- ✓ Κορεσμένο διάλυμα ανθρακικού οξέος (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 20%w/v)
- ✓ Πρότυπο διάλυμα γαλλικού οξέος (Sigma Aldrich)

## Όργανα

- ✓ Πιπέτα 10-100  $\mu\text{L}$  (Hirschmann Laborgerate)
- ✓ Πιπέτα 100-1000  $\mu\text{L}$  (Eppendorf Reference)
- ✓ Tips πιπετών
- ✓ Κυψελίδες
- ✓ Συσκευή Vortex (ZX3 , Velp Scientifica, Usmate, Italy)
- ✓ Φασματοφωτόμετρο Διπλής Δέσμης (Analytic Jenna)

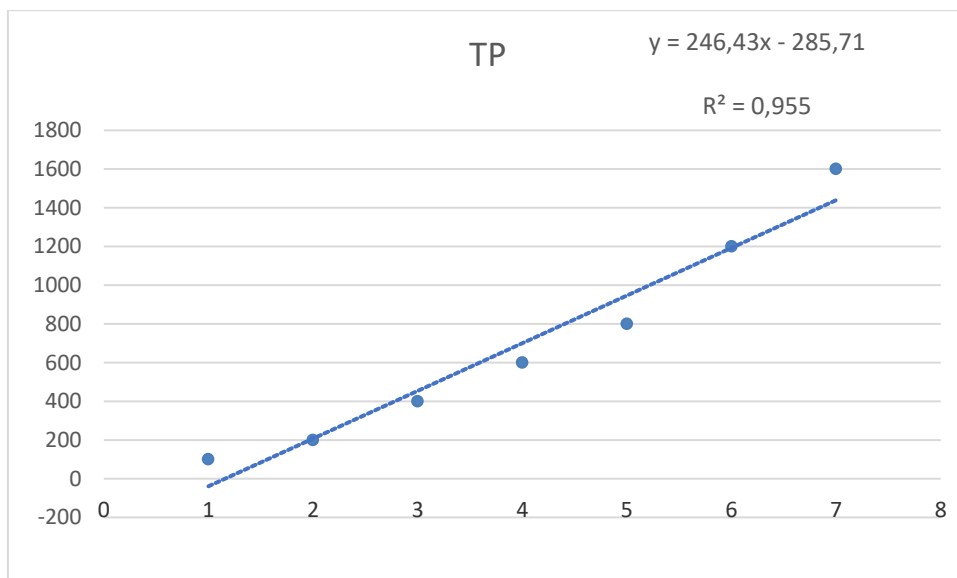
## Αναλυτική διαδικασία

### Μέθοδος Folin-Ciocalteu (TF)

1. Σε σωλήνες Eppendorf προστέθηκαν 0,79 mL απιονισμένο νερό και 0,01 ml από το εκχύλισμα που παραλήφθηκε προηγουμένως.
2. Στο μίγμα προστέθηκε 0,05 mL από το αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu
3. Ανάδευση και παραμονή για 1 min
4. Προστίθενται 0,15 mL διάλυμα  $\text{Na}_2\text{CO}_3$
5. Ανακίνηση και φύλαξη σε σκοτεινό σημείο για 120 min
6. Φωτομέτρηση προϊόντος της αντίδρασης στα 750 nm ως προς δείγμα ελέγχου.
7. Κατασκευή πρότυπης καμπύλης αναφοράς με γαλλικό οξύ (GA):
  - Παρασκευή δείγματος ελέγχου όπου αντί για το εκχύλισμα βάζουμε μεθανόλη.
8. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε mg ισοδυνάμων γαλλικού οξέος (GAE) ανά 100 g. d.w

### Καμπύλη αναφοράς

Από μητρικό μεθανολικό διάλυμα γαλλικού οξέος παρασκευάστηκε με αραιώση διάλυμα εργασίας συγκέντρωσης 1000 Mg/L. Έπειτα, από το διάλυμα εργασίας παρασκευάστηκαν διαλύματα συγκέντρωσης 100, 200, 400, 600, 800, 1200, 1600 Mg/L. Ακολουθήθηκε η ανάλογη πορεία που περιγράφηκε παραπάνω για τον προσδιορισμό του πολυφαινολικού περιεχομένου των δειγμάτων και σχεδιάστηκε η πρότυπη καμπύλη αναφοράς.



**Εικόνα 19:** Πρότυπη καμπύλη αναφοράς ολικών φαινολικών με την μέθοδο Folin-Ciocalteu

### Πειραματικό πρωτόκολλο

#### Υλικά & Αντιδραστήρια

- ✓ DPPH' (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) (Aldrich Chemie GmbH, Steinheim, Germany)
- ✓ Trolox (Aldrich Chemie GmbH, Steinheim, Germany)
- ✓ Απιονισμένο νερό

#### Όργανα

- ✓ Πιπέτα 100-1000 µl (Eppendorf Reference)
- ✓ Tips πιπετών
- ✓ Κυψελίδες
- ✓ Ποτήρι ζέσεως 50 ml
- ✓ Ογκομετρικές φιάλες των 100 ml και 250 ml
- ✓ Συσκευή Vortex (ZX3 Velp Scientifica, Usmate, Italy)
- ✓ Φασματοφωτόμετρο Διπλής Δέσμης (Analytic Jenna)

### Αναλυτική διαδικασία

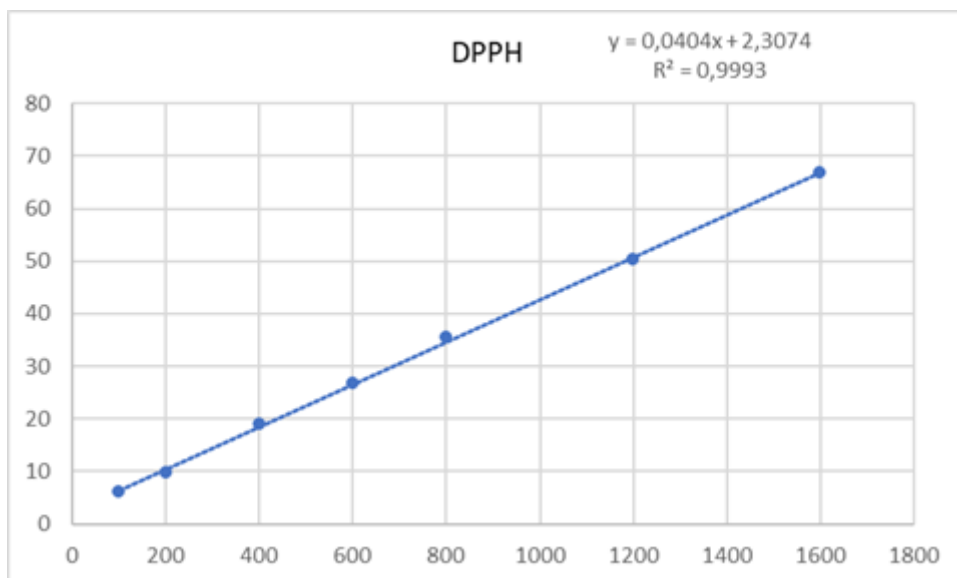
1. Παρασκευή διαλύματος DPPH<sup>-</sup> σε MeOH (100 Mm) ζυγίζοντας 0,0099 g αντιδραστηρίου DPPH<sup>-</sup> και διαλύοντας το σε 250 mL MeOH. Το διάλυμα χωρίστηκε σε falcons των 50 mL και αποθηκεύτηκε στην κατάψυξη.
2. Λήψη 25 mL εκχυλίσματος κονιορτοποιημένων εψημένων ζυμαριών και πρόσθεση 975 mL διαλύματος DPPH<sup>-</sup> σε erpendorfs των 1,5 mL. Η διαδικασία έγινε 3 φορές για επανάληψη φωτομέτρησης και εξαγωγή μέσου όρου των μετρήσεων
3. Έγινε ανάδευση με vortex των erpendorfs και τοποθετήθηκαν υπό σκιά για τουλάχιστον μισή ώρα ώστε να πραγματοποιηθεί η αντίδραση δέσμευσης της ρίζας DPPH<sup>-</sup>.
4. Τοποθέτηση των δειγμάτων σε κυψελίδες και φωτομέτρηση στα 515 nm

Οι τιμές της απορρόφησης των δειγμάτων προσαρμόστηκαν στον παρακάτω τύπο και προέκυψε η % μείωση των ριζών DPPH<sup>-</sup>, δηλαδή το ποσοστό των ριζών που δεσμεύτηκαν από το κάθε δείγμα ως εξής:

Για την αξιολόγηση των μετρήσεων της απορρόφησης κατασκευάστηκε πρότυπη καμπύλη αναφοράς με Trolox και τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως mg Trolox/100 g d.w.

### Καμπύλη αναφοράς

Για την κατασκευή της πρότυπης καμπύλης αναφοράς παρασκευάστηκαν τα πρότυπα διαλύματα Trolox σε MeOH ξεκινώντας από 1600 Mg/L και πηγαίνοντας με διαδοχικές αραιώσεις στις υπόλοιπες συγκεντρώσεις 1200, 800, 600, 400, 200, 100 Mg/L. Ακολουθήθηκε η αναλυτική πορεία που περιγράφηκε παραπάνω για τον προσδιορισμό της αντιοξειδωτικής ικανότητας των δειγμάτων. Για τις μετρήσεις απορρόφησης στα 515 nm υπολογίστηκε η % $\Delta A_{515}$  σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο. Οι τιμές %  $\Delta A_{515}$  και οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις των πρότυπων διαλυμάτων Trolox χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της παρακάτω καμπύλης αναφοράς.



**Εικόνα 20:** Πρότυπη καμπύλη αναφοράς αντιοξειδωτικής ικανότητας με την μέθοδο DPPH

### 1.5. Στατιστική ανάλυση

Τα αποτελέσματα επεξεργάστηκαν με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος SPSS 21 (IBM) με τη χρήση One-Way Anova, post-hoc Duncan test για τον προσδιορισμό στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των δειγμάτων ( $p < 0,05$ ).

## 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

### 2. Αποτελέσματα και συζήτηση

#### 2.1. Ονοματολογία δειγμάτων ζυμαριών

Όλα τα ζυμάρια έχουν ως βασικά υλικά άμυλο καλαμποκιού και πρωτεΐνη αρακά και αλάζει το μέσο διόγκωσης, η ποσότητα υδροκολλοειδούς (κόμμι ξανθάνης) και αν περιέχουν ή όχι σκόνη ή λυοφιλιωμένο εκχύλισμα βύσσινο.

**Σημείωση:** Για τα δείγματα που περιέχουν 0,8 g ξανθάνη και baking powder ως διογκωτικό παράγοντα προστέθηκαν 11,5 ml νερού παραπάνω κατά την παρασκευή τους καθώς ήταν αδύνατη η εκτύπωσή τους. Αυτή η αλλαγή έχει επίδραση στην υγρασία και στην υφή των ζυμαριών.

Παρακάτω εξηγείται η ονοματολογία των δειγμάτων που επιλέχθηκε.

**C**= δείγμα ελέγχου χωρίς σκόνη ή εκχύλισμα

**Y**= yeast (μαγιά)

**B**= baking powder

**a**= 0,5 g ξανθάνη

**b**= 0,8 g ξανθάνη

- **C.Y.a:** control με μαγιά και 0,5 g κόμμι ξανθάνης
- **C.Y.b:** control με μαγιά και 0,8 g κόμμι ξανθάνης,
- **C.B.a:** control με baking powder και 0,5 g κόμμι ξανθάνης,
- **C.B.b:** control με baking powder και 0,8 g κόμμι ξανθάνης,
- **P.Y.a:** σκόνη βύσσινο, μαγιά και 0,5 g κόμμι ξανθάνης ,
- **P.Y.b:** σκόνη βύσσινο, μαγιά και 0,8 g κόμμι ξανθάνης ,
- **P.B.a:** σκόνη βύσσινο, baking powder και 0,5 g κόμμι ξανθάνης,
- **P.B.b:** σκόνη βύσσινο, baking powder και 0,8 g κόμμι ξανθάνης,,
- **LE.Y.a:** λυοφιλιωμένο εκχύλισμα βύσσινο, μαγιά και 0,5 g κόμμι ξανθάνης,
- **LE.Y.b:** λυοφιλιωμένο εκχύλισμα βύσσινο, μαγιά και 0,8 g κόμμι ξανθάνης ,
- **LE.B.a:** λυοφιλιωμένο εκχύλισμα βύσσινο, baking powder και 0,5 g κόμμι ξανθάνης,
- **LE.B.b:** λυοφιλιωμένο εκχύλισμα βύσσινο, baking powder και 0,8 g κόμμι ξανθάνης

## 2.2. Φυσικοχημικές ιδιότητες νωπών ζυμαριών

**Πίνακας 4:** Αποτελέσματα προσδιορισμού περιεκτικότητας υγρασίας σε υ.β, pH και παραμέτρων χρώματος L\*, a\*, b\* νωπών ζυμαριών

ΔΕΙΓΜΑ	Υγρασία σε υ.β.	pH	L*	a*	b*
C.Y.a	0,557±0,00 <sup>b,c</sup>	6,473±0,02 <sup>e</sup>	75,95±0,19 <sup>g,h</sup>	4,8±0,02 <sup>a,b,c</sup>	22,15±0,11 <sup>g</sup>
C.Y.b	0,551±0,00 <sup>b</sup>	6,437±0,02 <sup>d</sup>	73,907±0,34 <sup>e</sup>	5,067±0,04 <sup>b,c</sup>	24,28±0,10 <sup>h</sup>
P.Y.a	0,555±0,00 <sup>b,c</sup>	5,76±0,01 <sup>b</sup>	63,477±1,42 <sup>d</sup>	7,027±0,60 <sup>g</sup>	11,877±0,96 <sup>d</sup>
P.Y.b	0,541±0,01 <sup>a</sup>	5,653±0,02 <sup>a</sup>	62,907±0,47 <sup>d</sup>	7,257±0,40 <sup>g</sup>	10,95±0,41 <sup>c</sup>
LE.Y.a	0,541±0,00 <sup>a</sup>	5,733±0,02 <sup>b</sup>	61,75±0,28 <sup>c</sup>	7,257±0,15 <sup>g</sup>	11,897±0,10 <sup>d</sup>
LE.Y.b	0,544±0,00 <sup>a</sup>	5,857±0,02 <sup>c</sup>	63,747±0,34 <sup>d</sup>	6,52±0,09 <sup>f</sup>	13,69±0,07 <sup>f</sup>
C.B.a	0,559±0,00 <sup>c</sup>	8,51±0,01 <sup>k</sup>	75,477±0,12 <sup>f</sup>	5,263±0,06 <sup>c,d</sup>	24,55±0,11 <sup>h</sup>
C.B.b	0,582±0,00 <sup>e</sup>	8,03±0,01 <sup>j</sup>	76,757±0,16 <sup>g</sup>	4,877±0,12 <sup>a,b,c</sup>	22,587±0,14 <sup>g</sup>
P.B.a	0,554±0,00 <sup>b,c</sup>	7,127±0,01 <sup>h</sup>	58,31±0,17 <sup>b</sup>	5,947±0,19 <sup>e</sup>	6,26±0,13 <sup>a</sup>
P.B.b	0,575±0,00 <sup>d</sup>	7,037±0,01 <sup>f</sup>	57,293±1,20 <sup>a</sup>	5,687±0,39 <sup>d,e</sup>	6,923±0,16 <sup>b</sup>
LE.B.a	0,554±0,00 <sup>b,c</sup>	7,317±0,02 <sup>i</sup>	63,103±0,32 <sup>d</sup>	4,687±0,16 <sup>a,b</sup>	13,583±0,24 <sup>f</sup>
LE.B.b	0,573±0,01 <sup>d</sup>	7,08±0,01 <sup>g</sup>	63,667±0,26 <sup>d</sup>	4,553±0,31 <sup>a</sup>	12,957±0,14 <sup>e</sup>

Οι τιμές είναι ο μέσος όρος ± τυπική απόκλιση (n=3). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από διαφορετικό εκθέτη εντός της ίδιας στήλης διαφέρουν σημαντικά (P < 0,05). Οι συγκρίσεις έγιναν κάθετα με multivariate ANOVA post-hoc test Duncan.

### 2.2.1. Υγρασία νωπών ζυμαριών

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται αντιληπτό ότι η προσθήκη υδροκολλοειδούς δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά (p < 0,05) την περιεκτικότητα υγρασίας σε υ.β. των νωπών ζυμαριών, ενώ η προσθήκη σκόνης και λυοφιλωμένου εκχυλίσματος φρούτου έδειξε μια μικρή αλλά στατιστικά σημαντική (p < 0,05) μείωση στα δείγματα P.Y.b, LE.Y.b, P.B.b, LE.B.b, P.Y.a και LE.Y.a όπου η περιεκτικότητα υγρασίας του δείγματος ελέγχου σε υ.β. ήταν μεγαλύτερη από τα δείγματα που είχε προστεθεί σκόνη ή λυοφιλωμένο εκχύλισμα βύσσινου. Η παραπάνω παρατήρηση μπορεί να εξηγηθεί διότι με την προσθήκη της σκόνης και του λυοφιλωμένου εκχυλίσματος αυξάνονται τα ξηρά υλικά, ενώ η ποσότητα νερού παραμένει ίδια. Επίσης, η μείωση της περιεκτικότητας υγρασίας σε υ.β. των εμπλουτισμένων ζυμαριών μπορεί να οφείλεται στο ότι η σκόνη του βύσσινου περιέχει ένα ποσοστό φυτικών ινών οι οποίες συγκρατούν νερό και το λυοφιλωμένο εκχύλισμα περιέχει μια μικρή ποσότητα αιθανόλης η οποία δημιουργεί αζεοτροπικό μείγμα με το νερό, εξατμίζοντας μια ποσότητα του.



Την ίδια μείωση αλλά όχι στατιστικά σημαντική παρατήρησαν και οι Tolve et al. εμπλουτίζοντας τον άρτο με σκόνη από στέμφυλα. Όσο αυξανόταν η συγκέντρωση της σκόνης έπεφτε η υγρασία από 0,4347 στο δείγμα ελέγχου σε 0,4058 στον άρτο με 10% σκόνη στέμφυλων (Tolve et al., 2021). Από την άλλη υπάρχουν έρευνες που είτε δεν παρατηρούν αλλαγή ή βλέπουν αύξηση στην υγρασία των δειγμάτων σε εμπλουτισμένα με σκόνη φρούτων αρτοποιήματα. Αυτό είναι απόρροια προσθήκης μεγαλύτερου ποσοστού νερού, ανάλογου της αύξησης σε περιεκτικότητα σκόνης, έτσι ώστε να παραμείνουν σταθερές οι ρεολογικές ιδιότητες και η υφή του προϊόντος (Rainero et al., 2022).

### **2.2.2. pH νωπών ζυμαριών**

Με την βοήθεια του πίνακα αποτελεσμάτων για το pH στα νωπά ζυμάρια παρατηρήθηκε εμφανής και στατιστικά σημαντική ( $p < 0,05$ ) διαφορά μεταξύ των ζυμαριών στα οποία χρησιμοποιήθηκε η μαγιά ως διογκωτικός παράγοντας. Ειδικότερα, παρατηρείται μια διακύμανση του pH μεταξύ 5,653-6,473 σε σύγκριση με τα ζυμάρια που παρασκευάστηκαν με baking powder, όπου οι τιμές του pH κυμαίνονται μεταξύ 7,03-8,53. Επίσης, και στις δύο κατηγορίες διογκωτικών παραγόντων προσθέτοντας την σκόνη ή το λυοφιλιωμένο εκχύλισμα το pH πέφτει στατιστικά σημαντικά ( $p < 0,05$ ). Για παράδειγμα, στα δείγματα με 0,5 g ξανθάνη και μαγιά (Y.a) το μη-εμπλουτισμένο ζυμάρι (C.Y.a) έχει pH 6,47 ενώ τα εμπλουτισμένα με σκόνη και λυοφιλιωμένο εκχύλισμα έχουν αντίστοιχα pH 5,76 (P.Y.a) και 5,73 (LE.Y.a).

Γνωρίζοντας ότι το περιβάλλον στη σάρκα του βύσσινου είναι όξινο, είναι αναμενόμενη η πτώση του pH (Pedišić et al., 2007). Το βύσσινο έχει εξαρχής όξινη γεύση λόγω των οργανικών οξέων που περιέχει (Ferreti et al, 2010). Μέσα από έρευνα σε διάφορους γονότυπους βύσσινου βρέθηκε ότι το pH του χυμού τους κυμαινόταν από 3,23-3,65 (Parr et al., 2010). Ωστόσο, η υπάρχουσα βιβλιογραφία που αφορά τον εμπλουτισμό ζυμαριών με εκχυλίσματα ή σκόνη βύσσινου, είναι αρκετά περιορισμένη. Έρευνες που έχουν διεξαχθεί με προσθήκη φρούτων πλούσιων σε οργανικά οξέα όπως το σταφύλι κατέληξαν στο ίδιο συμπέρασμα ότι ο εμπλουτισμός με το όξινο φρούτο μείωσε το pH. Πιο συγκεκριμένα οι Tolve et al., παρατήρησαν ότι η προσθήκη σκόνης στέμφυλων σε ποσοστό 5 και 10% σε άρτο, επέφερε μείωση στο pH του (Tolve et al., 2021). Σε παρόμοιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Rainero et al., όπου η προσθήκη σκόνης κόκκινου στέμφυλου σε ποσοστό 5 και

10% επέφερε σημαντική μείωση στις τιμές του pH σε προϊόντα αρτοποιίας (Rainero et al., 2021).

Η χρήση της μαγιάς ως παράγοντα διόγκωσης σε ζυμάρι, συμβάλει στην πτώση των τιμών του pH, λόγω της παραγωγής CO<sub>2</sub> και άλλων οργανικών οξέων κατά το στάδιο της ζύμωσης (Rezaei et al., 2016). Σε άρτο εμπλουτισμένο με παραπροϊόντα λιναρόσπορου χρησιμοποιήθηκε μαγιά ως διογκωτικός παράγοντας και μετά τη διαδικασία της ζύμωσης το τελικό pH του άρτου διαμορφώθηκε στο 5,06 και παράλληλα ανιχνεύθηκαν ποσότητες οξικού οξέος και αιθανόλης που παράχθηκαν κατά την ζύμωση (Taglieri et al., 2020).

Το baking powder αποτελείται από ανόργανο άλας και ένα ασθενές οξύ. Επηρεάζει το pH του ζυμαριού διότι όταν προστεθεί σε αυτό, παρουσία υγρασίας το όξινο διττανθρακικό νάτριο που υπάρχει στο baking powder αντιδρά με το ασθενές οξύ και απελευθερώνει αέριο διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο αποσυντίθεται σε άλας νατρίου και νερό. Για τον παραπάνω λόγο, το pH του ζυμαριού με baking powder είναι αλκαλικό (Gökmen et al., 2008). Σε αυτό το συμπέρασμα κατέληξαν και οι Otero-Guzmán και η ομάδα του. Κατά την παρασκευή muffin με διογκωτικό παράγοντα διάφορα baking powder του εμπορίου το pH του ψημένου προϊόντος κυμάνθηκε σε τιμές 7,37-7,9. Αυτό συνέβη διότι κατά τη διάρκεια του ψησίματος από το διττανθρακικό νάτριο που περιέχεται στο baking powder σχηματίζει το ανθρακικό νάτριο που είναι πολύ αλκαλικό και τείνει να δώσει υψηλές τιμές pH (Otero-Guzmán et al., 2020).

### **2.2.3. Χρώμα νωπών ζυμαριών**

#### **Παράμετρος L\* (φωτεινότητα-lightness)**

Για την παράμετρο L\* που αναφέρεται στην φωτεινότητα των μετρούμενων δειγμάτων παρατηρήθηκαν διαφορές από την προσθήκη της σκόνης και του εκχυλίσματος βύσσινου (P.B, P.Y, LE.B, LE.Y) σε σχέση με τα δείγματα ελέγχου (C.B, C.Y).

Ξεκινώντας από την προσθήκη σκόνης και λυοφιλιωμένου εκχυλίσματος βύσσινου στα ζυμάρια, αυτή φαίνεται ότι οδηγεί σε στατιστικά σημαντική μείωση του παράγοντα L ( $p < 0,05$ ) και σε ζυμάρια με μειωμένη φωτεινότητα σε σχέση με το δείγμα ελέγχου. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του σκούρου χρώματος της σκόνης και του λυοφιλιωμένου εκχυλίσματος και της ύπαρξης ανθοκυανινών. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Petrovic et al. οι οποίοι ενθουλάκωσαν σε φορείς πρωτεΐνης ορού γάλακτος και πρωτεΐνη σόγιας,

πούλπα από βύσσινα και εμπλούτισαν ζυμάρι για μπισκότα. Με την προσθήκη του ενθυλακωμένου βύσσινου η παράμετρος της φωτεινότητας μειώθηκε σημαντικά και η μείωση αυτή αποδόθηκε στις ανθοκυανίνες που ανιχνεύονται στη πούλπα του βύσσινου (Petrovic et al., 2019). Σε αντίστοιχη έρευνα, που περιλάμβανε τον εμπλουτισμό ζυμαριού με σκόνη από στέμφυλα για παραγωγή άρτου παρατηρήθηκε επίσης μείωση στον παράγοντα φωτεινότητας λόγω του σκούρου χρώματος της σκόνης στέμφυλων (Hayta et al., 2014).

### **Παράμετρος a\* (red/green coordinator)**

Και στον παράγοντα a\* παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μετά τον εμπλουτισμό του ζυμαριού με την σκόνη ή το λυοφιλιωμένο εκχύλισμα βύσσινου. Ο παράγοντας a\* δείχνει πόσο κόκκινο ή πράσινο σε απόχρωση είναι το δείγμα. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε αύξηση του παράγοντα αυτού στα δείγματα που σημαίνει ότι είναι περισσότερο κόκκινο το εμπλουτισμένο ζυμάρι. Το παρόν συμπέρασμα αναμένεται διότι το βύσσινο είναι ένα φρούτο με κόκκινο χρώμα λόγω του υψηλού ποσοστού ανθοκυανινών που ανιχνεύονται σε αυτό.

Μια στατιστικά σημαντική μείωση ( $p < 0,05$ ) σε σχέση με τα ζυμάρια ελέγχου στον παράγοντα a\* παρατηρείται μόνο στα ζυμάρια LE.B.a που σημαίνει ότι τα ζυμάρια που ήταν εμπλουτισμένα με το λυοφιλιωμένο εκχύλισμα βύσσινου είχαν περισσότερο πράσινες αποχρώσεις σε σχέση με τα υπόλοιπα εμπλουτισμένα ζυμάρια, ενώ με τα δείγματα ελέγχου είχαν την ίδια απόχρωση. Μείωση, αλλά όχι στατιστικά σημαντική ( $p > 0,05$ ) υπήρξε και στο αντίστοιχο ζυμάρι LE.B.b. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί με βάση τους Tumbas Šaroujac et al., που αναφέρουν όσον αφορά τις ανθοκυανίνες σε αλκαλικό pH, ότι η απόχρωση τους γίνεται πιο μπλε από κόκκινη που είναι σε όξινο μέσον.

Με την αύξηση αυτή συμφωνούν και οι Petrovic et al., όπου μετά την ενθυλάκωση πούλπας βύσσινου αυξήθηκε ο παράγοντας a\*. Επίσης, φάνηκε αύξηση ανάλογη με την ποσότητα ενθυλακωμένου παράγοντα. Οι ερευνητές απέδωσαν την παρατηρούμενη αυτή αύξηση στην ύπαρξη ανθοκυανινών (Petrovic et al., 2019)

### **Παράμετρος b\* (yellow/blue coordinator)**

Για την παράμετρο b\* παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική μείωση ( $p < 0,05$ ) με την προσθήκη της σκόνης ή του λυοφιλιωμένου εκχυλίσματος σε όλα τα δείγματα που

εμπλουτίστηκαν (P.B, P.Y, LE.B, LE.Y) σε σχέση με τα δείγματα ελέγχου (C.B, C.Y). Ο παράγοντας αυτός δείχνει αν ένα δείγμα έχει κίτρινες ή μπλε αποχρώσεις. Τα δείγματα που εμπλουτίστηκαν είχαν πιο μπλε απόχρωση σε σχέση με τα δείγματα χωρίς εμπλουτισμό. Επίσης, παρατηρήθηκε μεγάλη μείωση του παράγοντα  $b^*$  στα δείγματα με baking powder και σκόνη βύσσινου.

Η περισσότερη μπλε απόχρωση στα εμπλουτισμένα ζυμάρια σε σχέση με τα ζυμάρια ελέγχου είναι αναμενόμενη λόγω του κόκκινου χρώματος του βύσσινου.

#### 2.2.4. Μεταβολή χρώματος εμπλουτισμένων ζυμαριών κατά την διαδικασία του στοφαρίσματος

Κατά την παρασκευή τους τα ζυμάρια περνούσαν από την διαδικασία της στόφας. Η διαδικασία αυτή λάμβανε χώρα στον φούρνο σε θερμοκρασία 27-29° C όπου τα ζυμάρια παρέμεναν για 15' (baking powder) ή 45' (μαγιά) έτσι ώστε να επιτευχθούν οι κατάλληλες συνθήκες διόγκωσης. Στην φάση αυτή διερευνήθηκε η μεταβολή στο χρώμα πριν και μετά το στοφάρισμα. Τα εμπλουτισμένα δείγματα συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα δείγματα ελέγχου πριν και μετά την στόφα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα και στο παρακάτω διάγραμμα:

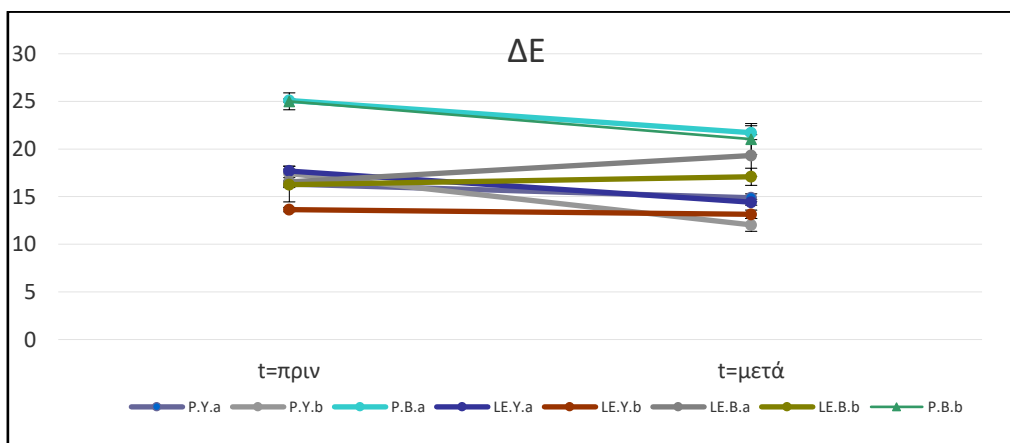
**Πίνακας 5:** Μεταβολή χρώματος εμπλουτισμένων δειγμάτων σε σχέση με το αντίστοιχο δείγμα ελέγχου πριν και μετά την διαδικασία του στοφαρίσματος

ΔΕΙΓΜΑ	$\Delta E_{\text{before}}$	$\Delta E_{\text{after}}$
P.Y.a	16,318±1,87	14,882±0,41
P.Y.B*	<b>17,426±0,77</b>	<b>12,037±0,67</b>
LE.Y.a*	<b>17,687±0,21</b>	<b>14,414±0,30</b>
LE.Y.b	13,637±0,23	13,146±0,45
P.B.a*	<b>25,094±0,16</b>	<b>21,714±0,73</b>
P.B.b*	<b>25,002±0,89</b>	<b>21,039±1,63</b>
LE.B.a	16,545±0,45	19,315±2,18
LE.B.b	16,255±0,10	17,086±0,90

Οι τιμές είναι ο μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση ( $n=3$ ). \* Οι τιμές με **bold** της μεταβολής χρώματος πριν και μετά την στόφα στα δείγματα αυτά διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ( $p<0,05$ ).

Από τα παραπάνω γίνεται αισθητή μια πτωτική τάση της μεταβολής χρώματος πριν και μετά την διαδικασία του στοφαρίσματος των εμπλουτισμένων δειγμάτων σε σχέση με τα αντίστοιχα μη-εμπλουτισμένα δείγματα. Κατά την διαδικασία του στοφαρίσματος,

λαμβάνει χώρα η ζύμωση και η διόγκωση των ζυμαριών όπου διαμορφώνεται το τελικό pH των ζυμαριών, διεργασίες που μπορεί να μεταβάλλουν το χρώμα των ζυμαριών (Sivam et al., 2011). Το pH είναι ένας παράγοντας που επιδρά στο χρώμα των ζυμαριών και στην περίπτωση αυτή φαίνεται ότι η μεταβολή στην διαφορά χρώματος μεταξύ εμπλουτισμένου και μη-εμπλουτισμένου ζυμαριού μειώνεται (Andrés-Bello et al., 2013). Και στις δύο φάσεις η διαφορά χρώματος είναι >3 άρα θεωρείται πολύ διακριτή (Λάζου, 2019).



**Εικόνα 21:** Διάγραμμα μεταβολής χρώματος (ΔΕ) των εμπλουτισμένων ζυμαριών πριν και μετά την διαδικασία του στοφαρίσματος

### 2.3. Υφή νωπών ζυμαριών

Τα αποτελέσματα των παραμέτρων υφής των ζυμαριών όπως μετρήθηκαν από τον αναλυτή υφής αναλύονται παρακάτω. Λόγω της δυσκολίας στην εκτύπωση των δειγμάτων με 0,8 g κόμμα ξανθάνης και baking powder χρησιμοποιήθηκε 11,5 ml νερό παραπάνω κάτι που επηρέασε τις παραμέτρους της υφής.

**Πίνακας 6:** Παράμετροι υφής νωπών ζυμαριών

ΔΕΙΓΜΑ	HARDNESS (N)	COHESIVENESS	GUMMINESS	SPRINGINESS (mm)
C.Y.a	0,741±0,02 <sup>e</sup>	0,242±0,01 <sup>b,c</sup>	0,179±0,01 <sup>d,e</sup>	1,003±0,00 <sup>a,b</sup>
C.Y.b	0,551±0,03 <sup>c,d</sup>	0,288±0,01 <sup>d,e</sup>	0,158±0,01 <sup>c,d</sup>	1,021±0,02 <sup>a,b</sup>
P.Y.a	0,42±0,01 <sup>a,b</sup>	0,22±0,01 <sup>b</sup>	0,087±0,00 <sup>b</sup>	1,001±0,00 <sup>a,b</sup>
P.Y.b	0,504±0,01 <sup>b,c</sup>	0,378±0,03 <sup>g,h</sup>	0,163±0,02 <sup>c,d</sup>	1,091±0,02 <sup>b,c</sup>
LE.Y.a	0,384±0,04 <sup>a</sup>	0,155±0,01 <sup>a</sup>	0,06±0,01 <sup>a</sup>	1,004±0,00 <sup>a,b</sup>
LE.Y.b	0,881±0,10 <sup>g</sup>	0,156±0,01 <sup>a</sup>	0,137±0,01 <sup>c</sup>	1,15±0,12 <sup>c</sup>
C.B.a	0,752±0,03 <sup>e,f</sup>	0,408±0,00 <sup>h</sup>	0,307±0,01 <sup>f</sup>	0,968±0,04 <sup>a</sup>
C.B.b*	0,5±0,03 <sup>b,c</sup>	0,317±0,04 <sup>e,f</sup>	0,159±0,02 <sup>c,d</sup>	1,15±0,09 <sup>b,c</sup>
P.B.a	0,630±0,02 <sup>d</sup>	0,326±0,01 <sup>f</sup>	0,205±0,00 <sup>e</sup>	1,02±0,02 <sup>a,b</sup>
P.B.b*	0,548±0,05 <sup>c,d</sup>	0,266±0,02 <sup>c,d</sup>	0,146±0,02 <sup>c</sup>	1,057±0,03 <sup>a,b,c</sup>
LE.B.a	0,845±0,13 <sup>f,g</sup>	0,352±0,01 <sup>f,g</sup>	0,296±0,03 <sup>f</sup>	1,09±0,07 <sup>b,c</sup>
LE.B.b*	0,552±0,05 <sup>c,d</sup>	0,253±0,02 <sup>b,c</sup>	0,139±0,01 <sup>c</sup>	1,189±0,00 <sup>d</sup>

Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως ο μέσος όρος ± τυπική απόκλιση (n=3). Διενεργήθηκε για κάθε μεταβλητή one-way ANOVA post-hoc Duncan test (p<0,005). \*δείγματα που χρησιμοποιήθηκε παραπάνω νερό.

Hardness (N): σκληρότητα, Cohesiveness: συνεκτικότητα, Gumminess: κομμώδες, Springiness (mm): ελαστικότητα, Adhesiveness: προσκολλησιμότητα

### Σκληρότητα

Για την παράμετρο της σκληρότητας παρατηρήθηκε ότι επηρεάζεται από τα διαφορετικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν (υδροκολλοειδές, διογκωτικός παράγοντας, παράγοντας εμπλουτισμού). Πιο συγκεκριμένα, όλα τα δείγματα με 0,8 g ξανθάνης είναι περισσότερο σκληρά από τα αντίστοιχα με 0,5 g αλλά η διαφορά τους δεν είναι στατιστικά σημαντική στις περισσότερες περιπτώσεις. Μόνο στα μη-εμπλουτισμένα δείγματα με μαγιά παρατηρήθηκε το αντίστροφο αποτέλεσμα στη σκληρότητα (C.Y.a > C.Y.b.). Επίσης, η σκληρότητα των ζυμαριών που παρήχθησαν με baking powder είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με τα αντίστοιχα δείγματα με μαγιά. Η σύγκριση στην σκληρότητα των δειγμάτων με baking powder και μαγιά μπορεί να γίνει μόνο στα ζυμάρια με 0,5 g ξανθάνη, καθώς στα αντίστοιχα με 0,8 g προστέθηκε παραπάνω νερό για να γίνουν περισσότερο λεπτόρρευστα και να μπορούν να εκτυπωθούν από τον τρισδιάστατο εκτυπωτή. Στατιστικά σημαντική αύξηση στη σκληρότητα των δειγμάτων με baking powder υπάρχει μόνο σε αυτά που ήταν εμπλουτισμένα ενώ τα μη εμπλουτισμένα δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά.

Ο εμπλουτισμός και το υλικό εμπλουτισμού (σκόνη ή λυοφιλιωμένο εκχύλισμα) φαίνεται ότι επιδρά και αυτό στην σκληρότητα των δειγμάτων. Στα περισσότερα δείγματα η προσθήκη σκόνης μείωσε στατιστικά σημαντικά την παράμετρο της σκληρότητας. Από την άλλη το λυοφιλιωμένο εκχύλισμα βύσσινου αύξησε την σκληρότητα αλλά όχι στατιστικά σημαντικά. Μείωση της σκληρότητας με την προσθήκη λυοφιλιωμένου εκχυλίσματος παρατηρήθηκε μόνο στο δείγμα με 0,5 g ξανθάνη και μαγιά (LE.Y.a). Το λυοφιλιωμένο εκχύλισμα βύσσινου περιέχει περισσότερα σάκχαρα τα οποία ανταγωνίζονται για το νερό οδηγώντας σε περισσότερο σκληρά ζυμαρία. Έπειτα από προσθήκη σκόνης από βλαστούς μπαμπού η οποία αύξησε το περιεχόμενο των ζυμαριών σε σάκχαρα αύξησε και τη σκληρότητα των ζυμαριών για μπισκότα (Choudhurry et al., 2015). Και η σκόνη βύσσινου περιέχει σάκχαρα και φυτικές ίνες που απορροφούν νερό και αναμένεται αυξάνουν τη σκληρότητα των ζυμαριών. Σε έρευνα όπου ζυμάρι με άλευρο σίτου εμπλουτίστηκε με σκόνη από στέμφυλα, όσο αυξανόταν η περιεκτικότητα σε σκόνη στέμφυλων αυξανόταν και η σκληρότητα τους αλλά κάτι τέτοιο δεν παρατηρήθηκε στην παρούσα έρευνα (Mironeasa et al., 2019).

### **Συνεκτικότητα**

Φαίνεται στις περισσότερες περιπτώσεις ότι η συνεκτικότητα των δειγμάτων που εμπλουτίστηκαν με λυοφιλιωμένο εκχύλισμα είναι στατιστικά σημαντικά χαμηλότερη και από τα αντίστοιχα μη-εμπλουτισμένα δείγματα. Στα δείγματα που παρήχθησαν με μαγιά φάνηκε στατιστικά σημαντική μείωση στη συνεκτικότητα των εμπλουτισμένων με λυοφιλιωμένο εκχύλισμα από τα αντίστοιχα με σκόνη. Αυτό μπορεί να συνέβη λόγω του ότι το εκχύλισμα είναι αιθανολικό και μπορεί να παρέμειναν ψήγματα αιθανόλης έπειτα από την λυοφιλίωση του. Σε όλες τις περιπτώσεις εμπλουτισμού (εκτός από το δείγμα P.Y.b) φαίνεται ότι ο εμπλουτισμός γενικότερα μείωσε τη συνεκτικότητα σε σχέση με τα μη-εμπλουτισμένα δείγματα, αλλά στατιστικά σημαντικά μόνο στα δείγματα με baking powder (P.B.a, P.B.b, LE.B.a, LE.B.b) και στα δείγματα με μαγιά και λυοφιλιωμένο εκχύλισμα που αναφέρθηκαν παραπάνω (LE.Y.a και b).

Μεταξύ των δύο διογκωτικών παραγόντων παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική ( $p < 0,05$ ) διαφορά στα δείγματα με λυοφιλιωμένο εκχύλισμα και 0,5 g ξανθάνης (LE.B.a και

LE.Y.a) όπου τα δείγματα με μαγιά είχαν μειωμένη συνεκτικότητα σε σχέση με τα αντίστοιχα με baking powder.

Μεταξύ των δύο διαφορετικών ποσοστών κόμμεως ξανθάνης δεν παρατηρήθηκε κάποια στατιστικά σημαντική διαφορά στην συνεκτικότητα.

Λόγω της ύπαρξης ποσότητας φυτικών ινών στην σκόνη βύσσινου έρευνες δείχνουν ότι η παρουσία φυτικών ινών στο ζυμάρι αυξάνει την συνεκτικότητα του, όπως και τη σκληρότητα του λόγω της απορρόφησης νερού από αυτές (Bolek et al., 2020).

### **Κομμιώδες**

Οι τιμές της παραμέτρου του κομμιώδους των ζυμαριών φαίνεται ότι διαφοροποιείται μεταξύ των δειγμάτων με 0,5 g και 0,8 g κόμμεως ξανθάνης. Στα περισσότερα δείγματα που περιέχουν 0,5 g ξανθάνης το κομμιώδες είχε στατιστικά σημαντικά υψηλότερες τιμές σε σχέση με τα αντίστοιχα με 0,8 g. Εξαιρέση αποτελούν τα δείγματα P.Y.a και LE.Y.a που η τιμή τους ήταν στατιστικά σημαντικά χαμηλότερη από τα P.Y.b και LE.Y.b, αντίστοιχα ( $p < 0,05$ ). Στα δείγματα που παρασκευάστηκαν με 0,8 g ξανθάνης και baking powder στα οποία έγινε προσθήκη παραπάνω νερού (C.B.b, P.B.b, LE.B.b) η τιμή του κομμιώδους κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με τα αντίστοιχα δείγματα παρασκευασμένα με 0,5 g ξανθάνη και μαγιά και περιέχουν λιγότερο νερό. Για τα δείγματα με 0,8 g κόμμεως ξανθάνης δεν παρατηρήθηκε καμία διαφορά μεταξύ των δειγμάτων και ο εμπλουτισμός δεν έπαιξε ρόλο στην τιμή της παραμέτρου. Από την άλλη, στα δείγματα με 0,5 g κόμμεως ξανθάνης υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των δειγμάτων ( $p < 0,05$ ). Σε αυτά τα δείγματα φαίνεται ότι ο εμπλουτισμός μειώνει την τιμή του κομμιώδους. Μεταξύ των δύο τρόπων εμπλουτισμού τα αποτελέσματα ήταν διαφορετικά για τα δείγματα με μαγιά όπου το P.Y.a είχε στατιστικά σημαντικά υψηλότερη τιμή σε σχέση με το LE.Y.a, ενώ στα P.B.a και LE.B.a έγινε το αντίστροφο.

### **Ελαστικότητα**

Για την παράμετρο της ελαστικότητας παρατηρήθηκε μια στατιστικά σημαντική ( $p < 0,05$ ) αύξηση στα δείγματα που είναι εμπλουτισμένα με λυοφιλιωμένο εκχύλισμα βύσσινου σε σχέση με τα αντίστοιχα μη-εμπλουτισμένα. Εξαιρέση αποτελεί το δείγμα LE.Y.a όπου η αύξηση που παρατηρείται θεωρείται αμελητέα. Ο εμπλουτισμός με σκόνη βύσσινου δεν



έδειξε να διαφοροποιεί την ελαστικότητα των ζυμαριών. Το ίδιο παρατηρείται και για τους διαφορετικούς διογκωτικούς παράγοντες που δεν επηρεάζουν την ελαστικότητα των ζυμαριών.

## 2.4. Θερμικές ιδιότητες νωπών ζυμαριών

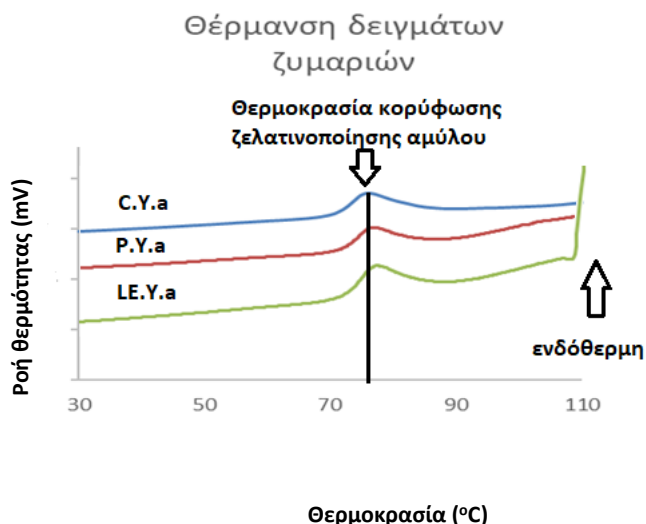
### 2.4.1. Ζελατινοποίηση

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων μέσω της Διαφορικής Θερμιδομετρίας Σάρωσης (DSC) για την διερεύνηση της διαδικασίας της ζελατινοποίησης στα δείγματα νωπών ζυμαριών φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 7:** Ενθαλπία και θερμοκρασία έναρξης, κορύφωσης και λήξης της ζελατινοποίησης του αμύλου στα δείγματα νωπών ζυμαριών

ΔΕΙΓΜΑ	Τ έναρξης (°C)	Τ κορύφωσης (°C)	Τ λήξης (°C)	ΔΗ(J/g)
C.Y.a	71,82±0,5 <sup>a,b</sup>	76,36±0,3 <sup>a</sup>	83,32±1,1 <sup>a</sup>	3,327±1,68 <sup>a,b</sup>
C.Y.b	71,73±0,0 <sup>a</sup>	76,42±0,2 <sup>a</sup>	83,69±0,7 <sup>a,b</sup>	3,132±0,55 <sup>a,b</sup>
P.Y.a	72,43±0,3 <sup>b</sup>	76,9±0,2 <sup>a</sup>	83,81±0,4 <sup>a,b</sup>	3,158±0,50 <sup>a,b</sup>
P.Y.b	72,21±0,2 <sup>a,b</sup>	76,67±0,2 <sup>a</sup>	83,92±0,1 <sup>a,b</sup>	3,641±0,31 <sup>a,b</sup>
LE.Y.a	71,9±0,3 <sup>a,b</sup>	76,37±0,1 <sup>a</sup>	83,71±0,6 <sup>a,b</sup>	3,256±0,89 <sup>a,b</sup>
LE.Y.b	72,44±0,1 <sup>b</sup>	76,86±0,2 <sup>a</sup>	84,01±0,9 <sup>a,b</sup>	3,223±0,68 <sup>a,b</sup>
C.B.a	73,86±0,5 <sup>c,d</sup>	78,53±0,4 <sup>b,c</sup>	90,84±2,1 <sup>e</sup>	3,404±0,98 <sup>a,b</sup>
C.B.b	73,53±0,1 <sup>c</sup>	78,52±0,1 <sup>b,c</sup>	87,37±0,5 <sup>b</sup>	3,788±0,25 <sup>c</sup>
P.B.a	74,27±0,3 <sup>d</sup>	78,97±0,4 <sup>c,d</sup>	86,02±0,9 <sup>c,d</sup>	2,368±0,45 <sup>a,b</sup>
P.B.b	75,14±0,4 <sup>d</sup>	80,17±0,1 <sup>c</sup>	85,25±0,6 <sup>b,c</sup>	2,335±0,82 <sup>a,b</sup>
LE.B.a	71,9±0,2 <sup>a,b</sup>	76,43±0,1 <sup>a</sup>	83,81±0,6 <sup>a,b</sup>	3,305±0,79 <sup>a,b</sup>
LE.B.b	73,81±0,7 <sup>c,d</sup>	78,16±0,5 <sup>b</sup>	84,06±0,3 <sup>a,b</sup>	2,164±0,65 <sup>a</sup>

Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως ο μέσος όρος ± τυπική απόκλιση (n=3). Διενεργήθηκε για κάθε μεταβλητή one-way ANOVA post-hoc Duncan test (p<0,005)



**Εικόνα 22:** Ενδεικτικό θερμοδιάγραμμα DSC θέρμανσης δειγμάτων ζυμαριών (C.Y.a, P.Y.a, LE.Y.a)

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι ο εμπλουτισμός στα περισσότερα δείγματα νωπών ζυμαριών αύξησε την θερμοκρασία έναρξης του φαινομένου της ζελατινοποίησης. Μόνο στα δείγματα P.B.b και LE.Y.b η αύξηση σε σχέση με το αντίστοιχο μη εμπλουτισμένο ζυμάρι ήταν στατιστικά σημαντική ( $p < 0,05$ ). Σε μία περίπτωση (LE.B.a) παρατηρήθηκε έναρξη του φαινομένου σε στατιστικά σημαντικά χαμηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με το μη εμπλουτισμένο δείγμα. Μεταξύ των δύο ειδών εμπλουτισμού δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην θερμοκρασία έναρξης του φαινομένου της ζελατινοποίησης.

Η κορύφωση του φαινομένου δεν φαίνεται να επηρεάζεται από τον εμπλουτισμό των ζυμαριών στα δείγματα που παρασκευάστηκαν με μαγιά σε σύγκριση με τα αντίστοιχα μη-εμπλουτισμένα δείγματα. Από την άλλη στα δείγματα με baking powder παρατηρούμε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο τρόπων εμπλουτισμού στην θερμοκρασία κορύφωσης του φαινομένου της ζελατινοποίησης. Πιο συγκεκριμένα για τα δείγματα και με τα δύο είδη εμπλουτισμού αυτά που περιείχαν σκόνη βύσσινου είχαν στατιστικά σημαντική αύξηση στην θερμοκρασία κορύφωσης σε σχέση με αυτά που περιείχαν λυοφιλωμένο εκχύλισμα βύσσινου ( $p < 0,05$ ) [P.B.a:  $78,97 \pm 0,4^\circ\text{C}$ , LE.B.a:  $76,43 \pm 0,1^\circ\text{C}$ , P.B.b :  $80,17 \pm 0,1^\circ\text{C}$  και LE.B.b:  $78,16 \pm 0,5^\circ\text{C}$  ] Επίσης, στο δείγμα που παρασκευάστηκε με baking powder, σκόνη βύσσινου και 0,8 g κόμμι ξανθάνης (P.B.b)

παρατηρήθηκε αυξημένη θερμοκρασία κορύφωσης του φαινομένου σε σχέση με το αντίστοιχο δείγμα ελέγχου (C.B.b).

Η λήξη του φαινομένου της ζελατινοποίησης δεν φαίνεται να επηρεάζεται από τον εμπλουτισμό.

Στην ενθαλπία του φαινομένου της ζελατινοποίησης, μόνο σε ένα είδος δείγματος παρατηρείται στατιστικά σημαντική μείωση της στα εμπλουτισμένα δείγματα. Συγκεκριμένα στα δείγματα παρασκευασμένα με baking powder και 0,8 g κόμμι ξανθάνης φάνηκε ότι  $\Delta H$ : C.B.b:  $3,788 \pm 0,25 > P.B.b: 2,335 \pm 0,82 > LE.B.b: 2,164 \pm 0,65$  ( $p < 0,05$ ). Στα υπόλοιπα είδη δειγμάτων δεν παρατηρείται καμία στατιστικά σημαντική διαφορά, ως απόρροια του εμπλουτισμού.

Η σκόνη και το εκχύλισμα βύσσινου περιέχει φαινολικές ενώσεις και σάκχαρα. Μέσα από την βιβλιογραφία έχει φανεί ότι και τα δύο επηρεάζουν τις θερμικές ιδιότητες του αμύλου. Τα σάκχαρα φαίνεται ότι αυξάνουν την θερμοκρασία ζελατινοποίησης, πιθανότατα λόγω των διαμοριακών αλληλεπιδράσεων μεταξύ αμύλου και σακχάρων που συμβαίνουν στο άμορφο μέρος του αμύλου (Allan et al., 2020). Επίσης, σε άλλη έρευνα και η προσθήκη καθαρών πολυφαινολών σε άμυλο αύξησε την θερμοκρασία έναρξης και κορύφωσης της ζελατινοποίησης σε άμυλο καλαμποκιού. Πιο συγκεκριμένα, προσθήκη 5% πολυφαινολών από μαύρο τσάι αύξησε την θερμοκρασία έναρξης της ζελατινοποίησης αμύλου καλαμποκιού από  $66,53 \pm 0,5^\circ\text{C}$  σε  $68,05 \pm 0,6^\circ\text{C}$  και την θερμοκρασία κορύφωσης από  $71,03 \pm 0,6^\circ\text{C}$  σε  $72,61 \pm 0,6^\circ\text{C}$  και η θερμοκρασία και στις δύο περιπτώσεις αυξανόταν όσο αυξανόταν η συγκέντρωση των πολυφαινολών (Xiao et al., 2012). Φαίνεται ότι και στην περίπτωση των σακχάρων και των πολυφαινολών υπάρχει ανταγωνισμός με το άμυλο ως προς την δέσμευση του νερού που η παρουσία του είναι ένας σημαντικός παράγοντας για το φαινόμενο της ζελατινοποίησης, ενώ πιθανώς δημιουργούνται διαμοριακές αλληλεπιδράσεις μεταξύ αμύλου ή νερού και σακχάρων ή πολυφαινολών που αλλάζουν τις ιδιότητες του αμύλου (Gunaratne et al., 2007; Chai et al., 2013). Τέλος, τα αποτελέσματα μίας πρόσφατης έρευνας σε ψωμάκια ατμού όπου εμπλουτίστηκαν με διάφορα ποσοστά σκόνης από παντζάρι το οποίο είναι πλούσιο σε φαινολικές ουσίες και έδειξαν αύξηση στη θερμοκρασία έναρξης και κορύφωσης της ζελατινοποίησης η οποία εξηγήθηκε λόγω της περιεκτικότητας της σκόνης σε φαινολικές ουσίες, σάκχαρα και φυτικές ίνες (Cui et al., 2022).

Μεταξύ των δύο διαφορετικών διογκωτικών παραγόντων παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στην θερμοκρασία έναρξης και κορύφωσης του φαινομένου της ζελατινοποίησης ( $p < 0,05$ ). Φαίνεται ότι η προσθήκη του baking powder καθυστερεί το φαινόμενο της ζελατινοποίησης. Ωστόσο, για την ενθαλπία του φαινομένου και για την θερμοκρασία λήξης δεν παρατηρήθηκε διαφορά μεταξύ των δύο ειδών διογκωτικών παραγόντων.

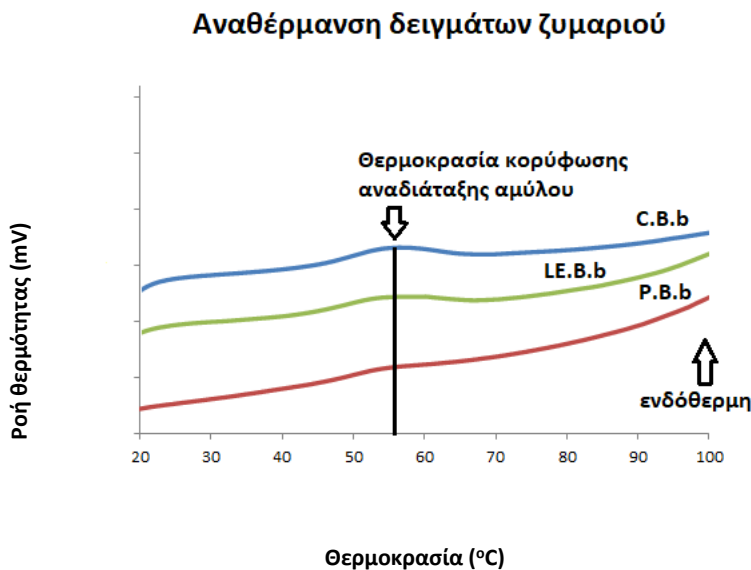
## 2.4.2. Αναδιάταξη/ Ανακρυστάλλωση αμύλου

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει το φαινόμενο της αναδιάταξης του αμύλου (θερμοκρασία έναρξης, κορύφωσης και λήξης και ενθαλπία του φαινομένου) έπειτα από αποθήκευση υπό ψύξη στους 4°C των δειγμάτων ζυμαριών για 5 και 10 ημέρες μετά την ζελατινοποίηση.

**Πίνακας 8:** Ενθαλπία και θερμοκρασία έναρξης, κορύφωσης και λήξης του φαινομένου της αναδιάταξης του αμύλου μετά από αποθήκευση των νωπών ζυμαριών υπό ψύξη 4°C για 5 και 10 ημέρες

ΔΕΙΓΜΑ	DAY	T έναρξης(°C)	T κορύφωσης(°C)	T λήξης(°C)	ΔH (J/g)
C.Y.a	5	49,08±5,4 <sup>f</sup>	55,56±1,1 <sup>d,e,f</sup>	63,53±1,1 <sup>a,b</sup>	2,56±0,523 <sup>h,i</sup>
	10	45,25±1,6 <sup>e</sup>	55,97±1,6 <sup>e,f</sup>	65,77±1,1 <sup>a,b,c,d</sup>	2,208±0,28 <sup>c,d,e,f,g,h,i</sup>
C.Y.b	5	45,14±0,5 <sup>e</sup>	55,37±0,5 <sup>d,e,f</sup>	68,49±4,6 <sup>b,c,d,e</sup>	2,401±0,10 <sup>f,g,h,i</sup>
	10	45,57±0,4 <sup>e</sup>	55,42±0,2 <sup>d,e,f</sup>	65,85±0,2 <sup>a,b,c,d</sup>	2,247±0,02 <sup>c,d,e,f,g,h,i</sup>
P.Y.a	5	44,15±1,4 <sup>d,e</sup>	54,15±0,5 <sup>d,e,f</sup>	66,62±0,9 <sup>a,b,c,d,e</sup>	1,936±0,14 <sup>b,c,d,e</sup>
	10	43,76±0,3 <sup>d,e</sup>	53,92±0,7 <sup>c,d,e,f</sup>	64,48±0,7 <sup>a,b,c</sup>	2,104±0,10 <sup>b,c,d,e,f,g,h</sup>
P.Y.b	5	44,04±0,2 <sup>d,e</sup>	54,53±0,8 <sup>d,e,f</sup>	67,94±2,5 <sup>b,c,d,e</sup>	2,223±0,12 <sup>c,d,e,f,g,h,i</sup>
	10	44,46±1,0 <sup>d,e</sup>	54,51±0,8 <sup>d,e,f</sup>	64,32±0,4 <sup>a,b,c</sup>	2,256±0,20 <sup>c,d,e,f,g,h,i</sup>
LE.Y.a	5	43,62±0,9 <sup>c,d,e</sup>	55,01±0,6 <sup>d,e,f</sup>	65,92±0,8 <sup>a,b,c,d,e</sup>	2,386±0,09 <sup>e,f,g,h,i</sup>
	10	44,73±0,2 <sup>e</sup>	54,33±0,0 <sup>d,e,f</sup>	66,16±1,3 <sup>a,b,c,d,e</sup>	1,95±0,12 <sup>b,c,d,e,f</sup>
LE.Y.b	5	44,29±0,3 <sup>d,e</sup>	54,67±0,3 <sup>d,e,f</sup>	67,06±0,6 <sup>b,c,d,e</sup>	2,401±0,01 <sup>f,g,h,i</sup>
	10	40,33±0,6 <sup>b</sup>	51,56±0,8 <sup>a,b</sup>	65,34±2,2 <sup>a,b,c,d</sup>	2,074±0,18 <sup>b,c,d,e,f,g</sup>
C.B.a	5	44,59±0,2 <sup>d,e</sup>	55,83±0,9 <sup>d,e,f</sup>	68,72±2,0 <sup>b,c,d,e</sup>	2,344±0,04 <sup>d,e,f,g,h,i</sup>
	10	45,54±0,9 <sup>e</sup>	56,18±0,8 <sup>f</sup>	66,53±0,3 <sup>a,b,c,d,e</sup>	1,818±0,23 <sup>b,c</sup>
C.B.b	5	44,59±0,2 <sup>d,e</sup>	55,63±0,4 <sup>d,e,f</sup>	68,64±1,5 <sup>b,c,d,e</sup>	2,478±0,19 <sup>g,h,i</sup>
	10	45,03±0,2 <sup>e,f</sup>	55,17±0,4 <sup>d,e,f</sup>	66,66±0,7 <sup>a,b,c,d,e</sup>	2,658±0,35 <sup>i</sup>
P.B.a	5	40,98±2,8 <sup>b,c</sup>	51,68±4,3 <sup>a,b,c</sup>	67,12±7,6 <sup>b,c,d,e</sup>	1,707±0,34 <sup>b</sup>
	10	43,13±2,1 <sup>c,d,e</sup>	53,34±3,1 <sup>b,c,d</sup>	66,67±5,4 <sup>a,b,c,d,e</sup>	0,323±0,10 <sup>a</sup>
P.B.b	5	45,98±0,6 <sup>e</sup>	53,59±0,9 <sup>b,c,d,e</sup>	63,27±4,9 <sup>a,b</sup>	0,371±0,30 <sup>a</sup>
	10	41,80±0,5 <sup>b,c,d</sup>	49,86±0,2 <sup>a</sup>	61,46±2,3 <sup>a</sup>	0,188±0,06 <sup>a</sup>
LE.B.a	5	44,52±0,3 <sup>d,e,f</sup>	56,39±0,4 <sup>f</sup>	70,75±2,4 <sup>d,e</sup>	1,919±0,44 <sup>b,c,d</sup>
	10	44,02±0,2 <sup>d,e,f</sup>	55,03±0,3 <sup>d,e,f</sup>	68,2±2,4 <sup>b,c,d,e</sup>	1,888±0,32 <sup>b,c,d</sup>
LE.B.b	5	43,48±0,4 <sup>c,d,e</sup>	54,83±0,6 <sup>d,e,f</sup>	69,18±2,7 <sup>c,d,e</sup>	2,13±0,15 <sup>b,c,d,e,f,g,h</sup>
	10	37,86±0,8 <sup>a</sup>	49,99±0,1 <sup>a</sup>	71,41±2,0 <sup>e</sup>	1,979±0,21 <sup>b,c,d,e,f</sup>

Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως ο μέσος όρος± τυπική απόκλιση (n=3). Διενεργήθηκε για κάθε μεταβλητή one-way ANOVA post-hoc Duncan test (p<0,005).



**Εικόνα 23:** Ενδεικτικό θερμογράφημα DSC αναθέρμανσης την 5η ημέρα αποθήκευσης δειγμάτων ζυμαριών (C.B.b, P.B.b LE.B.b)

Κατά τη διερεύνηση της αναδιάταξης του αμύλου και της επίδρασης του εμπλουτισμού στο φαινόμενο αυτό φάνηκε ότι σε όλα τα εμπλουτισμένα δείγματα σε σχέση με τα μη-εμπλουτισμένα η θερμοκρασία έναρξης του φαινομένου της αναδιάταξης ήταν χαμηλότερη. Αυτό φάνηκε και στις δύο διαφορετικές ημέρες διερεύνησης και κατέδειξε ότι επήλθε μια μεταβολή της θερμικής σταθερότητας των δειγμάτων ως αποτέλεσμα του εμπλουτισμού. Στατιστικά σημαντική διαφορά ( $p < 0,05$ ) με τα μη-εμπλουτισμένα δείγματα της ίδιας ημέρας παρατηρήθηκε στα δείγματα LE.Y.b 10<sup>η</sup> ημέρα, P.B.b και LE.B.b 10<sup>η</sup> ημέρα, P.Y.a και LE.Y.a 5<sup>η</sup> ημέρα και P.B.a 5<sup>η</sup> ημέρα. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί το δείγμα P.B.b όπου φάνηκε μη στατιστικά σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας έναρξης της αναδιάταξης. Μεταξύ των δύο διαφορετικών τρόπων εμπλουτισμού δεν παρατηρήθηκε κάποια συγκεκριμένη τάση μείωσης της θερμοκρασίας έναρξης της αναδιάταξης του αμύλου.

Για τη θερμοκρασία κορύφωσης του φαινομένου της αναδιάταξης του αμύλου παρατηρήθηκε η ίδια τάση όπως και στη θερμοκρασία έναρξης. Δηλαδή η θερμοκρασία κορύφωσης μειώθηκε στα εμπλουτισμένα δείγματα σε σχέση με τα αντίστοιχα μη

εμπλουτισμένα. Στατιστικά σημαντική πτώση παρατηρήθηκε στην 10<sup>η</sup> μέρα στα δείγματα LE.Y.b, P.B.b, LE.B.b και στην 5<sup>η</sup> μέρα του P.B.a ( $p < 0,05$ ).

Για τη θερμοκρασία λήξης του φαινομένου της αναδιάταξης δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων.

Όσον αφορά την ενθαλπία του φαινομένου της αναδιάταξης φαίνεται ότι ο εμπλουτισμός οδηγεί σε μείωση της. Στατιστικά σημαντική είναι η πτώση της ενθαλπίας στα δείγματα που ήταν εμπλουτισμένα με σκόνη βύσσινου (P.B.a και b και στις δύο ημέρες και P.Y.a την 5<sup>η</sup> ημέρα σε σχέση με τα αντίστοιχα μη-εμπλουτισμένα δείγματα στις αντίστοιχες ημέρες) ( $p < 0,05$ ). Ειδικά στην περίπτωση του δείγματος P.B.b με βάση τα θερμογράφημα φαίνεται να επέρχεται μια σχεδόν πλήρης αναστολή του φαινομένου της αναδιάταξης του αμύλου. Και σε άλλες έρευνες έχει φανεί ότι η προσθήκη πολυφαινολών έχει περιορίσει το φαινόμενο της αναδιάταξης του ζελατινοποιημένου αμύλου (Zhu et al., 2009). Αυτή η μείωση της ενθαλπίας αναδιάταξης του αμύλου φαίνεται ότι προκαλείται λόγω της υψηλής δραστηριότητας των υδροξυλομάδων των πολυφαινολών και των δεσμών υδρογόνου που συνάπτουν με τις υδροξυλομάδες του αμύλου στο άμορφο μέρος και δεν επιτρέπουν την αναδιάταξη του (Wu et al., 2011). Επίσης, υπάρχει και ανταγωνισμός των πολυφαινολών με το άμυλο για το διαθέσιμο νερό. Στην δυνατότητα αναδιάταξη του αμύλου παίζει σημαντικό ρόλο το νερό που δρα ως πλαστικοποιητής (Jiugao et al., 2005).

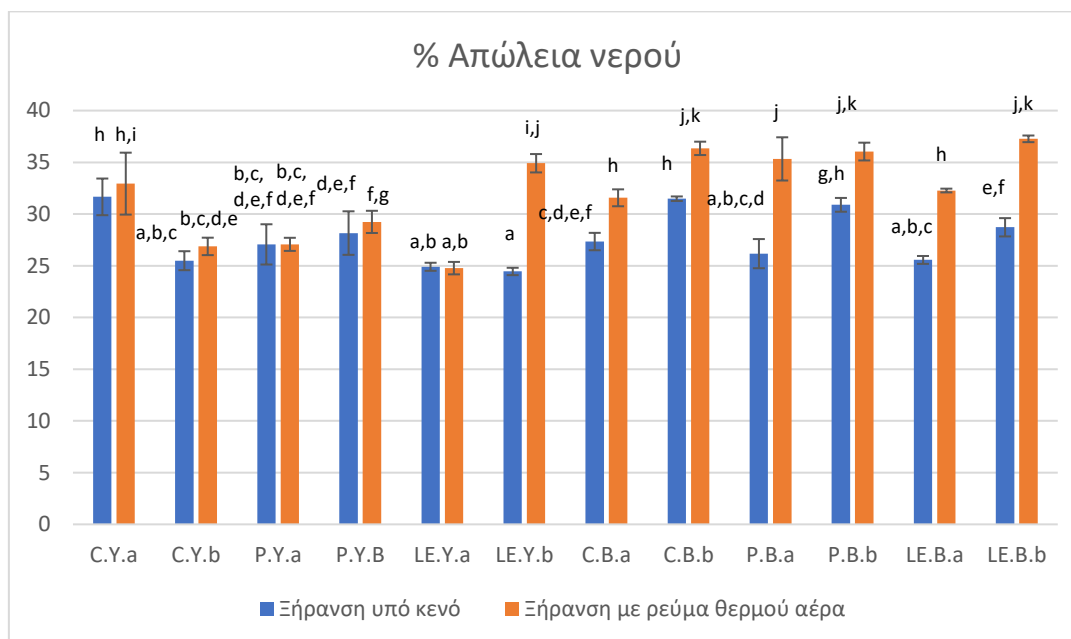
## 2.5. Ξήρανση νωπών ζυμαριών

Η ξήρανση των ζυμαριών διενεργήθηκε με τις μεθόδους του ρεύματος θερμού αέρα (tray drier) και υπό κενό (vacutherm) για 60 min και μετρήθηκε το ποσοστό απώλειας νερού με

$$\text{την σχέση } \% \text{ Απώλεια νερού} = \frac{\text{αρχικό-τελικό βάρος δείγματος}}{\text{αρχικό βάρος δείγματος}} * 100$$

*Εξίσωση 2: Υπολογισμός % απώλειας νερού κατά την ξήρανση*

. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



**Εικόνα 24:** Διάγραμμα ποσοστού % απώλειας νερού κατά την ξήρανση δειγμάτων ζυμαριών υπό κενό και σε ρεύμα θερμού αέρα για 60 min στους 60°C

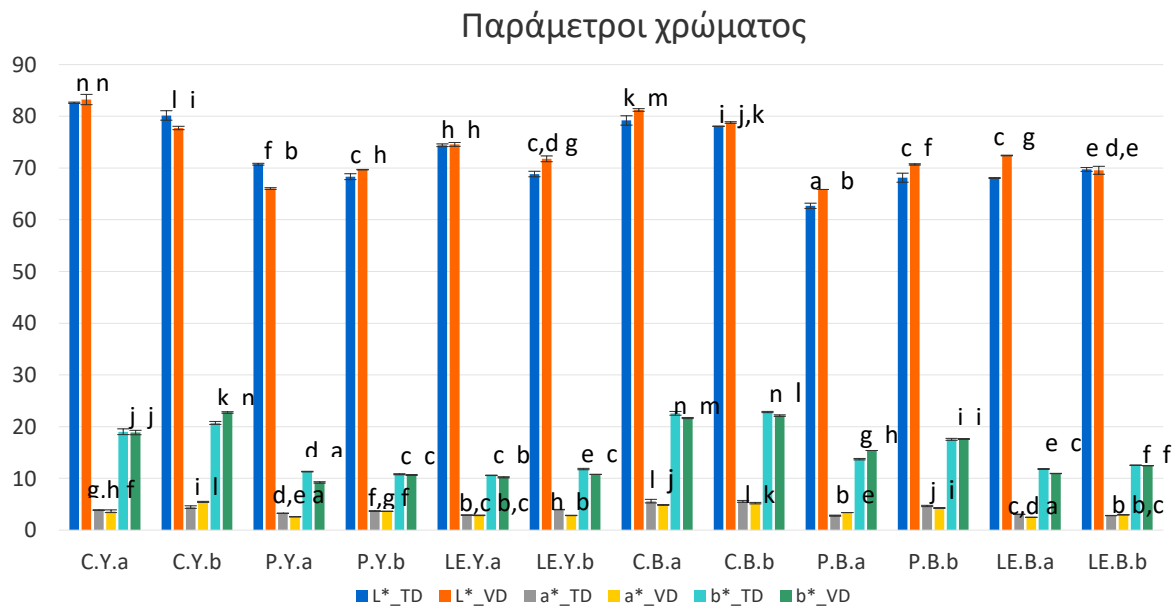
Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως ο μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση ( $n=3$ ). Διενεργήθηκε one-way ANOVA post-hoc Duncan test ( $p<0,005$ ).

Με βάση τον παραπάνω πίνακα παρατηρήθηκε ότι η % απώλεια νερού που επιτεύχθηκε με την μέθοδο της ξήρανσης με ρεύμα θερμού αέρα είναι στατιστικά σημαντικά ( $p<0,05$ ) μεγαλύτερη από αυτή με την μέθοδο της ξήρανσης με κενό αέρος. Ο γρηγορότερος ρυθμός ξήρανσης με τον ξηραντήρα θερμού αέρα μπορεί να συνέβη λόγω της ταχύτητας της ροής του αέρα μέσα στον ξηραντήρα (0,875 m/s). Ο εμπλουτισμός δεν έδειξε να επηρεάζει σημαντικά και με μια συγκεκριμένη τάση την απώλεια νερού κατά την ξήρανση.

Δεν υπάρχει εκτεταμένη βιβλιογραφία που να διερευνά την σύγκριση μεταξύ των δύο μεθόδων ξήρανσης, ιδιαίτερα σε ζυμάρια. Σε μία έρευνα που μελετήθηκε η κινητική της ξήρανσης μεταξύ των δύο παραπάνω μεθόδων σε ρίζες κичωρίου έδειξε ότι ο ρυθμός της ξήρανσης υπό κενό ήταν μεγαλύτερος, ιδιαίτερα στην πρώτη φάση της ξήρανσης, σε σχέση με την ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα. Όμως, σε αυτήν την έρευνα η ταχύτητα ροής του αέρα στον ξηραντήρα ήταν 0,2 και 0,7 m/s σε θερμοκρασίες 60 και 70°C και στις δύο μεθόδους ξήρανσης (Balzarini et al., 2018)



## 2.6. Χρώμα δειγμάτων ζυμαριών μετά την ξήρανση



**Εικόνα 25:** Διάγραμμα παραμέτρων ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) χρώματος δειγμάτων ζυμαριών μετά από ξήρανση σε ρεύμα θερμού αέρα (TD) και υπό κενό (VD)

Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως ο μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση ( $n=3$ ). Διενεργήθηκε one-way ANOVA post-hoc Duncan test ( $p<0,005$ ).

Ο εμπλουτισμός των ζυμαριών με σκόνη ή λυοφιλιωμένο εκχύλισμα βύσσινου είναι αναμενόμενο να αλλάξει τις παραμέτρους του χρώματος λόγω των ανθοκυανινών που περιέχονται στο βύσσινο και του προσδίδουν το χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα. Οι ανθοκυανίνες επηρεάζονται σημαντικά από το pH, την θερμοκρασία, το οξυγόνο, το φως, άλλα φλοβοειδή κ.α. που μπορεί να υπάρχουν στο περιβάλλον τους (Michalska et al. 2007). Κατά την ξήρανση, το ζυμάρι έρχεται σε επαφή με θερμότητα και στην περίπτωση της ξήρανσης με ρεύμα θερμού αέρα και με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας. Επίσης, ήδη κατά την παρασκευή τους η προσθήκη των παραγόντων εμπλουτισμού αλλά και των διογκωτικών παραγόντων επηρεάζει το pH του ζυμαριού. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτός ο λόγος μεταβολής των παραμέτρων του χρώματος μετά την ξήρανση.

Για την παράμετρο  $L^*$  που αντιπροσωπεύει την φωτεινότητα των δειγμάτων παρατηρείται ότι τα δείγματα που ξηράθηκαν υπό κενό έχουν στις περισσότερες περιπτώσεις στατιστικά μεγαλύτερες τιμές  $L^*$ , δηλαδή είναι περισσότερο φωτεινά σε σχέση με τα

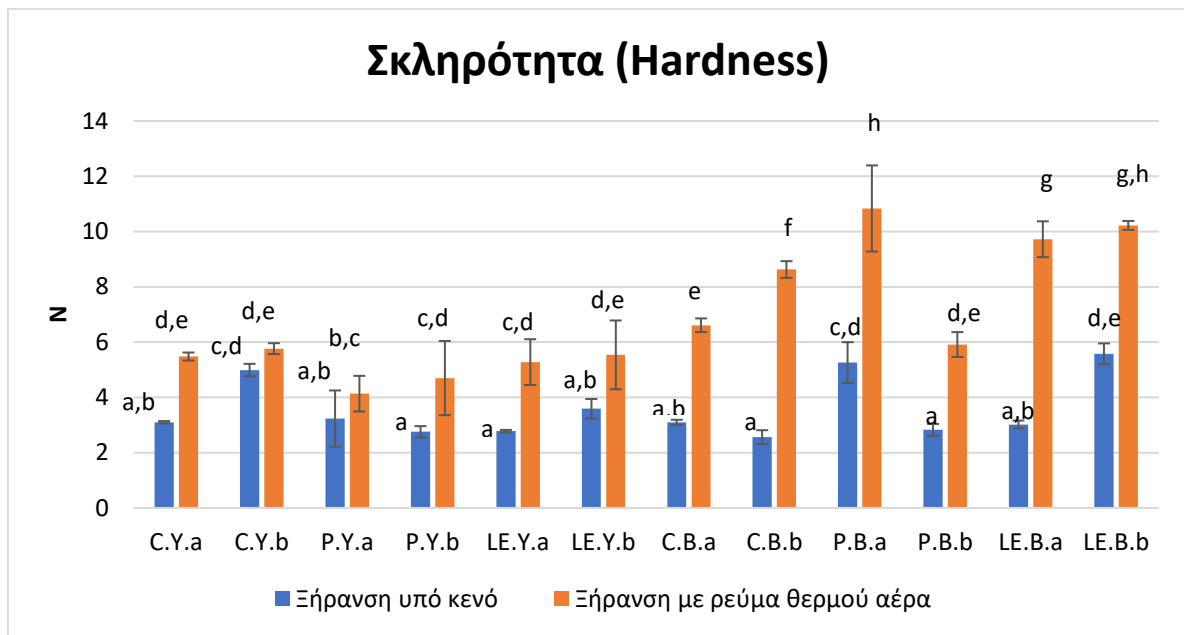
αντίστοιχα δείγματα που ξηράθηκαν με ρεύμα θερμού αέρα ( $p < 0,05$ ). Εξαίρεση αποτελούν τα δείγματα C.Y.b και P.Y.a όπου η τιμή της φωτεινότητας στα δείγματα ξηραμένα υπό κενό είναι στατιστικά σημαντικά μικρότερη σε σχέση με την αντίστοιχη των δειγμάτων με ξήρανση σε ρεύμα αέρα. Ο εμπλουτισμός σε συνδυασμό με την ξήρανση οδηγεί σε στατιστικά σημαντική μείωση της φωτεινότητας των δειγμάτων και με τους δύο τρόπους ( $p < 0,05$ ). Μεταξύ των δύο τρόπων εμπλουτισμού, τα δείγματα με σκόνη βύσσινου τις περισσότερες φορές είναι λιγότερο φωτεινά σε σχέση με τα αντίστοιχα με λυοφιλωμένο εκχύλισμα π.χ. και για τους δύο τρόπους εμπλουτισμού  $L^* P.Y.a < L^* LE.Y.a$  ( $p < 0,05$ ). Τέλος, μεταξύ των δύο διογκωτικών παραγόντων τα δείγματα με μαγιά παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικά τις περισσότερες φορές υψηλότερη φωτεινότητα σε σχέση με τα αντίστοιχα με baking powder. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2.2.3. του πειραματικού μέρους ο εμπλουτισμός με βύσσινο λόγω των ανθοκυανινών οδηγεί σε ζυμάρια με μειωμένη φωτεινότητα σε σχέση με τα μη-εμπλουτισμένα. Η σταθερότητα των ανθοκυανινών εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το pH και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος (Michalska et al. 2007, Petrovic et al., 2018). Στην περίπτωση αυτή, το pH των ζυμαριών ανάλογα με τον διογκωτικό παράγοντα που χρησιμοποιήθηκε είναι πιο όξινο (μαγιά) και πιο αλκαλικό (baking powder). Ακόμα, ο εμπλουτισμός μειώνει το pH των ζυμαριών, περισσότερο στην περίπτωση των εμπλουτισμένων με σκόνη, γεγονός που αντανακλάται και στη φωτεινότητα των δειγμάτων. Οι Rainero et al., εμπλούτισαν κριτσίνια με σκόνη κόκκινα στέμφυλα και ο εμπλουτισμός οδήγησε σε μείωση της φωτεινότητας των δειγμάτων ανάλογη με την ποσότητα στέμφυλων που προστέθηκαν (Rainero et al., 2021).

Όσον αφορά τον παράγοντα  $a^*$  που δείχνει το πόσο κόκκινο ή πράσινο είναι ένα δείγμα παρατηρήθηκε ότι τα δείγματα που εμπλουτίστηκαν είτε με σκόνη είτε με λυοφιλωμένο εκχύλισμα ήταν περισσότερο πράσινα σε σχέση με τα μη-εμπλουτισμένα. Η ξήρανση φαίνεται ότι έχει σημαντική επίδραση στην σταθερότητα των ανθοκυανινών, οι οποίες είναι υπεύθυνες για το κόκκινο χρώμα των ζυμαριών. Στα νωπά ζυμάρια (κεφ. 2.2.3 πειραματικό μέρος) είχε φανεί αύξηση του παράγοντα  $a^*$  και συνεπώς είναι ζυμάρια περισσότερο κόκκινα σε σχέση με τα μη εμπλουτισμένα, ενώ μετά την ξήρανση, όπου το ζυμάρι υπέστη θερμική επεξεργασία παρατηρήθηκε το αντίθετο αποτέλεσμα. Είναι αναμενόμενο αυτό το αποτέλεσμα, καθώς με την ξήρανση υπάρχει απώλεια ανθοκυανινών στο προϊόν. Επίσης, παρακάτω θα αναλυθεί ότι τα δείγματα που παρασκευάστηκαν με

baking powder είχαν συγκρατήσει μετά την ξήρανση μικρότερη ποσότητα ολικών φαινολικών σε σχέση με τα αντίστοιχα παρασκευασμένα με μαγιά. Αυτό αποτυπώνεται και στο χρώμα των ξηραμένων δειγμάτων όπου η μείωση του παράγοντα  $\Delta a^*$  στα ζυμάρια με baking powder μεταξύ εμπλουτισμένων και μη- είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα αντίστοιχα παρασκευασμένα με μαγιά. Συνδυαστικά, μεταξύ των δυο τρόπων ξήρανσης και του εμπλουτισμού η ξήρανση υπό κενό προκαλεί μεγαλύτερη μείωση στην παράμετρο  $a^*$  και άρα περισσότερο πράσινο προϊόν σε σχέση με το αντίστοιχο μη- εμπλουτισμένο και σε σχέση με τα αντίστοιχα δείγματα που ξηράθηκαν με ρεύμα θερμού αέρα. Αυτό δεν μπορεί να εξηγηθεί με την απώλεια ανθοκυανινών, καθώς με τον ξηραντήρα κενού έχουμε καλύτερη συγκράτηση ολικών φαινολικών στο τελικό προϊόν. Οι Rainero et al., παρατήρησαν αντίθετα αποτελέσματα μετά των εμπλουτισμό κριτσινιών με σκόνη από κόκκινα στέμφυλα καθώς η τιμή της παραμέτρου  $a^*$  αυξήθηκε όσο αυξανόταν το ποσοστό εμπλουτισμού (Rainero et al., 2021).

Τέλος, για την παράμετρο  $b^*$  που δείχνει πόσο κίτρινο και μπλε είναι το δείγμα παρατηρούμε στατιστικά σημαντική μείωση του στα εμπλουτισμένα σε σχέση με τα μη-εμπλουτισμένα δείγματα ( $p < 0,05$ ). Επίσης, μεταξύ των δύο τρόπων εμπλουτισμού, στατιστικά σημαντική μείωση φαίνεται στα δείγματα με λυοφιλωμένο εκχύλισμα σε σχέση με τα αντίστοιχα με σκόνη ( $p < 0,05$ ). Μεταξύ των δύο μεθόδων ξήρανσης, παρατηρείται μείωση του παράγοντα, δηλαδή περισσότερο μπλε δείγματα, σε αυτά που ξηράθηκαν υπό κενό σε σχέση με τα αντίστοιχα με ρεύμα θερμού αέρα και στις περισσότερες περιπτώσεις η μείωση είναι στατιστικά σημαντική ( $p < 0,05$ ). Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Rainero et al., όπου με τον εμπλουτισμό των κριτσινιών με σκόνη κόκκινων στέμφυλων μειώθηκε η παράμετρος  $b^*$  αλλά και οι Hayta et al., έπειτα από εμπλουτισμό άρτου με σκόνη στέμφυλων σε άρτο (Rainero et al., 2021, Hayta et al, 2012).

## 2.7. Υφή δειγμάτων ζυμαριών μετά την ξήρανση



**Εικόνα 26:** Διάγραμμα σκληρότητας δειγμάτων ζυμαριών μετά από ξήρανση υπό κενό και σε ρεύμα θερμού αέρα

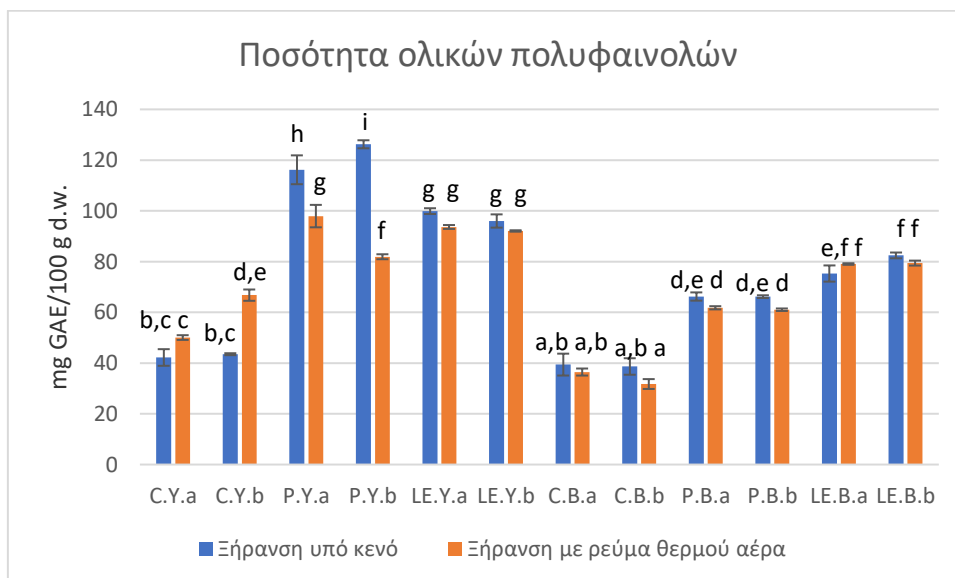
Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως ο μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση ( $n=3$ ). Διενεργήθηκε one-way ANOVA post-hoc Duncan test ( $p<0,005$ ).

Με βάση τα παραπάνω παρατηρείται ότι η σκληρότητα στα δείγματα που ξηράθηκαν με ξήρανση σε ρεύμα αέρα ήταν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη από τα δείγματα που ξηράθηκαν υπό κενό. Αυτό αναμένεται και λόγω της αυξημένης απώλειας νερού με την ξήρανση ρεύματος θερμού αέρα. Ο εμπλουτισμός δε φαίνεται ότι επηρεάζει τη σκληρότητα στατιστικά σημαντικά στα ξηραμένα δείγματα. Μόνο σε δείγματα που ξηράθηκαν σε ξηραντήρα ρεύματος θερμού αέρα και περιείχαν baking powder και 0,5 g ξανθάνη (P.B.a, LE.B.a.) παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική αύξηση της σκληρότητας ( $p<0,05$ ). Τέλος, τα δείγματα που παρασκευάστηκαν με baking powder και ξηράθηκαν σε ρεύμα θερμού αέρα φαίνεται ότι έχουν στατιστικά σημαντικά αυξημένη σκληρότητα ( $p<0,05$ ).

Η βιβλιογραφία δείχνει ότι ο εμπλουτισμός των ζυμαριών με σκόνες ή εκχυλίσματα φρούτων και φυτών που περιέχουν αντιοξειδωτικά, φυτικές ίνες και σάκχαρα αυξάνουν την σκληρότητα των τελικών προϊόντων ζυμαριού, όπως και τη σκληρότητα των νωπών εμπλουτισμένων ζυμαριών (Choudhury et al., 2015, Hayta et al., 2014)

## 2.8. Ολικά Φαινολικά και Αντιοξειδωτική Ικανότητα δειγμάτων ζυμαριών μετά από ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα και υπό κενό

### 2.8.1. Ολικά φαινολικά



**Εικόνα 27:** Διάγραμμα ποσότητας ολικών πολυφαινολών στα δείγματα ξηραμένων ζυμαριών με τις μεθόδους κενού και ρεύματος θερμού αέρα

Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως ο μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση ( $n=3$ ). Διενεργήθηκε one-way ANOVA post-hoc Duncan test ( $p<0,005$ ).

Από τα παραπάνω το βασικό συμπέρασμα είναι ότι ο εμπλουτισμός με την σκόνη και το λυοφιλωμένο εκχύλισμα βύσσινο αύξησε στατιστικά σημαντικά την ολική ποσότητα πολυφαινολών στα δείγματα ζυμαριών. Αυτό ήταν αναμενόμενο διότι το βύσσινο είναι ένα φρούτο με αυξημένη ποσότητα πολυφαινολών και πιο συγκεκριμένα ανθοκυανινών, κάτι που έχει αναφερθεί εκτενέστατα στο κεφάλαιο 3. Κάτι αντίστοιχο παρατηρήθηκε σε εργασία των Šaronjac et al., που εμπλούτισαν ζυμάρι για μπισκότα με πούλπα από βύσσινα με την διαδικασία της ενθυλάκωσης και κατάφεραν να αυξήσουν το φαινολικό περιεχόμενο των τελικών εψημένων μπισκότων σε σχέση με τα αντίστοιχα μη εμπλουτισμένα (Šaronjac et al., 2016).

Επίσης, διαπιστώθηκε ότι μετά την ξήρανση υπό κενό παρατηρείται μεγαλύτερη ποσότητα πολυφαινολών στα εμπλουτισμένα δείγματα σε σχέση με μετά την ξήρανση με ρεύμα αέρα αλλά η διαφορά στα περισσότερα εμπλουτισμένα δείγματα δεν είναι

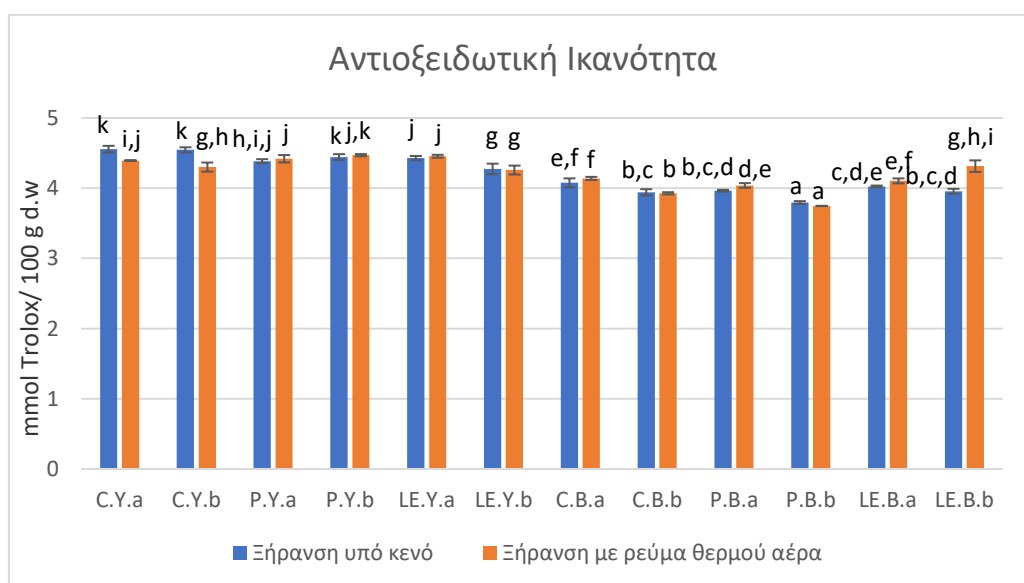
στατιστικά σημαντική ( $p > 0,05$ ). Στατιστικά σημαντική διαφορά παρατηρείται στα δείγματα που παρασκευάστηκαν με μαγιά και εμπλουτίστηκαν με σκόνη βύσσινου. Πιο συγκεκριμένα, στο δείγμα P.Y.a όπου οι ολικές πολυφαινόλες στο δείγμα που ξηράθηκε υπό κενό μετρήθηκαν  $116,18 \pm 5,7$  mg GAE/100 g d.w. ενώ μετά την ξήρανση σε ρεύμα θερμού αέρα η αντίστοιχη τιμή ήταν  $97,93 \pm 4,42$  mg GAE/100 g d.w. και στο δείγμα P.Y.b η ποσότητα των ολικών φαινολικών με την ξήρανση υπό κενό ήταν  $126,24 \pm 1,6$  mg GAE/100 g d.w. και με την ξήρανση σε ρεύμα θερμού αέρα  $81,91 \pm 1,0$  mg GAE/100 g d.w.. Ωστόσο, στα αντίστοιχα δείγματα με baking powder η αύξηση δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Κατά τη ξήρανση υπό κενό, λόγω του ότι η ξήρανση γίνεται σε πίεση πολύ χαμηλότερη της ατμοσφαιρικής η αντίστοιχη θερμοκρασία με τους  $60^\circ\text{C}$  σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης είναι χαμηλότερη γι' αυτόν τον λόγο τα θερμοευαίσθητα συστατικά, όπως στην συγκεκριμένη περίπτωση οι πολυφαινόλες, δεν καταστρέφονται όσο στους  $60^\circ\text{C}$  που υπάρχουν στον ξηραντήρα θερμού αέρα. Γενικότερα, η μέθοδος της ξήρανσης υπό κενό συστήνεται για τρόφιμα με θερμοευαίσθητα συστατικά (Reis, 2014).

Μια σημαντική παρατήρηση είναι ότι τα περισσότερα εμπλουτισμένα δείγματα που παρασκευάστηκαν με baking powder περιείχαν μικρότερη ποσότητα ολικών φαινολικών σε σχέση με τα αντίστοιχα δείγματα παρασκευασμένα με μαγιά κατά κύριο λόγο εξαιτίας του pH. Για παράδειγμα, το δείγμα P.B.a, το οποίο είχε pH 7,13 όταν ξηράθηκε υπό κενό τα ολικά φαινολικά προσδιορίστηκαν  $66,22 \pm 1,6$  mg GAE/100 g d.w. και αντίστοιχα με την ξήρανση σε ρεύμα αέρα  $61,78 \pm 0,6$  mg GAE/100 g d.w., ωστόσο, το δείγμα P.Y.a το οποίο είχε pH 5,76 περιείχε ολικά φαινολικά της τάξεως των  $116,18 \pm 5,7$  mg GAE/100 g d.w. και  $97,93 \pm 4,4$  mg GAE/100 g d.w. για τα δείγματα που ξηράθηκαν υπό κενό και σε ρεύμα θερμού αέρα, αντίστοιχα. Αυτό φαίνεται ότι συνέβη λόγω του σχετικά αλκαλικού pH που έχουν τα ζυμάρια που παρασκευάστηκαν με baking powder ( $\text{pH} > 7$ ) σε σχέση με το όξινο που παρατηρείται στα ζυμάρια με μαγιά ( $\text{pH} < 5,5$ ). Σε έρευνα που μελετήθηκε η επίδραση που έχει το pH στα ολικά φαινολικά σε φύλλα γλυκοπατάτας (φαινολικά οξέα: καφεϊκό οξύ και χλωρογενικό οξύ) έδειξε ότι σε pH 3-7 τα ολικά φαινολικά που εκχυλίστηκαν δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά. Όμως, όταν το pH ήταν 8 τα ολικά φαινολικά που εκχυλίστηκαν ήταν στατιστικά σημαντικά μειωμένα ( $p < 0,05$ ) (Sun et al., 2017). Επίσης, έχει φανεί και μέσα από άλλες έρευνες ότι οι ανθοκυανίνες, οι βασικές πολυφαινόλες που

υπάρχουν στο βύσσινο, είναι περισσότερο σταθερές σε όξινο περιβάλλον απ' ότι σε αλκαλικό (Tsao et al., 2010).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι και τα μη εμπλουτισμένα ξηραμένα δείγματα ζυμαριών περιέχουν σημαντική ποσότητα φαινολικών ουσιών (40-50% της ποσότητας των εμπλουτισμένων ζυμαριών), οι οποίες προέρχονται από τις πολυφαινόλες που υπάρχουν στο ελαιόλαδο και εμπλουτίζουν το ζυμάρι.

### 2.8.2. Αντιοξειδωτική Ικανότητα



**Εικόνα 28:** Διάγραμμα αντιοξειδωτικής ικανότητας δειγμάτων ξηραμένων ζυμαριών με τις μεθόδους κενού και ρεύματος θερμού αέρα

Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως ο μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση ( $n=3$ ). Διενεργήθηκε one-way ANOVA post-hoc Duncan test ( $p<0,005$ ).

Όσον αφορά την αντιοξειδωτική ικανότητα δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα διότι στην βασική συνταγή των ζυμαριών υπάρχει το ελαιόλαδο το οποίο περιέχει αντιοξειδωτικές ουσίες (βιταμίνη E) που ανταγωνίζονται τα αντιοξειδωτικά που περιέχει το βύσσινο στην μέθοδο του προσδιορισμού αντιοξειδωτικής ικανότητας DPPH. Επίσης, η σύγκριση μεταξύ εμπλουτισμένων και μη- δειγμάτων είναι αδύνατη εξαιτίας του ελαιόλαδου της βασικής συνταγής των ζυμαριών που υπάρχει και στα μη- εμπλουτισμένα δείγματα.

Μεταξύ των δύο μεθόδων ξήρανσης στα περισσότερα δείγματα δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά στην αντιοξειδωτική ικανότητα ( $p > 0,05$ ). Στατιστικά σημαντική διαφορά βρέθηκε μόνο στα δείγματα C.Y.b και LE.B.b όπου στην πρώτη περίπτωση μεγαλύτερη αντιοξειδωτική ικανότητα βρέθηκε στα ζυμάρια που είχαν ξηραθεί στον ξηραντήρα κενού ( $4,54 \pm 0,0$  mmol Trolox/ 100 g d.w. ξήρανση υπό κενό έναντι των  $4,30 \pm 0,1$ g mmol Trolox/ 100 g d.w. ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα) ενώ αντίθετα στο LE.B.b μεγαλύτερη αντιοξειδωτική ικανότητα βρέθηκε στα ζυμάρια που ξηράθηκαν στον ξηραντήρα με ρεύμα αέρα ( $3,96 \pm 0,0$  mmol Trolox/ 100 g d.w. για την ξήρανση υπό κενό έναντι των  $4,31 \pm 0,1$  mmol Trolox/ 100 g d.w. για την ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα).



### 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

#### 3. Συμπεράσματα

Τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία είναι τα εξής:

1. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των ζυμαριών τροποποιήθηκαν και από τους δύο τρόπους εμπλουτισμού (σκόνη και λυοφιλιωμένο εκχύλισμα βύσσινου) αλλά και από την χρήση διαφορετικών διογκωτικών παραγόντων (μαγιά και baking powder). Πιο συγκεκριμένα το pH μειώθηκε με τον εμπλουτισμό σε σχέση με τα μη εμπλουτισμένα δείγματα και με τη χρήση μαγιάς σε σχέση με το baking powder. Ο εμπλουτισμός οδήγησε σε μείωση της υγρασίας των νωπών ζυμαριών και επηρέασε και το χρώμα μειώνοντας την φωτεινότητα ( $\downarrow L^*$ ) των εμπλουτισμένων δειγμάτων και οδηγώντας σε ζυμάρια με περισσότερο κόκκινες και μπλε αποχρώσεις ( $\uparrow a^*$ ,  $\downarrow b^*$ ) σε σχέση με τα μη εμπλουτισμένα. Ο διογκωτικός παράγοντας δεν επηρέασε την υγρασία και το χρώμα των νωπών ζυμαριών.
2. Οι παράμετροι της υφής επηρεάστηκαν και αυτοί και από τον εμπλουτισμό αλλά και από τους διαφορετικούς διογκωτικούς παράγοντες. Το baking powder οδήγησε σε σκληρότερα ζυμάρια σε σχέση με τη μαγιά, όπως και η σκόνη σε σχέση με το λυοφιλιωμένο εκχύλισμα ως μέσο εμπλουτισμού. Η συνεκτικότητα των ζυμαριών μειώθηκε όταν χρησιμοποιήθηκε λυοφιλιωμένο εκχύλισμα και γενικότερα από τον εμπλουτισμό και τη χρήση baking powder ως διογκωτικό παράγοντα. Η ελαστικότητα των ζυμαριών αυξήθηκε με τον εμπλουτισμό με λυοφιλιωμένο εκχύλισμα ενώ η χρήση κόμμεως ξανθάνης επηρέασε την παράμετρο του κομμώδους, όπου όταν αυξήθηκε η ποσότητα κόμμεως ξανθάνης που χρησιμοποιήθηκε μειώθηκε το κομμώδες του ζυμαριού.
3. Ως προς τις θερμικές ιδιότητες των νωπών ζυμαριών και σε αυτές υπήρξε επίδραση του εμπλουτισμού και της χρήσης των διογκωτικών παραγόντων. Όσον αφορά την διαδικασία της ζελατινοποίησης, το baking powder ως διογκωτικός παράγοντας αύξησε την θερμοκρασία έναρξης και κορύφωσης του φαινομένου αλλά δεν είχε καμία επίδραση στην ενθαλπία. Σχετικά με τον εμπλουτισμό, η προσθήκη σκόνης βύσσινου φάνηκε ότι καθυστερεί την έναρξη και την κορύφωση της ζελατινοποίησης αλλά όχι στατιστικά σημαντικά ( $p > 0,05$ ) σε σχέση με το λυοφιλιωμένο εκχύλισμα. Ούτε ο εμπλουτισμός φάνηκε να έχει επίδραση στην ενθαλπία της

- ζελατινοποίησης. Ως προς την αναδιάταξη, με τον εμπλουτισμό φάνηκε ότι μειώθηκε η θερμοκρασία έναρξης και κορύφωσης της σε σχέση με τα μη-εμπλουτισμένα δείγματα. Σε αυτήν την περίπτωση ο εμπλουτισμός είχε επίδραση και την ενθαλπία της αναδιάταξης μειώνοντας την. Ιδιαίτερα στο δείγμα P.B.b φάνηκε να επέρχεται σχεδόν πλήρης αναστολή του φαινομένου της αναδιάταξης του αμύλου.
4. Περνώντας στη διαδικασία της ξήρανσης των ζυμαριών υπό κενό και με ρεύμα θερμού αέρα, το ποσοστό % απώλειας νερού ήταν μεγαλύτερο στα δείγματα που ξηράθηκαν σε ρεύμα θερμού αέρα στις ίδιες συνθήκες και χρόνο με τα δείγματα που ξηράθηκαν υπό κενό (60 λεπτά, 60°C). Οι διαφορετικές μέθοδοι ξήρανσης επηρέασαν και το χρώμα των ζυμαριών όπου τα δείγματα που ξηράθηκαν υπό κενό ήταν περισσότερο φωτεινά ( $\uparrow L^*$ ) σε σχέση με τα αντίστοιχα ξηραμένα σε ρεύμα θερμού αέρα. Επίσης, ο εμπλουτισμός σε συνδυασμό με την ξήρανση οδήγησαν σε μείωση της φωτεινότητας των δειγμάτων σε σχέση με τα αντίστοιχα μη εμπλουτισμένα. Όσον αφορά τις χρωματικές αποχρώσεις των ξηραμένων ζυμαριών, η ξήρανση σε συνδυασμό με τον εμπλουτισμό οδήγησε σε δείγματα με λιγότερο κόκκινες αποχρώσεις ενώ στα νωπά δείγματα ο εμπλουτισμός οδήγησε σε ζυμάρια με περισσότερο κόκκινες αποχρώσεις σε σχέση με τα μη-εμπλουτισμένα και η ξήρανση υπό κενό σχέση με την ξήρανση σε ρεύμα θερμού αέρα όπως και ο εμπλουτισμός οδήγησαν σε ζυμάρια με περισσότερο μπλε αποχρώσεις ( $\downarrow a^*$ ,  $\downarrow b^*$ ). Αναφορικά με την παράμετρο της σκληρότητας, τα ζυμάρια που ξηράθηκαν σε ρεύμα θερμού αέρα ήταν στατιστικά σημαντικά περισσότερο σκληρά σε σχέση με τα αντίστοιχα ξηραμένα υπό κενό. Τα πιο σκληρά ξηραμένα δείγματα φάνηκε ότι ήταν τα δείγματα που περιείχαν baking powder ως διογκωτικό παράγοντα και ξηράθηκαν σε ρεύμα θερμού αέρα.
  5. Σχετικά με την συγκράτηση πολυφαινολών μετά την ξήρανση στο τελικό προϊόν, ο εμπλουτισμός οδήγησε σε στατιστικά σημαντική αύξηση της συνολικής ποσότητας πολυφαινολών σε σχέση με τα μη εμπλουτισμένα. Βέβαια, λόγω της προσθήκης ελαιόλαδου στη συνταγή και τα μη εμπλουτισμένα δείγματα περιείχαν πολυφαινόλες. Ως προς τις μεθόδους ξήρανσης, φάνηκε ότι μετά την ξήρανση υπό κενό η ποσότητα πολυφαινολών ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με την ξήρανση σε ρεύμα θερμού αέρα αλλά όχι στατιστικά σημαντικά ( $p > 0,05$ ). Η χρήση της μαγιάς λόγω

του όξινου περιβάλλοντος που δημιουργεί στο ζυμάρι επίδρασε θετικά στην τελική ποσότητα πολυφαινολών. Τέλος, αναφορικά με την αντιοξειδωτική ικανότητα, λόγω της ύπαρξης του ελαιόλαδου στην βασική συνταγή δεν εξάχθηκαν συμπεράσματα επειδή υπάρχει αλληλεπίδραση των αντιοξειδωτικών που περιέχει με τα αντιοξειδωτικά από το μέσον εμπλουτισμού αλλά ως προς τις μεθόδους ξήρανσης και με τις δύο μεθόδους τα αποτελέσματα ήταν ίδια.

Συμπερασματικά, η χρήση της μαγιάς ως διογκωτικού παράγοντα οδήγησε σε ζυμάρια με καλύτερες φυσικοχημικές ιδιότητες και υφή και μεγαλύτερη ικανότητα εκτύπωσης. Και οι δύο μέθοδοι εμπλουτισμού ήταν ικανοί στο να εμπλουτίσουν το τελικό προϊόν με πολυφαινόλες. Τέλος, η ξήρανση υπό κενό είναι η προτιμότερη μέθοδος σε σχέση με την ξήρανση σε ρεύμα θερμού αέρα για την συγκράτηση των πολυφαινολών στο τελικό προϊόν και οι συνθήκες ξήρανσης (60°C- 60 min) ήταν ήπιες και δεν προκάλεσαν μεγάλη απώλεια των πολυφαινολών.

Μελλοντικά, θα μπορούσαν να εξεταστούν τα παρακάτω:

- ✓ Να πραγματοποιηθεί ταυτοποίηση των πολυφαινολών στο τελικό προϊόν με την μέθοδο της Υγρής Χρωματογραφίας Υψηλής Απόδοσης (HPLC).
- ✓ Να διερευνηθούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ του συστήματος τρόφιμου και των πολυφαινολών που προστέθηκαν για τον εμπλουτισμό με την μέθοδο φασματοσκοπίας FT-IR.
- ✓ Να γίνουν δοκιμές για την ανάπτυξη παρόμοιων τροφίμων και με άλλα βιοπολυμερή π.χ. άλλου είδους άμυλο (σίτου, πατάτας, ρυζιού κ.α.), άλλο είδος φυτικής πρωτεΐνης (π.χ. κολοκύθας, σόγιας, κάνναβης κ.α.) ή/και άλλο υδροκολλοειδές (π.χ. αραβικό κόμμι, κόμμι γκούαρ κ.α.)
- ✓ Να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά φρούτα πλούσια σε πολυφαινόλες ως μέσο εμπλουτισμού π.χ. κεράσι, διάφορα είδη μούρων, ρόδι κλπ.

## 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

### 4. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Achanta, S. and Okos, M. R. (1996): **Predicting the quality of dehydrated foods and biopolymers – research needs and opportunities.** *Drying Technology* 14(6): 1329–1368.
- Adebisi, A. P., Aluko, R. E. (2011). **Functional properties of protein fractions obtained from commercial yellow field pea (*Pisum sativum* L.) seed protein isolate.** *Food Chemistry*, 128 (4), 902–908.
- Allan, M. C., Chamberlain, M., & Mauer, L. J. (2020). **Effects of sugars and sugar alcohols on the gelatinization temperatures of wheat, potato, and corn starches.** *Foods*, 9(6), 757.
- Andrés-Bello, A., Barreto-Palacios, V. I. V. I. A. N., García-Segovia, P., Mir-Bel, J., & Martínez-Monzó, J. (2013). **Effect of pH on color and texture of food products.** *Food Engineering Reviews*, 5(3), 158-170.
- Ansari, M. M., & Kumar, D. S. (2012). **Fortification of food and beverages with phytonutrients.** *Food and Public Health*, 2(6), 241-253.
- Arendt, E. K., & Dal Bello, F. (2008). **Functional cereal products for those with gluten intolerance. In Technology of functional cereal products** (pp. 446-475). Woodhead Publishing.
- Bagley, E. B., Christiansen, D. D. (1982). **Swelling capacity of starch and its relationship to suspension viscosity: effect of cooking time, temperature and concentration.** *Journal of Texture Studies*, 13, 115–126.
- Bajaj, P., Bhunia, K., Kleiner, L., Joyner, H. S., Smith, D., Ganjyal, G., Sablani. S. S. (2017). **Improving functional properties of pea protein isolate for microencapsulation of flaxseed oil.** *Journal of Microencapsulation*, 34 (2), 218–230.
- Balzarini, M. F., Reinheimer, M. A., Ciappini, M. C., & Scenna, N. J. (2018). **Comparative study of hot air and vacuum drying on the drying kinetics and physicochemical properties of chicory roots.** *Journal of food science and technology*, 55(10), 4067-4078.

- Barac M, Cabrilo S, Pesic M, Stanojevic S, Zilic S, Macej O, Ristic N. (2010). **Profile and functional properties of seed proteins from six pea (*Pisum sativum*) genotypes**. International Journal of Molecular Sciences, 11: 4973-4990
- Becker, A., Katzen, F., Pühler, A., Ielpi, L. (1998). **Xanthan gum biosynthesis and application: a biochemical/genetic perspective**. Applied Microbiology and Biotechnology, 50, 145- 152.
- Beleia, A., Miller, R.A., Hosney C.R. (1996) **Starch Gelatinization in Sugar Solutions**, Starch/Starke 48 Nr. 7/8. S. 259-262
- Belitz, H. D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2008): **Food chemistry**. Springer Science & Business Media.
- BeMiller JN. 2011. **Pasting, paste, and gel properties of starch–hydrocolloid combinations**. Carbohydrates Polymers 86:386–423.
- Bertoft, E. (2017): **Understanding starch structure: Recent progress**. Agronomy, 7(3), 56.
- Blando, F., Gerardi, C., Nicoletti, I. (2004): **Sour Cherry (*Prunus cerasus* L) Anthocyanins as Ingredients for Functional Foods**, Journal of Biomedicine and Biotechnology, 5, 253–258
- Bolek, S. (2020). **Olive stone powder: A potential source of fiber and antioxidant and its effect on the rheological characteristics of biscuit dough and quality**. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 64, 102423.
- Bonerz, Daniel; Würth, Kirsten; Dietrich, Helmut; Will, Frank; (2007) **Analytical characterization and the impact of ageing on anthocyanin composition and degradation in juices from five sour cherry cultivars** European Food Research and Technology, 224, 355 – 364
- Bravo L. (1998): **Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance**. Nutrition Reviews; 56:317-33.
- Bryant, C. M., McClements. D. J., (1998). **Molecular basis of protein functionality with special consideration of cold-set gels derived from heat-denatured whey**. Trends in Food Science & Technology, 9 (4), 143–51.

- Cai, Y. Z., Sun, M., Xing, J., Luo, Q., & Corke, H. (2006). **Structure–radical scavenging activity relationships of phenolic compounds from traditional Chinese medicinal plants.** *Life sciences*, 78(25), 2872-2888.
- Cappelli, A., Cini, E., Guerrini, L., Masella, P., Angeloni, G., & Parenti, A. (2018). **Predictive models of the rheological properties and optimal water content in doughs: An application to ancient grain flours with different degrees of refining.** *Journal of Cereal Science*, 83, 229-235.
- Cappelli, A., Oliva, N., & Cini, E. (2020). **A systematic review of gluten-free dough and bread: Dough rheology, bread characteristics, and improvement strategies.** *Applied Sciences*, 10(18), 6559.
- Cappelli, A.; Guerrini, L.; Cini, E.; Parenti, A. (2019). **Improving whole wheat dough tenacity and extensibility: A new kneading process.** *Journal of Cereal Sciences*, 90, 102852.
- Carciofi, M.; Blennow, A.; Jensen, S.L.; Shaik, S.S.; Henriksen, A.; Buléon, A.; Holm, P.B.; Hebelstrup, K.H. (2012): **Concerted suppression of all starch branching enzyme genes in barley produces amylose-only starch granules.** *BMC Plant Biology*, 12, 223–238.
- Chai, Y., Wang, M., & Zhang, G. (2013). **Interaction between amylose and tea polyphenols modulates the postprandial glycemic response to high-amylose maize starch.** *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(36), 8608-8615.
- Chaovanalikit, A.; Wrolstad, R.E. (2004) **Total anthocyanins and total phenolics of fresh and processed cherries and their antioxidant properties.** *Journal of Food Science*, 69, FST67-FST72.
- Christianson, D.D. (1982): **Hydrocolloid interaction with starches**, in *Food Carbohydrates* (Eds. D. R. Lineback, G. E. Inglett) CT: Avi Publishing Co., Westport, CT.
- Cilek, B., Luca, A., Hasirci, V., Sahin, S., & Sumnu, G. (2012). **Microencapsulation of phenolic compounds extracted from sour cherry pomace: effect of formulation, ultrasonication time and core to coating ratio.** *European Food Research and Technology*, 235(4), 587-596.

- Clas, S. D., Dalton, C. R., & Hancock, B. C. (1999). **Differential scanning calorimetry: applications in drug development.** *Pharmaceutical science & technology today*, 2(8), 311-320.
- Constantino, L.; Albasino, A.; Rastelli, G.; Benvenuti, S. (1992). **Activity of polyphenolic crude extracts as scavengers of superoxide radicals and inhibitors of xanthine oxidase.** *Planta Medica*, 58, 342-344.
- Conte, P., Del Caro, A., Urgeghe, P. P., Petretto, G. L., Montanari, L., Piga, A., & Fadda, C. (2020). **Nutritional and aroma improvement of gluten-free bread: is bee pollen effective?** *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 118, 108711.
- Cui, R., Fei, Y., & Zhu, F. (2022). **Physicochemical, structural and nutritional properties of steamed bread fortified with red beetroot powder and their changes during breadmaking process.** *Food Chemistry*, 383, 132547.
- Derossi, A., Caporizzi, R., Azzollini, D., & Severini, C. (2018). **Application of 3D printing for customized food. A case on the development of a fruit-based snack for children.** *Journal of Food Engineering*, 220, 65-75.
- Dev, S.R.S.; Raghavan, V.G.S. (2012): **Advancements in drying techniques for food, fiber, and fuel.** *Drying Technology*, 30(11–12), 1147–1159.
- Dick, A., Bhandari, B., & Prakash, S. (2019). **Post-processing feasibility of composite-layer 3D printed beef.** *Meat Science*, 153, 9-18.
- Donald, A. (2004). **Understanding starch structure and functionality.** In: Eliasson, A.-C. (Ed.), **Starch in Food: Structure, Function and Applications.** Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK, 156-184.
- Drożdż, W., Tomaszewska-Ciosk, E., Zdybel, E., Boruckowska, H., Boruckowski, T., & Regiec, P. (2014). **Effect of apple and rosehip pomaces on colour, total phenolics and antioxidant activity of corn extruded snacks.** *Polish Journal of Chemical Technology*, 16(3).
- Du, X., & Myracle, A. D. (2018). **Fermentation alters the bioaccessible phenolic compounds and increases the alpha-glucosidase inhibitory effects of aronia juice in a dairy matrix following in vitro digestion.** *Food & function*, 9(5), 2998-3007.
- Duodu, K. G., & Taylor, J. R. N. (2012). **The quality of breads made with non-wheat flours.** In *Breadmaking* (pp. 754-782). Woodhead Publishing.

- Eckhoff, S. R., & Watson, S. A. (2009). **Corn and sorghum starches: production.** In Starch (pp. 373-439). Academic Press.
- Evans, I. D., and D. R. Haisman(1982): **The effect of solutes on the gelatinization temperature range of potato starch.** Starch/Starke 34 224-231
- Ferretti, G., Bacchetti, T., Belleggia, A., Neri,D., (2010): **Cherry Antioxidants: From Farm to Table,** Molecules , 15, 6993-7005;
- Fox, B., Bellini, G., & Pellegrini, L. (2014): **Drying, Fermentation and Biochemical Engineering Handbook,** p.283.
- Gad, A. S., Kholif, A. M., & Sayed, A. F. (2010). **Evaluation of the nutritional value of functional yogurt resulting from combination of date palm syrup and skim milk.** American Journal of Food Technology, 5(4), 250-259.
- Gao, L.; Mazza, G. (1995) **Characterization, quantitation, and distribution of anthocyanins and colorless phenolics in sweet cherries.** Journal of Agricultural Food Chemistry, 43, 343-346.
- Garau, M. C., Simal, S., Rossello, C., & Femenia, A. (2007): **Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (Citrus aurantium v. Canoneta) by-products.** Food chemistry, 104(3), 1014-1024.
- Ge, J., Sun, C. X., Corke, H., Gul, K., Gan, R. Y., & Fang, Y. (2020). **The health benefits, functional properties, modifications, and applications of pea (Pisum sativum L.) protein: Current status, challenges, and perspectives.** Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 19(4), 1835-1876.
- Gerasopoulos, D.; Stavroulakis, G. (1997) **Quality characteristics of four mulberry (Morus spp.) cultivars in the area of Chania Greece.** Journal of the Science and Food Agriculture, 73, 261–264.
- Gökmen, V., Açar, Ö. Ç., Serpen, A., & Morales, F. J. (2008). **Effect of leavening agents and sugars on the formation of hydroxymethylfurfural in cookies during baking.** European Food Research and Technology, 226(5), 1031-1037.
- Gray JA, BeMiller JN. (2003). **Bread staling: molecular basis and control.** Comprehensive Reviews on Food Science and Food Safety F 2:1–21.



- Gruber, P., Becker, W. M., Hofmann, T. (2005). **Influence of the maillard reaction on the allergenicity of rAra h2, a recombinant major allergen from peanut (arachis hypogaea), its major epitopes, and peanut agglutinin.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53 (6), 2289–2296.
- Gunaratne, A., Ranaweera, S., & Corke, H. (2007). **Thermal, pasting, and gelling properties of wheat and potato starches in the presence of sucrose, glucose, glycerol, and hydroxypropyl  $\beta$ -cyclodextrin.** Carbohydrate polymers, 70(1), 112-122.
- Hager, A. S., & Arendt, E. K. (2013). **Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat.** Food Hydrocolloids, 32(1), 195-203.
- Hayta, M., Özüğür, G., Etgü, H., & Şeker, İ. T. (2014). **Effect of Grape (Vitis Vinifera L.) Pomace on the Quality, Total Phenolic Content and Anti-Radical Activity of Bread.** Journal of food processing and preservation, 38(3), 980-986.
- Hidalgo, G.-I., Almajano, M.-P., (2017): **Red Fruits: Extraction of Antioxidants, Phenolic Content, and Radical Scavenging Determination: A Review,** Antioxidants (Basel): 7. doi: 10.3390/antiox6010007
- Jankovic, M (1993) **Physical properties of convectively dried and freeze-dried berrylike fruits.** Faculty of Agriculture. Belgrade, 38(2), 129-135
- Jiugao, Y., Ning, W., & Xiaofei, M. (2005). **The effects of citric acid on the properties of thermoplastic starch plasticized by glycerol.** Starch-Stärke, 57(10), 494-504.
- Kang SY, Seeram NP, Nair MG, Bourquin LD. (2003) **Tart cherry anthocyanins inhibit tumor development in ApcMin mice and reduce proliferation of human colon cancer cells.** Cancer Letters;194(1):13–19.
- Karaca, A. C., Low, N., Nickerson. M. (2011). **Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction.** Food Research International, 44 (9), 2742–2750.
- Karim AA, Norziah MH, Seow CC. (2000). **Methods for the study of starch retrogradation.** Food Chemistry, 71:9–36.

- Karnopp, A. R., Oliveira, K. G., de Andrade, E. F., Postinger, B. M., & Granato, D. (2017). **Optimization of an organic yogurt based on sensorial, nutritional, and functional perspectives.** *Food Chemistry*, 233, 401-411.
- Katzbauer, B. (1998). **Properties and applications of xanthan gum.** *Polymer degradation and Stability*, 59(1-3), 81-84.
- Kaur, R.; Kaur, L. (2021) **Encapsulated Natural Antimicrobials: A Promising Way to Reduce Microbial Growth in Different Food Systems.** *Food Control*, 123, 107678
- Khraisheh, M.A.M.; McMinn, W.A.M.; Magee, (2004) : **T.R.A. Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying.** *Food Research International*, 37(5), 497–503.
- Kim, D.; Heo, H.J.; Kim, Y.J.; Yang, H.S.; Lee, C.Y. (2005): **Sweet and Sour Cherry Phenolics and Their Protective Effects on Neuronal Cells.** *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 9921-9927.
- Kohyama, K., and K. Nishinari (1991): **Effect of soluble sugars on gelatinization and retrogradation of sweet potato starch.** *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 39, 1406-1410
- Krokida, M. K., Maroulis, Z. B., & Saravacos, G. D. (2001) **The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products.** *International journal of food science & technology*, 36(1), 53-59.
- Krokida, M.K.; Maroulis, Z.B. (1997): **Effect of drying method on shrinkage and porosity.** *Drying Technology* 15(10), 2441–2458
- Ladjal-Ettoumi, Y., Boudries, H., Chibane, M., & Romero, A.(2016). **Pea, chickpea and lentil protein isolates: Physico-chemical characterization and emulsifying properties.** *FoodBiophysics*, 11, 43–51.
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., & Biliaderis, C. G. (2007). **Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations.** *Journal of food engineering*, 79(3), 1033-1047.
- León, A., Durán, E., & de Barber, C. B. (1997). **A new approach to study starch changes occurring in the dough-baking process and during bread storage.** *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A*, 204(4), 316-320.

- Lewicki, P.P. (2006) **Design of hot air drying for better foods.** Trends in Food Science & Technology, 17(4), 153–163
- Lille, M., Nurmela, A., Nordlund, E., Metsä-Kortelainen, S., & Sozer, N. (2018). **Applicability of protein and fiber-rich food materials in extrusion-based 3D printing.** Journal of Food Engineering, 220, 20-27.
- Lindsay, M. P., & Skerritt, J. H. (1999). **The glutenin macropolymer of wheat flour doughs: structure–function perspectives.** Trends in Food Science & Technology, 10(8), 247-253.
- Lipton, J. I., Cutler, M., Nigl, F., Cohen, D., & Lipson, H. (2015). **Additive manufacturing for the food industry.** Trends in food science & technology, 43(1), 114-123.
- Lipton, J., Arnold, D., Nigl, F., Lopez, N., Cohen, D., Norén, N., & Lipson, H. (2010, September). **Multi-material food printing with complex internal structure suitable for conventional post-processing.** In 2010 International Solid Freeform Fabrication Symposium. University of Texas at Austin.
- Liu, Y., Liang, X., Saeed, A., Lan, W., & Qin, W. (2019): **Properties of 3D printed dough and optimization of printing parameters.** Innovative food science & emerging technologies, 54, 9-18.
- Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B., & Wang, Y. (2017): **3D printing: Printing precision and application in food sector.** Trends in Food Science & Technology, 69, 83-94.
- Loliger, J. **The use of antioxidants in food.** In **Free Radicals and Food Additives** (1991): Aruoma, O. I., Halliwell, B., Eds.; Taylor and Francis: London
- Macheix, J.-J.; Fleuriet, A.; Billot, J. (1990): **Fruit Phenolics**; CRC Press: Boca Raton, FL.
- Mali, S., Ferrero, C., Redigonda, V., Beleia, A.P., Grossmann, M.V.E., Zaritzky N.E., (2003): **Influence of pH and hydrocolloids addition on yam (Dioscorea alata) starch pastes stability.** Lebensmittel-Wissenschaft Technologie, 36, 475–491.
- Maner, S., A. K. Sharma, and K. Banerjee. (2017). **Wheat flour replacement by wine grape pomace powder positively affects physical, functional and sensory properties of cookies.** Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences 87 (1):109–13

- Marichelvam, M. K., Jawaid, M., & Asim, M. (2019). **Corn and rice starch-based bioplastics as alternative packaging materials.** *Fibers*, 7(4), 32.
- Martínez-Monzó, J., Cárdenas, J., & García-Segovia, P. (2019). **Effect of temperature on 3D printing of commercial potato puree.** *Food Biophysics*, 14(3), 225-234.
- Matos, M. E., & Rosell, C. M. (2015). **Understanding gluten-free dough for reaching breads with physical quality and nutritional balance.** *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(4), 653-661.
- Michalska, A., Ceglinska, A., Amarowicz, R., Piskula, M. K., Szawara-Nowak, D., & Zielinski, H. (2007). **Antioxidant contents and antioxidative properties of traditional rye breads.** *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(3), 734-740.
- Moreira, R.; Chenlo, F.; Chaguri, L.; Mayor, L. (2010): **Analysis of chestnut cellular tissue during osmotic dehydration, air drying, and rehydration processes.** *Drying Technology*, 29(1), 10–18
- Naseer Ahmed ,Jagmohan Singh, Harmeet Chauhan, Prerna Gupta Anisa Anjum, Harleen Kour (2013): **Different Drying Methods: Their Applications and Recent Advances,** *International Journal of Food Nutrition and Safety*, 4(1): 34-42
- Nemes, A., Homoki, J. R., Kiss, R., Hegedűs, C., Kovács, D., Peitl, B., ... & Remenyik, J. (2019). **Effect of anthocyanin-rich tart cherry extract on inflammatory mediators and adipokines involved in type 2 diabetes in a high fat diet induced obesity mouse model.** *Nutrients*, 11(9), 1966.
- O’Kane, F. E., Vereijken, J. M., Gruppen, H., van Boekel M. A. J. S. (2005). **Gelation behavior of protein isolates extracted from 5 cultivars of Pisum sativum L.** *Journal of Food Science* 70, 132–137.
- Olalusi, A. (2014) **Hot Air Drying and Quality of Red and White Varieties of Onion (Allium cepa).** *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 3, 13-19
- Otero-Guzmán, N. C., Rodríguez-Sandoval, E., & Tabares-Londoño, J. A. (2020). **Influence of different types of baking powder on quality properties of muffins.** *Dyna*, 87(214), 9-16.
- Ou, S. J. L., Yu, J., Zhou, W., & Liu, M. H. (2022). **Effects of anthocyanins on bread microstructure, and their combined impact on starch digestibility.** *Food Chemistry*, 374, 131744.

- Papp, N., Szilvássy, B., Abrankó, L., Szabó, T., Pfeiffer, P., Szabó, Z., ... & Hegedűs, A. (2010). **Main quality attributes and antioxidants in Hungarian sour cherries: identification of genotypes with enhanced functional properties.** *International journal of food science & technology*, 45(2), 395-402.
- Pedisić, S., Levaj, B., Dragović-Uzelac, V., & Kos, K. (2007). **Physicochemical composition, phenolic content and antioxidant activity of sour cherry cv. Marasca during ripening.** *Agriculturae conspectus scientificus*, 72(4), 295-300.
- Petrović, J., Pajin, B., Lončarević, I., Šaponjac, V. T., Nikolić, I., Ačkar, Đ., & Zarić, D. (2019). **Encapsulated sour cherry pomace extract: Effect on the colour and rheology of cookie dough.** *Food Science and Technology International*, 25(2), 130-140.
- Pulatsu, E., Su, J. W., Lin, J., & Lin, M. (2020): **Factors affecting 3D printing and post-processing capacity of cookie dough.** *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 61, 102316.
- Qin, Y., Liu, C., Jiang, S., Xiong, L., & Sun, Q. (2016). **Characterization of starch nanoparticles prepared by nanoprecipitation: Influence of amylose content and starch type.** *Industrial Crops and Products*, 87, 182-190.
- Rahman, M. S. (Ed.). (2007). **Handbook of food preservation.** CRC press.
- Rainero, G., Bianchi, F., Rizzi, C., Cervini, M., Giuberti, G., & Simonato, B. (2022). **Breadstick fortification with red grape pomace: Effect on nutritional, technological and sensory properties.** *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(6), 2545-2552.
- Ratnayake, W. S., Jackson, D., (2009) **Chapter 5: Starch Gelatinization**, *Advances in Food and Nutrition Research*, Volume 55
- Ratti, C. (2001) **Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review.** *Journal of Food Engineering* 49, 311-319
- Reis, S. F., Rai, D. K., & Abu-Ghannam, N. (2014). **Apple pomace as a potential ingredient for the development of new functional foods.** *International Journal of Food Science & Technology*, 49(7), 1743-1750.
- Ren, Y., Linter, B. R., Linforth, R., & Foster, T. J. (2020). **A comprehensive investigation of gluten free bread dough rheology, proving and baking performance and**

- bread qualities by response surface design and principal component analysis.** *Food & function*, 11(6), 5333-5345.
- Rezaei, M. N., Jayaram, V. B., Verstrepen, K. J., & Courtin, C. M. (2016). **The impact of yeast fermentation on dough matrix properties.** *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(11), 3741-3748.
  - Rhim, J.-W.; Koh, S.; Kim, J.-M. (2011): **Effect of freezing temperature on rehydration and water vapor adsorption characteristics of freeze-dried rice porridge.** *Journal of Food Engineering*, 104(4), 484–491.
  - Rice-Evans, C.-A.; Miller, N. J.; Bolwell, P. G.; Bramley, P. M.; Pridham, J. B. (1995): **The relative antioxidant activities of plant-derived polyphenolic flavonoids.** *Free Radical Res.* 22, 375-383.
  - Richter Reis, F. (2014). **Introduction to low pressure processes.** In *Vacuum Drying for Extending Food Shelf-Life* (pp. 1-6). Springer, Cham.
  - Rocha Parra, A. F., Ribotta, P. D., & Ferrero, C. (2015). **Apple pomace in gluten-free formulations: effect on rheology and product quality.** *International Journal of Food Science & Technology*, 50(3), 682-690.
  - Rupasinghe, H. V., Wang, L., Huber, G. M., & Pitts, N. L. (2008). **Effect of baking on dietary fibre and phenolics of muffins incorporated with apple skin powder.** *Food Chemistry*, 107(3), 1217-1224.
  - Sant'Anna, V., Christiano, F. D., Marczak, L. D., Tessaro, I. C., & Thys, R. C. (2014). **The effect of the incorporation of grape marc powder in fettuccini pasta properties.** *Lebensmittel-Wissenschaft Technologie – Food Science and Technology*, 58(2), 497-501.
  - Šaponjac, V. T., Četković, G., Čanadanović-Brunet, J., Pajin, B., Djilas, S., Petrović, J., ... & Vulić, J. (2016). **Sour cherry pomace extract encapsulated in whey and soy proteins: Incorporation in cookies.** *Food chemistry*, 207, 27-33.
  - Settanni, L., Cruciata, M., Guarcello, R., Francesca, N., Moschetti, G., La Carrubba, V., & Gaglio, R. (2020). **Valorisation of dairy wastes through kefir grain production.** *Waste and Biomass Valorization*, 11(8), 3979-3985.

- Shand, P. J., Ya, H., Pietrasik, Z., Wanasundara, P. K. J. P. D. (2007). **Physicochemical and textural properties of heat-induced pea protein isolate gels.** Food Chemistry, 102 (4):1119–30
- Shi, Y.-C.; Capitani, T.; Trzasko, P.; Jeffcoat, R.(1998): **Molecular structure of a low-amylopectin starch and other high-amylose maize starches.** Journal of Cereal Sciences, 27, 289–299
- Shujun Wang, Caili Li, Les Copeland, Qing Niu, and Shuo Wang (2015), **Starch Retrogradation: A Comprehensive Review,** Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety Vol.14
- Sijtsma, L., Tezera, D., Hustinx, J., Vereijken, J. M. (1998). **Improvement of pea protein quality by enzymatic modification.** Nahrung/Food, 42 (03-04),215–216.
- Sivam, A. S., Sun-Waterhouse, D., Waterhouse, G. I., Quek, S., & Perera, C. O. (2011). **Physicochemical properties of bread dough and finished bread with added pectin fiber and phenolic antioxidants.** Journal of food science, 76(3), H97-H107.
- Sosulski, F. W., & McCurdy, A. R. (1987). **Functionality of flours, protein fractions and isolates from field peas and faba bean.** Journal of Food Science, 52(4), 1010-1014.
- Spies, R. D., and R. C. Hosney(1982). **Effect of sugars on starch gelatinization.** Cereal Chemistry, 59 128-131.
- Srichuwong, S., Curti, D., Austin, S., King, R., Lamothe, L., & Gloria-Hernandez, H. (2017). **Physicochemical properties and starch digestibility of whole grain sorghums, millet, quinoa and amaranth flours, as affected by starch and non-starch constituents.** Food Chemistry, 233, 1-10.
- Sun, H. N., Mu, T. H., & Xi, L. S. (2017). **Effect of pH, heat, and light treatments on the antioxidant activity of sweet potato leaf polyphenols.** International Journal of Food Properties, 20(2), 318-332.
- Sun, X. D., Arntfield S. D. (2010). **Gelation properties of salt-extracted pea protein induced by heat treatment.** Food Research International, 43, (2):509–15.
- Sun-Waterhouse, D., Jin, D., & Waterhouse, G. I. (2013). **Effect of adding elderberry juice concentrate on the quality attributes, polyphenol contents and antioxidant**

- activity of three fibre-enriched pastas.** Food Research International, 54(1), 781-789.
- Taglieri, I., Sanmartin, C., Venturi, F., Macaluso, M., Zinnai, A., Tavarini, S., ... & Angelini, L. G. (2020). **Effect of the leavening agent on the compositional and sensorial characteristics of bread fortified with flaxseed cake.** Applied Sciences, 10(15), 5235.
  - Tester, R. F., Sommerville, M. D. (2003): **The effects of non-polysaccharides on the extent of gelatinization, swelling and alpha-amylase hydrolysis of maize and wheat starches.** Food Hydrocolloids, 17, 41–54
  - Tolve, R., Simonato, B., Rainero, G., Bianchi, F., Rizzi, C., Cervini, M., & Giuberti, G. (2021). **Wheat bread fortification by grape pomace powder: Nutritional, technological, antioxidant, and sensory properties.** Foods, 10(1), 75.
  - Tömösközi, S., Lásztity, R., Haraszi, R., & Baticz, O. (2001). **Isolation and study of the functional properties of pea proteins.** Food/Nahrung, 45(6), 399-401.
  - Tsao R. (2010). **Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols.** Nutrients, 2(12), 1231–1246. <https://doi.org/10.3390/nu2121231>
  - Urlacher, B., & Noble, O. (1997). **Xanthan gum.** In Thickening and gelling agents for food (pp. 284-311). Springer, Boston, MA.
  - Wang H, Nair MG, Lezzoni A, Strasburg GM, Booren AM, Gray JI. (1997): **Quantification and characterization of anthocyanins in Balaton tart cherries.** J Agric Food Chem.;45(7):2556–2560.
  - Wang H, Nair MG, Strasburg GM, et al. (1991) **Antioxidant and anti-inflammatory activities of anthocyanins and their aglycon, cyanidin, from tart cherries.** Journal of Natural Products, 62(2):294–296.
  - Wang SJ, Copeland L. (2013). **Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: a review.** Food Function 4:1564–80.
  - Wang, H.; Cao,; Prior, R. L. (1997). **Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, 45, 304-309.
  - Wang, H.; Nair, M. G.; Strasburg, G. M.; Chang, Y. C.; Booren, A. M.; Gray, J. I.; DeWitt, D. L. (1999) **Antioxidant and antiinflammatory activities of anthocyanins**



- and their aglycon, cyanidin from tart cherries.** *Journal of Natural Products*, 62, 294–296
- White, P. J. (2001). **Properties of corn starch.** *Specialty corns*, 2, 34-55.
  - Wojdyło, A., Nowicka, P., Laskowski, P., Oszmianski, J. (2014): **Evaluation of Sour Cherry (*Prunus cerasus* L.) Fruits for Their Polyphenol Content, Antioxidant Properties, and Nutritional Components,** *Journal of Agricultural and Food Chemistry*
  - Wu Y, Chen ZX, Li XX, Li M. (2009). **Effect of tea polyphenols on the retrogradation of rice starch.** *Food Research International*, 42:221–5.
  - Wu, Y., Lin, Q., Chen, Z., & Xiao, H. (2011). **The interaction between tea polyphenols and rice starch during gelatinization.** *Food science and technology international*, 17(6), 569-577.
  - Xiao, H., Lin, Q., Liu, G. Q., & Yu, F. (2012). **Evaluation of black tea polyphenol extract against the retrogradation of starches from various plant sources.** *Molecules*, 17(7), 8147-8158.
  - Yang, F., Zhang, M., Prakash, S., & Liu, Y. (2018): **Physical properties of 3D printed baking dough as affected by different compositions.** *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 49, 202-210.
  - Zadernowski, R.; Naczk, M.; Nesterowicz, (2005): **J. Phenolic acid profiles in some small berries.** *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 2118– 2124.
  - Zhao, H. F., Shen, C., Wu, Z. J., Zhang, Z., & Xu, C. M. (2020). **Comparison of wheat, soybean, rice, and pea protein properties for effective applications in food products.** *Journal of Food Biochemistry* e13157
  - Zhu, F., & Wang, Y. J. (2012). **Rheological and thermal properties of rice starch and rutin mixtures.** *Food research international*, 49(2), 757-762
  - Zhu, F., (2015), **Interactions between starch and phenolic compound,** *Trends in Food Science & Technology* 43 129-143
  - Zhu, F., Cai, Y. Z., Sun, M., & Corke, H. (2009). **Effect of phytochemical extracts on the pasting, thermal, and gelling properties of wheat starch.** *Food Chemistry*, 112(4), 919-923.
  - Λάζου Α, (2019). **Φυσικές Ιδιότητες Τροφίμων.** p:202-212 Εκδ. Παπαζήση

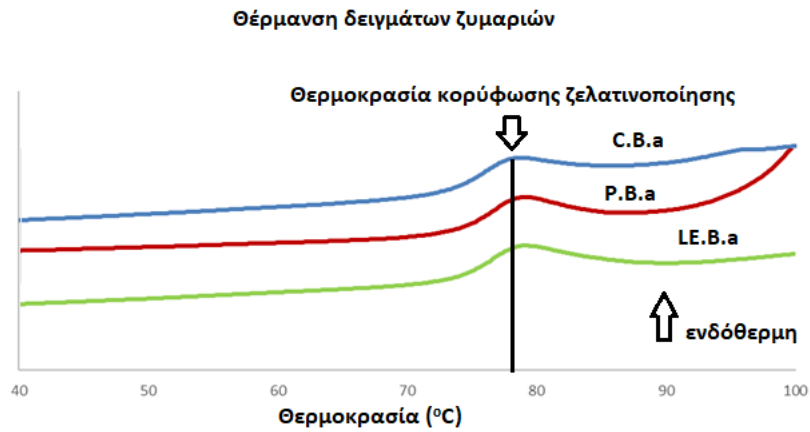
- Στέγγου, Α. (2015). **Θερμικές διεργασίες [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]**. Κάλλιπος, Α-νοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. <http://hdl.handle.net/11419/2118>

## 5° κεφάλαιο

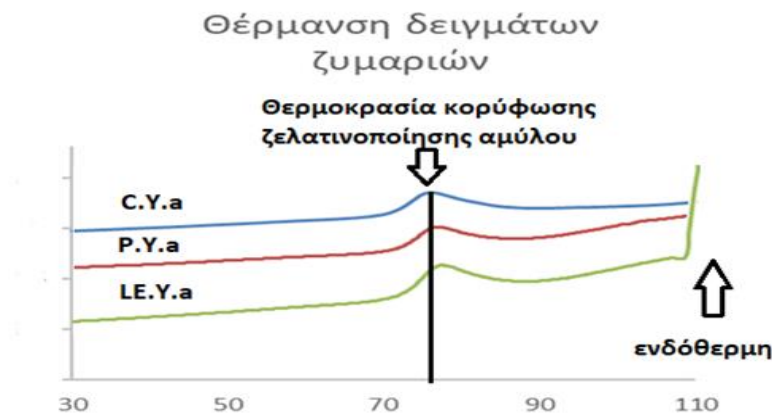
### 5. Παράρτημα/ Θερμογραφήματα DSC

#### 5.1. Θέρμανση δειγμάτων ζυμαριών

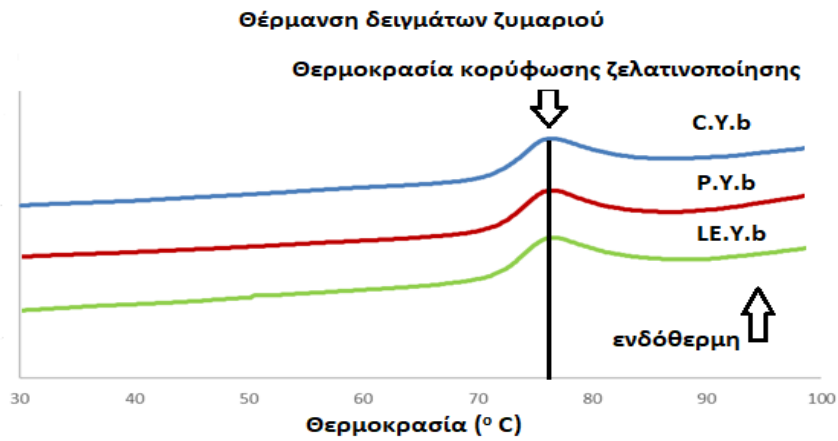
- Δείγματα C.B.a, P.B.a, LE.B.a



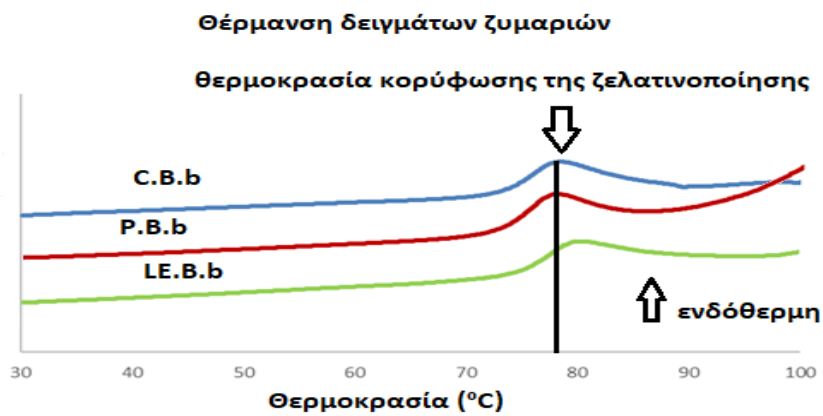
- Δείγματα C.Y.a, P.Y.a, LE.Y.a



- Δείγματα C.Y.b, P.Y.b, LE.Y.b

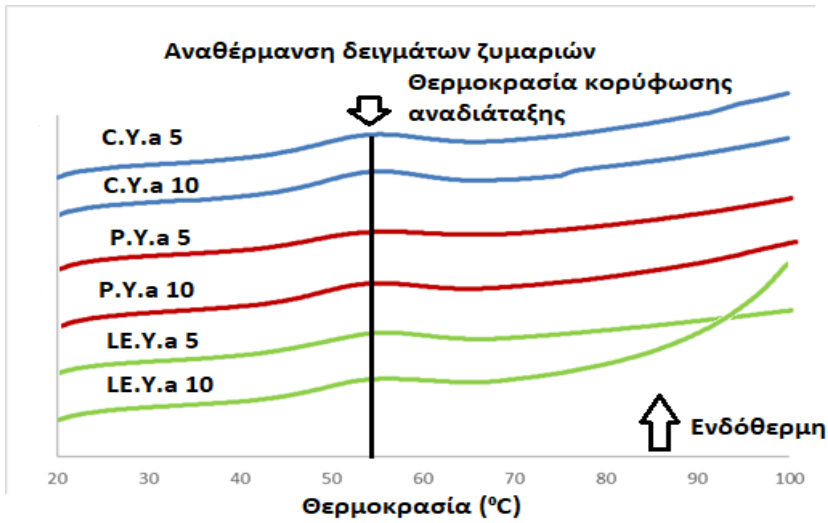


- Δείγματα C.B.b, P.B.b, LE.B.b

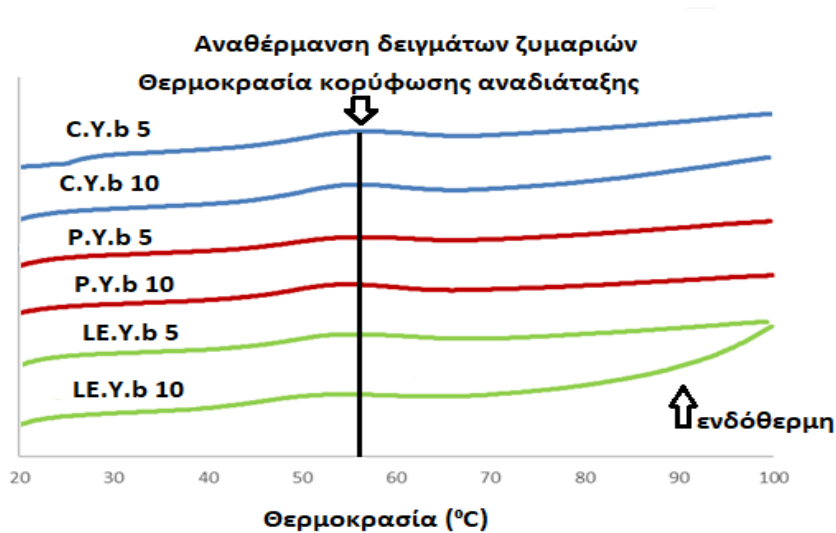


## 5.2. Αναθέρμανση δειγμάτων ζυμαριών

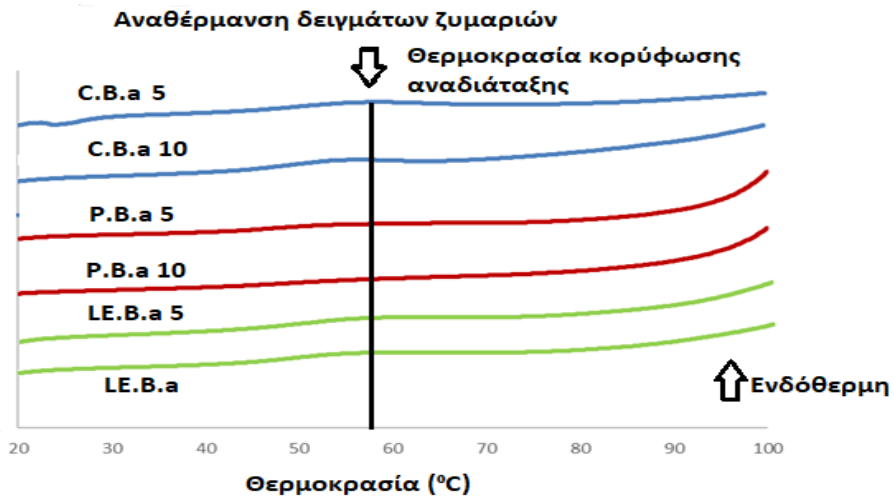
- C.Y.a, P.Y.a, LE.Y.a (5<sup>η</sup>/10<sup>η</sup> ημέρα)



- C.Y.b, P.Y.b, LE.Y.b (5<sup>η</sup>/10<sup>η</sup> ημέρα)



- Δείγματα C.B.a, P.B.a, LE.B.a (5<sup>η</sup>/10<sup>η</sup> ημέρα)



- Δείγματα C.B.b, P.B.b, LE.B.b (5<sup>η</sup>/10<sup>η</sup> ημέρα)

