



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

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Χαρακτηρισμός αμύλων διαφορετικών πηγών με σκοπό το σχηματισμό υδρογελών και πιθανή εφαρμογή τους σε μοντέλα τροφίμων

Χρυσούλα Π. Τσολακίδου

Επιβλέπουσα καθηγήτρια:

Ιωάννα Μαντάλα, Καθηγήτρια ΓΠΑ

**ΑΘΗΝΑ
2023**

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

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Χαρακτηρισμός αμύλων διαφορετικών πηγών με σκοπό το σχηματισμό υδρογελών και πιθανή εφαρμογή τους σε μοντέλα τροφίμων

Characterization of starches from different botanical sources in order to form hydrogels and possible application in food models

Χρυσούλα Π. Τσολακίδου

Εξεταστική Επιτροπή:

Ιωάννα Μαντάλα, Καθηγήτρια, ΓΠΑ (επιβλέπουσα)

Νικόλαος Στοφόρος, Καθηγητής ΓΠΑ

Θεοφάνια Τσιρώνη, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ

Χαρακτηρισμός αμύλων διαφορετικών πηγών με σκοπό το σχηματισμό υδρογελών και πιθανή εφαρμογή τους σε μοντέλα τροφίμων

ΠΜΣ Επιστήμη & Τεχνολογία Τροφίμων

Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων & Διατροφής του Ανθρώπου

Εργαστήριο Μηχανικής & Επεξεργασίας Τροφίμων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το άμυλο αποτελεί τον κυριότερο αποθησαυριστικό πολυσακχαρίτη των φυτών με μερικές από τις σημαντικότερες καλλιέργειες να είναι η πατάτα, ο αραβόσιτος και η κασσάβα. Οι ιδιότητες των αμύλων μεταβάλλονται ανάλογα με τη βοτανική τους προέλευση. Στην παρούσα ερευνητική εργασία, μελετήθηκαν 6 διαφορετικής βοτανικής προέλευσης άμυλα ως προς την δυνατότητα τους να σχηματίζουν υδρογέλες. Επιπλέον πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση της υφής των υδρογελών με αντικειμενικές και οργανοληπτικές μεθόδους.

Τα άμυλα που μελετήθηκαν προέρχονταν από πατάτα, αραβόσιτο, κασσάβα, kuzu, αραρούτι και κάστανο. Το άμυλο από κάστανο απομονώθηκε με αλκαλική μέθοδο από εμπορικά διαθέσιμο άλευρο κάστανου. Ενώ τα υπόλοιπα άμυλα αποτέλεσαν έτοιμα προϊόντα εμπορίου. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε χαρακτηρισμός των αμυλόκοκκων με οπτικό μικροσκόπιο, και υπό πολωμένο φως και μετρήθηκε η μέση διάμετρος των κόκκων. Στη συνέχεια προσδιορίστηκε η υγρασία των αμύλων.

Για την μελέτη της υφής δημιουργήθηκαν υδρογέλες συγκέντρωσης 10%. Η υφή αξιολογήθηκε με τη χρήση του Instron όπου πραγματοποιήθηκε Texture Profile Analysis (TPA) και οι ιδιότητες που μετρήθηκαν ήταν Σκληρότητα, Συνεκτικότητα, Ελαστικότητα, Συνάφεια και Κομμιώδες. Ακολούθησε οργανοληπτική αξιολόγηση με 2 μεθόδους περιγραφικής ανάλυσης. Η πρώτη είναι γενική περιγραφική δοκιμή με ψηλάφηση όπου μετρήθηκαν οι ιδιότητες Σκληρότητα, Συνεκτικότητα, Ελαστικότητα και Συνάφεια. Ενώ η δεύτερη είναι δοκιμασία κατάταξης και αφορά τη διαφάνεια των υδρογελών. Τέλος, αξιολογήθηκε ο δείκτης συνοχής υδρογελών και κρεμών περιεκτικότητας 5% από άμυλο αραβόσιτου, κασσάβας και kuzu με 2 μεθόδους (Bostwick consistometer και Line spread test).

Από το TPA προέκυψε ότι οι υδρογέλες με τη μεγαλύτερη ομοιότητα είναι τα ζεύγη αραβόσιτος-kuzu και κασσάβα-αραρούτι. Τη μεγαλύτερη σκληρότητα παρουσίασε η υδρογέλη του αραβόσιτου ενώ περισσότερο μαλακές ήταν οι κασσάβα και αραρούτι. Η μέτρηση της συνάφειας δεν έδωσε αξιόπιστα αποτελέσματα λόγω των πολύ μικρών τιμών που έλαβε. Σε σύγκριση με την οργανοληπτική αξιολόγηση παρατηρήθηκαν υψηλές συσχετίσεις ανάμεσα στην οργανοληπτική σκληρότητα και τη σκληρότητάς του TPA ($r=0.85$ ενώ με λογαριθμικό μετασχηματισμό $r'=0.92$). Επιπρόσθετα, η οργανοληπτική ελαστικότητα και η ελαστικότητα του TPA είχαν επίσης υψηλή συσχέτιση ($r=0,90$). Οι δείκτες συνοχής είναι σε συμφωνία και στις 2 μεθόδους και η σειρά κατάταξης των υδρογελών με βάση το ιξώδες είναι η ακόλουθη: Αραβόσιτος > Kuzu > Κασσάβα. Σε αντίθεση οι κρέμες αμύλου αραβόσιτου και kuzu δεν εμφάνισαν διαφορές.

Επιστημονική περιοχή: Μηχανική τροφίμων

Λέξεις κλειδιά: υφή, διπλή συμπίεση, υδρογέλη αμύλου, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά

Characterization of starches from different botanical sources in order to form hydrogels and possible application in food models

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

ABSTRACT

Starch is the main polysaccharide that plants use to store energy. Some of the most important plants that are cultivated for their starch are potato, maize and cassava. The properties of starches vary depending on their botanical origin. In the present study, 6 starches of different botanical origin were assessed in terms of their ability to form hydrogels. In addition, an evaluation of the texture of these hydrogels was carried out with objective and sensory methods.

The starches derived from potato, maize, cassava, kuzu, arrowroot and chestnut were used. Chestnut starch was isolated by an alkaline method from commercially available chestnut flour. While the rest of the starches were commercial products. First, the starch granules were characterized by optical microscopy, and under polarized light, and the average diameter of the granules was measured. The moisture content of the starches was then determined.

To study the texture, 10% concentration hydrogels were created. Texture was evaluated using Instron where Texture Profile Analysis (TPA) was performed, and the properties measured were Hardness, Cohesiveness, Elasticity, Adhesiveness and Gumminess. Sensory evaluation was conducted with 2 methods of descriptive analysis. The first is a general descriptive test by palpation where the properties Hardness, Cohesiveness, Elasticity and Adhesiveness were measured. While the second is a ranking test and concerns the transparency of the hydrogels. Finally, the consistency of hydrogels and creams containing 5% of maize, cassava and kuzu starch was determined with 2 methods (Bostwick consistometer and Line spread test).

TPA revealed that the hydrogels with the highest similarity are the pairs maize-kuzu and cassava-arrowroot. Maize hydrogel showed the greatest hardness, while cassava and arrowroot were softer. The Adhesiveness measurement did not give reliable results due to the very small values obtained. In comparison to the sensory evaluation, high correlations were observed between the sensory hardness and the hardness of the TPA ($r=0.85$ while with a logarithmic transformation $r'=0.92$). Furthermore the sensory elasticity and the elasticity of the TPA had also a high correlation ($r=0.90$). Consistency of the 2 tests are in agreement and the ranking order of the hydrogels based on it is as follows: Maize > Kuzu > Cassava. In contrast, cornstarch and kuzu creams did not show any differences.

Scientific area: Food Engineering

Keywords: texture, double compression, starch hydrogel, sensory characteristics

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα Καθηγήτριά μου κ. Μαντάλα Ιωάννα για την καθοδήγηση, συμβουλές, ελευθερία και εμπιστοσύνη που μου έδωσε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης. Επίσης ευχαριστώ πολύ όλα τα μέλη του εργαστηρίου την Μηχανικής και Επεξεργασίας Τροφίμων για το φιλικό και ευχάριστο κλίμα εργασίας και συνεργασίας. Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω το Εργαστήριο Φυσιολογίας & Μορφολογίας Φυτών και τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Λιακόπουλο όπου πραγματοποιήθηκε η παρατήρηση των αμυλοκόκκων υπό πολωμένο φως. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου, παλιούς και νέους, χωρίς τη βοήθεια των οποίων δεν θα μπορούσα να ολοκληρώσω την παρούσα μελέτη. Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου για την στήριξη και υπομονή τους.

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

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	1
1.1	Άμυλο	1
1.1.1	Σημασία – Χρήσεις αμύλου	1
1.1.2	Δομή αμύλου	3
1.1.3	Δομή αμυλοκόκκων και μαλτεζικός σταυρός.....	6
1.1.4	Πηγές αμύλου και εξαγωγή.....	8
1.1.4.1	Άμυλο πατάτας	8
1.1.4.2	Άμυλο αραβοσίτου.....	10
1.1.4.3	Άμυλο κούτζου (Kuzu)	12
1.1.4.4	Άμυλο ταπιόκας ή μανιόκας (Tapioca).....	13
1.1.4.5	Άμυλο αραρούτι.....	14
1.1.4.6	Άμυλο από κάστανο	16
1.1.5	Ζελατινοποίηση αμύλου	17
1.1.6	Υδρογέλη	22
1.2	Υφή.....	23
1.2.1	Ορισμός	23
1.2.2	Σημασία της υφής και μέθοδοι αξιολόγησης.....	23
1.2.3	Αντικειμενικές μέθοδοι	24
1.2.3.1	Texture Profile Analysis (TPA) (Μιμητική)	24
1.2.3.2	Δείκτης συνοχής (Consistency) (Εμπειρική)	27
1.2.3.2.1	Μέτρηση συνοχής με τη συσκευή Bostwick Consistometer	28
1.2.3.2.2	Μέτρηση συνοχής με μέτρηση απλώματος USDA Consistometer - Line spread test.....	29
1.2.4	Οργανοληπτική αξιολόγηση.....	29
1.2.4.1	Υφή και αφή με ψηλάφηση	31
1.2.4.2	Όραση (Μάτια – διαφάνεια)	32
2	Υλικά και Μέθοδοι	33
2.1	Πρώτες ύλες	33
2.2	Εξαγωγή αμύλου από άλευρο κάστανου	33
2.3	Χαρακτηρισμός κόκκων αμύλου με οπτικό μικροσκόπιο.....	36
2.4	Πολωμένο φως	37
2.5	Προσδιορισμός υγρασίας αμύλων	37
2.6	Δημιουργία υδρογέλης.....	38
2.7	Ζελατίνη	39

2.8	Μέτρηση παραμέτρων υφής (Texture Profile Analysis)	40
2.9	Οργανοληπτική αξιολόγηση.....	43
2.10	Δείκτης συνοχής (Consistency).....	45
2.10.1	1 ^η Μέθοδος: Bostwick consistometer	46
2.10.2	2 ^η Μέθοδος: Βασισμένη στο USDA consistometer line spread test.....	47
2.11	Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων	48
3	Αποτελέσματα και Συζήτηση	49
3.1	Αμυλόκοκκοι.....	49
3.1.1	Σχήμα.....	49
3.1.2	Μέση Διάμετρος αμυλοκόκκων.....	51
3.1.3	Καμπύλη κατανομής της μέσης διαμέτρου των αμυλοκόκκων	52
3.2	Υγρασία	53
3.3	Texture Profile Analysis.....	54
3.3.1	Σκληρότητα.....	54
3.3.2	Συνεκτικότητα.....	56
3.3.3	Ελαστικότητα	57
3.3.4	Συνάφεια (Adhesiveness)	58
3.3.5	Κομμιώδες (Gumminess).....	59
3.4	Οργανοληπτική αξιολόγηση.....	60
3.4.1	Διαφάνεια.....	60
3.4.2	Σκληρότητα.....	62
3.4.3	Συνεκτικότητα.....	63
3.4.4	Ελαστικότητα	64
3.4.5	Συνάφεια	65
3.5	Συσχέτιση οργανοληπτικών αποτελεσμάτων και TPA	66
3.6	Δείκτης συνοχής	69
3.6.1	Bostwick consistometer	69
3.6.2	Line Spread test	71
4	Συμπεράσματα.....	73
5	Παράρτημα	76
5.1	Πίνακες ανάλυσης παραλλακτικότητας και πολλαπλών συγκρίσεων	76
5.2	Ερωτηματολόγιο διαλογής δοκιμαστών.....	89
5.3	Ερωτηματολόγιο οργανοληπτικής αξιολόγησης.....	90
6	Βιβλιογραφία	91

1 Εισαγωγή

1.1 Άμυλο

1.1.1 Σημασία – Χρήσεις αμύλου

Το άμυλο είναι ένα πολύ σημαντικό και ευρέως διαδεδομένο φυσικό προϊόν. Αποτελεί τον κύριο πολυσακχαρίτη των φυτών και απαντάται στα φύλλα των πράσινων φυτών, στους σπόρους, στους καρπούς, στους μίσχους, στις ρίζες και στους κονδύλους. Είναι το τελικό προϊόν της φωτοσύνθεσης και αποτελεί τη χημική μορφή αποθήκευσης της ενέργειας του ήλιου στη γη. Είναι η κύρια πηγή ενέργειας για τους μη φωτοσυνθετικούς οργανισμούς. Οι κυριότερες καλλιέργειες τροφίμων στον κόσμο αποτελούν πηγές αμύλου. Το άμυλο περιέχεται στο σιτάρι, στις πατάτες, στο ρύζι, στον αραβόσιτο, στο κριθάρι, στη σίκαλη, στα φασόλια, στα μπιζέλια, στο σόργο, στην ταπιόκα (ή μανιόκα), στις γλυκοπατάτες, στο αβοκάντο, στο αραρούτι, στο κολοκάσι στις μπανάνες, στο μάνγκο, στον ανανά, στο σάγο (άμυλο φοίνικα) και αλλού (Robyt, 2008).

Υπολογίζεται ότι το 60-70% του συνόλου των θερμίδων που προσλαμβάνει ο άνθρωπος από την τροφή προέρχονται από το άμυλο. Ως εκ τούτου, το άμυλο έχει μεγάλη σημασία στην εξέλιξη των οργανισμών και ιδιαίτερα του ανθρώπου καθώς είχε καθοριστικό ρόλο και στην εξέλιξη του πολιτισμού. Εκτός από βασική τροφή, το άμυλο σίτου χρησιμοποιήθηκε, κυρίως στην Αίγυπτο (περίπου το 4000 π.Χ.) για να βελτιώσει τον πάπυρο, δηλαδή να αυξήσει το πάχος του και να μειώσει τη ροή στη μελάνη. Όταν το χαρτί δημιουργήθηκε στην Κίνα, το άμυλο χρησιμοποιήθηκε επίσης για να δώσει το κατάλληλο πάχος στο χαρτί και για να αυξήσει την αντοχή του στη διείδυση της μελάνης. Οι Ρωμαίοι (~ 100 π.Χ.) χρησιμοποίησαν άμυλο για να ασπρίζουν τα υφάσματα και ως πούδρα στα μαλλιά, και περίπου το 300 μ.Χ., το άμυλο χρησιμοποιήθηκε ευρέως για την ενίσχυση των υφασμάτων και συχνά, αναμεμιγμένο με βαφές για τον χρωματισμό τους. Έγχρωμα άμυλα (ειδικά το κίτρινο και το κόκκινο) χρησιμοποιήθηκαν και ως καλλυντικά (Robyt, 2008).

Κατά τον Μεσαίωνα στην Ολλανδία η βιομηχανική παραγωγή του αμύλου παρουσίασε σημαντική άνθηση και στα μέσα του 1500 το άμυλο εισήχθη στην Αγγλία. Το δέκατο ένατο αιώνα η βιομηχανία αμύλου επεκτάθηκε σε όλο τον κόσμο,

γεγονός που οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις απαιτήσεις της κλωστοϋφαντουργίας, της έγχρωμης εκτύπωσης και της βιομηχανίας χαρτιού, αλλά και στην ανακάλυψη ότι το άμυλο μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε ένα προϊόν που μοιάζει με κόμμι, γνωστό ως δεξτρίνη (Taggart & Eliasson, 2004).

Τα άμυλα έχουν τη δυνατότητα να τροποποιούνται και να αποκτούν επιθυμητά χαρακτηριστικά, ως εκ τούτου χρησιμοποιούνται σε μικρές ποσότητες ως πρόσθετα τροφίμων. Τα πρόσθετα αυτά έχουν πολλές διαφορετικές χρήσεις και επιτελούν πολλαπλές λειτουργίες, ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής και χρήσης τους. Μερικά χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν το ιξώδες σε σάλτσες, σούπες και επιδόρπια. Άλλα για να προσθέσουν γλυκύτητα, να διατηρήσουν το χρώμα ή τη γεύση. Άλλα πάλι για να διατηρήσουν την υφή ή να αποτρέψουν την κρυστάλλωση όταν τα προϊόντα καταψύχονται και επαναθερμαίνονται. Ορισμένα συστατικά με βάση το άμυλο είναι επίσης εναλλακτικές λύσεις χαμηλών θερμίδων αντί για σάκχαρα, με αναγνωρισμένα οφέλη στη διαχείριση βάρους, τον γλυκαιμικό έλεγχο και την υγεία των δοντιών (Taggart & Eliasson, 2004). Περισσότερες εφαρμογές του αμύλου στη βιομηχανία των τροφίμων αναγράφονται στον Πίνακα 1.

Σήμερα το άμυλο εξακολουθεί να χρησιμοποιείται στη βιομηχανία υφασμάτων όχι μόνο για να αυξήσει το πάχος και την ακαμψία των υφασμάτων, αλλά προστιθέμενο σε μεμονωμένα νήματα για να αυξήσει την αντοχή τους στη μηχανική καταπόνηση και στην τριβή και να ενισχύσει την αντίσταση τους στη διείσδυση της υγρασίας. Επιπλέον βοηθά στην εκτύπωση και στο καλό φινίρισμα του υφάσματος (Batchelor et al., 1996).

Η βιομηχανία απορρυπαντικών χρησιμοποιεί προϊόντα αμύλου για την παραγωγή βιοδιασπώμενων, μη τοξικών και φιλικών προς το δέρμα απορρυπαντικών. Τα προϊόντα αμύλου χρησιμοποιούνται επίσης σε μια σειρά λιγότερο προφανών εφαρμογών: στη ζύμωση - για την παραγωγή αμινοξέων, οργανικών οξέων, ενζύμων και ζυμομυκήτων, από τη χημική βιομηχανία - για την παραγωγή επιφανειοδραστικών ουσιών, πολυουρεθανών, ρητίνων και βιοδιασπώμενων πλαστικών. Αλλά και στον κατασκευαστικό κλάδο – σαν πρόσμικτα σκυροδέματος, σοβάδων και μονώσεων, καθώς και στην επεξεργασία ορυκτών και μετάλλων (Röper et al., 1993).

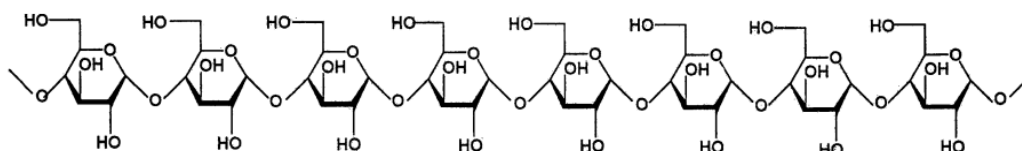
Πίνακας 1: Εφαρμογές του αμύλου στη βιομηχανία των τροφίμων (BeMiller & Whistler, 2009)

Λειτουργία	Είδος Τροφίμου
Προσκόλληση	Επικάλυψη (Πανάρισμα) τροφίμων
Δέσιμο (Binding)	Μορφοποιημένο κρέας, καρυκεύματα σνακ
θόλωμα	Αναψυκτικά
Τραγάνισμα	Τηγανητά και ψημένα φαγητά, σνακ
Επάλειψη/ Πασπάλισμα (Dusting)	Τσίχλες, προϊόντα αρτοποιίας
Σταθεροποίηση γαλακτώματος	Ποτά, κρέμα γάλακτος (creamers)
Ενθυλάκωση	Γεύση
Διόγκωση	Σνακ, δημητριακά
Υπόκατάστατα λίπους	Παγωτό, ντρέσινγκ για σαλάτες, επάλειψη
Σταθεροποίηση αφρού	Marshmallows
Μέσο πήξης (Gelling)	Σταγόνες τσίχλας (gum drops), εσωτερικό τσίχλας
Γλάσο (Glazing)	Αρτοποιείο, σνακ
Κατακράτηση υγρασίας	Κέικ, κρέατα
Πηκτικό μέσο (Thickening)	Σάλτσες, γεμίσεις πίτας, σούπες

1.1.2 Δομή αμύλου

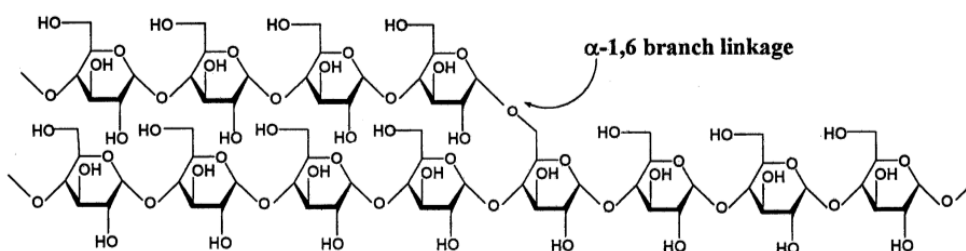
Το άμυλο αποτελείται από δύο πολυμερή γλυκάνης: την αμυλόζη (Εικόνα 1) και την αμυλοπηκτίνη (Εικόνα 2). Η αμυλόζη είναι ένας γραμμικός πολυσακχαρίτης με ελάχιστες διακλαδώσεις, άλλες εκ των οποίων είναι πολύ μικρές και άλλες πολύ μεγάλες. Η αμυλόζη αποτελείται, ανάλογα με το είδος του φυτού, από 250 μέχρι και 5000 μόρια D-γλυκόζης, που συνδέονται μεταξύ τους με α-(1-4) γλυκοσιδικούς δεσμούς, οι οποίοι προκαλούν την ελικοειδή διαμόρφωση του πολυμερούς (Robyt, 1998). Σε κάθε βήμα έλικας απαντώνται έξι μόρια γλυκόζης. Το μοριακό της βάρος κυμαίνεται μεταξύ $1,0 \times 10^3$ έως $1,6 \times 10^4$ Daltons, ανάλογα κυρίως το φυτό από το οποίο προέρχεται, τη μέθοδο παρασκευής, και κατά δεύτερο λόγο από την ωριμότητα και τις συνθήκες ανάπτυξης του φυτού. Σε στερεή κατάσταση συνήθως

εμφανίζεται με τη μορφή αριστερόστροφη εξαπλής έλικας. Επειδή το εσωτερικό της έλικας της αμυλόζης είναι υδρόφοβο, η αμυλόζη μπορεί να συνδέεται με μη πολικά μόρια, όπως τα λιπαρά οξέα και τα άλατά τους, τα μονο- και διγλυκερίδια (BeMiller, 2019).



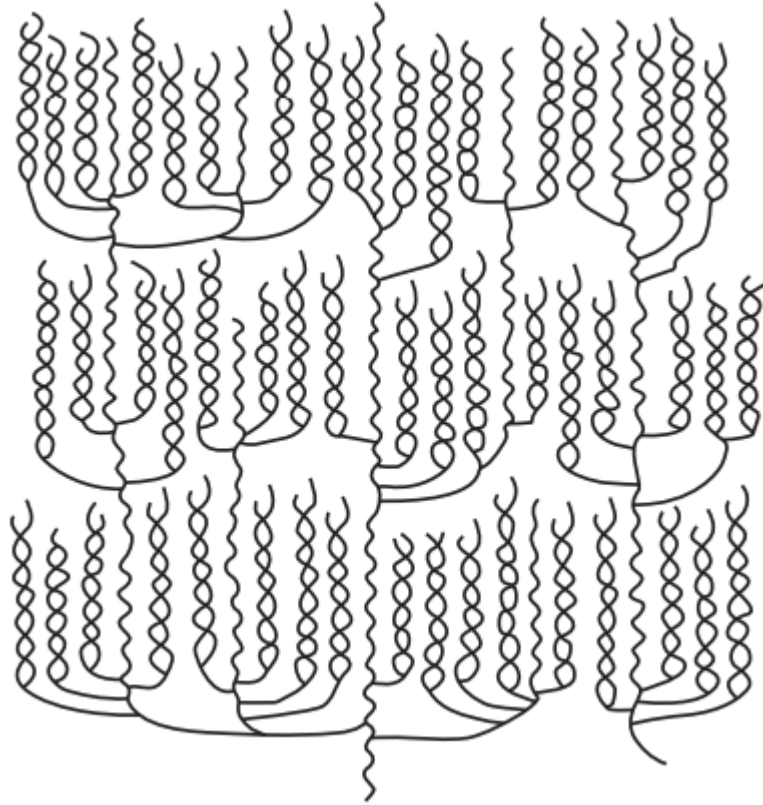
Εικόνα 1: Τμήμα αμυλόζης (Robytt, 2008)

Η αμυλοπηκτίνη είναι ένας διακλαδιζόμενος ομοσακχαρίτης. Αποτελείται από 10000 έως 100000 μόρια D-γλυκόζης, τα οποία συνδέονται με α -(1-4) γλυκοζιτικούς δεσμούς. Τα σημεία διακλάδωσης βρίσκονται κάθε 20-30 μόρια γλυκόζης και γίνονται με α -(1-6) γλυκοζιτικούς δεσμούς. Οι διακλαδώσεις αυτές με τη σειρά τους, διακλαδίζονται περαιτέρω μέσω α -(1-6) δεσμών.



Εικόνα 2: Τμήμα αμυλοπηκτίνης (Robytt, 2008).

Ο μέσος αριθμός μορίων γλυκόζης για την αμυλοπηκτίνη κυμαίνεται από 10000 έως 100000 (Robytt, 1998). Έχει προσδιοριστεί ότι περιέχει διακλαδώσεις σε ποσοστό 5%. Το μοριακό βάρος της αμυλοπηκτίνης κυμαίνεται μεταξύ 5×10^5 έως $2,5 \times 10^6$ Da ανάλογα κυρίως το φυτό από το οποίο προέρχεται, τη μέθοδο παρασκευής, και κατά δεύτερο λόγο από την ωριμότητα και τις συνθήκες ανάπτυξης του φυτού (BeMiller, 2019).



Εικόνα 3: Κλασική διαγραμματική αναπαράσταση τμημάτων μορίων αμυλοπηκτίνης (BeMiller, 2019).

Στα περισσότερα φυτά η αμυλοπηκτίνη αποτελεί το 75-80% της συνολικής μάζας του αμύλου και η αμυλόζη το 20-25%. Η αναλογία αμυλόζης/ αμυλοπηκτίνης και οι δομές καθεμιάς ελέγχονται γενετικά. Μερικές ενδεικτικές τιμές περιεκτικότητας σε αμυλόζη (% w/w) σε διάφορα τρόφιμα είναι οι ακόλουθες: στο κριθάρι είναι 29,8, στο σιτάρι 21,5–26,6, στη γλυκοπατάτα 22,6, στη μανιόκα 19,8, στο αραρούτι 20,8, στο γιαμ 32,6, στο τζίντζερ 26,5, στον αραβόσιτο 20,9, στο ρύζι 29,1, στην πατάτα 26,9 και στο τριτικάλε 22,2–23,8. Ωστόσο υπάρχουν και άμυλα με υψηλή περιεκτικότητα (% w/w) σε αμυλόζη, όπως κριθάρι με περιεκτικότητα σε αμυλόζη 46,5–48 και αραβόσιτος με αντίστοιχη περιεκτικότητα 62,8–85,6, καθώς και κηρώδη άμυλα με αμελητέες ποσότητες αμυλόζης, όπως το κηρώδες κριθάρι 9,1, ο κηρώδης σίτος < 0,2 (Yoo & Jane, 2002), η κηρώδης πατάτα 3,4 και ο κηρώδης αραβόσιτος 0% (Cornejo et al., 2018; Robyt, 2008).

1.1.3 Δομή αμυλοκόκκων και μαλτεζικός σταυρός

Η αμυλόζη και η αμυλοπηκτίνη εναποτίθεται με τη μορφή κόκκων στους αμυλοπλάστες των φυτών. Οι κόκκοι μπορεί να διαφέρουν ως προς το μέγεθος και το σχήμα. Έχουν σχήμα δίσκου ή σφαιρικό, οβάλ, επιμήκης, πολυγωνικοί, ακανόνιστο ή σε σχήμα φακού (Lindeboom et al., 2004). Ανάλογα με τις διαστάσεις τους χαρακτηρίζονται ως τύπου Α ή Β ή Γ. Ο τύπος των κόκκων, το μέγεθος, το σχήμα και το ποσοστό τους ποικίλλουν ανάλογα με την πηγή αμύλου. Στα δημητριακά περιέχονται κυρίως κόκκοι τύπου Α και Β. Οι κόκκοι σίτου έχουν σχήμα δίσκου και χαρακτηρίζονται ως τύπου Α (>15 μm) αντίθετα οι αμυλόκοκκοι τύπου Β- (5-15 μm) και C- (<5 μm) έχουν σφαιρικό σχήμα. Το άμυλο σίτου έχει την υψηλότερη αναλογία κόκκων τύπου Β ($\leq 9,3$ μm) (20 %) από τη σίκαλη (10–15 %), η οποία με τη σειρά της έχει υψηλότερο ποσοστό (85 %) σε κόκκους τύπου Α (>62,5 μm). Τα κανονικά άμυλα κριθαριού περιέχουν υψηλότερες ποσότητες (74,7 %) κόκκων αμύλου τύπου Α (≥ 8 μm) (Cornejo et al., 2018).

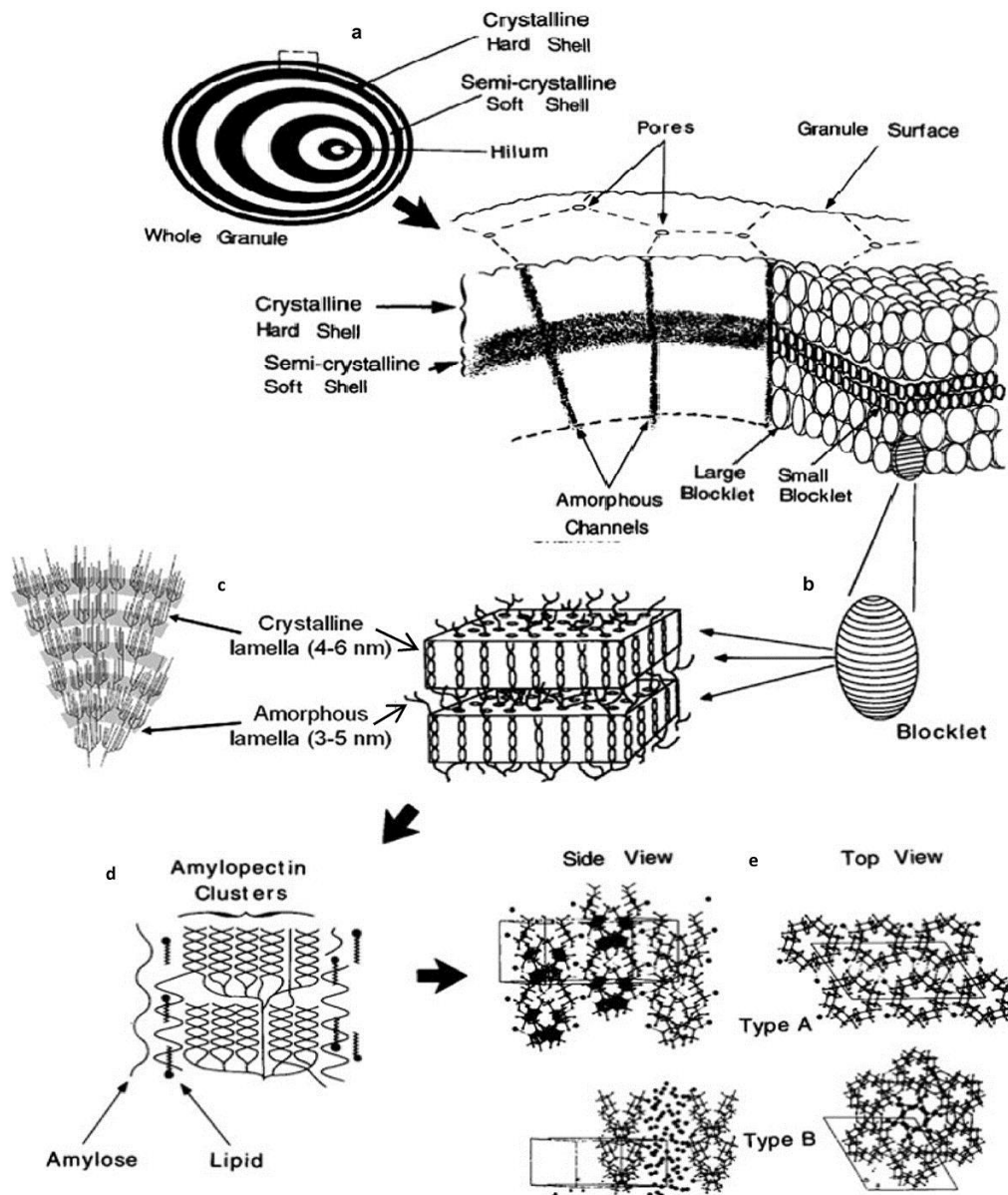
Οι κόκκοι ποικίλλουν ως προς τη χημική τους σύνθεση (α-γλυκάνες, υγρασία, λιπίδια, πρωτεΐνες και φωσφορυλιωμένα υπολείμματα) και τη δομή των συστατικών τους. Οι κόκκοι τύπου Α έχουν υψηλή ποσότητα αμυλόζης, χαμηλότερο ποσοστό κρυσταλλικότητας και λιγότερη περιεκτικότητα σε λιπίδια από τους κόκκους αμύλου τύπου Β (Cornejo et al., 2018).

Στην επιφάνεια του κόκκου του αμύλου βρίσκονται πολικά λιπίδια (75-89 % των συνολικών λιπιδίων), κυρίως φωσφολιπίδια, τα οποία πιθανώς παραμένουν από τη μεμβράνη των αμυλοπλαστών, ενώ το υπόλοιπα λιπίδια είναι τριγλυκερίδια. Τα συχνότερα λιπαρά οξέα που συναντώνται είναι το παλμιτικό, το λινολεϊκό και το ελαϊκό οξύ. Η ποσότητα των λιπαρών οξέων εξαρτάται από τη θερμοκρασία ανάπτυξης των φυτών (χαμηλές θερμοκρασίες δίνουν υψηλά ποσοστά λιπιδίων). Στα δημητριακά, ο φώσφορος βρίσκεται κυρίως στα φωσφολιπίδια, ωστόσο στη ρίζα και τους κονδύλους ο φώσφορος βρίσκεται κυρίως ως φωσφορικός μονοεστέρας και η παρουσία του στα λιπίδια είναι χαμηλή (λιγότερο από 1%). Στην επιφάνεια του αμύλου παρατηρείται η παρουσία καναλιών και πόρων (Cornejo et al., 2018).

Οι κόκκοι αμύλου περιέχουν πολυεπίπεδες δομές. Στο εσωτερικό μέρος των κόκκων αμύλου, οι α -1,4-γλυκάνες και μερικές α -1,6-διακλαδώσεις τοποθετούνται παράλληλα μεταξύ τους επιτρέποντας το σχηματισμό διπλής έλικας. Δομικά, οι διακλαδώσεις αυτές είναι τοποθετημένες με τέτοιο τρόπο ώστε σχηματίζουν το άμορφο έλασμα, ενώ, μια περιοχή που αποτελείται αποκλειστικά από γραμμικές αλυσίδες, είναι γνωστή ως κρυσταλλικό έλασμα (Cornejo et al., 2018).

Τα πολλαπλά ομόκεντρα στρώματα, οι λεγόμενοι δακτύλιοι ανάπτυξης, αυξανόμενης διαμέτρου εκτείνονται από το χείλος (που αντιστοιχεί στον πυρήνα του κόκκου) προς την επιφάνειά του κόκκου. Οι δακτύλιοι ανάπτυξης έχουν συνήθως πάχος 120–400 nm, και θεωρείται ότι αντιπροσωπεύουν τις ημερήσιες διακυμάνσεις στην εναπόθεση αμύλου στους ιστούς αποθήκευσης (Εικόνα 4). Οι ομόκεντροι δακτύλιοι ανάπτυξης, με τη σειρά τους, περιέχουν εναλλασσόμενες κρυσταλλικές και άμορφες περιοχές (Copeland et al., 2009).

Δηλαδή η αμυλόζη και η αμυλοπηκτίνη ευθυγραμμίζονται μέσα στους κόκκους του αμύλου με ακτινική σειρά επικεντρωμένη στο χείλος και κάθετα προς την επιφάνεια του κόκκου. Αυτή η διάταξη των πολυμερών εντός των κόκκων αμύλου είναι γνωστή ως «μοτίβο διπλής διάθλασης». Οι κόκκοι του φυσικού αμύλου είναι διπλοδιαθλαστικοί και μετά την έκθεσή τους σε πολωμένο φως παρουσιάζουν ένα ακτινικό φως που μοιάζει σε σταυρό σε σκούρο φόντο, το οποίο είναι γνωστό ως μαλτεζικός σταυρός (Cornejo et al., 2018).



Εικόνα 4: Η δομή των κόκκων αμύλου (Cornejo et al., 2018)

1.1.4 Πηγές αμύλου και εξαγωγή

Το άμυλο μπορεί να εξαχθεί με διάφορες μεθόδους, ανάλογα με το φυτό από το οποίο προέρχεται και τη χρήση για την οποία προορίζεται. Επιπλέον πρέπει κατά τη μέθοδο που ακολουθείται, να μην γίνεται σημαντική τροποποίηση των κόκκων αμύλου. Οι διαδικασίες εκχύλισης επηρεάζουν τόσο τη χημική σύνθεση όσο και τις φυσικές ιδιότητες του αμύλου.

1.1.4.1 Άμυλο πατάτας

Η πατάτα (*Solanum tuberosum*, οικ. Solanaceae) αποτελεί την τέταρτη σε σειρά σημαντικότητας καλλιέργεια όσον αφορά τη διατροφή του παγκόσμιου πληθυσμού,

μετά το ρύζι, το σιτάρι και τον αραβόσιτο. Λιγότερο από 50% της παραγωγής καταναλώνεται χωρίς επεξεργασία, ενώ βιομηχανικά παρασκευάζονται σνακ, κατεψυγμένες πατάτες, νιφάδες, αλεύρι και άμυλο. Το άμυλο πατάτας που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τροφίμων, χαρτιού και στην κλωστοϋφαντουργία, συχνά υφίσταται τροποποιήσεις για την απόκτηση των ιδιοτήτων που απαιτούνται για τις συγκεκριμένες χρήσεις.

Η πατάτα είναι φυτό δικοτυλήδονο και ποώδες, το οποίο καλλιεργείται ως ετήσιο με βιολογικό κύκλο 3-5 μηνών. Ο τόπος καταγωγής της πατάτας είναι η Νότιος Αμερική, κυρίως η περιοχή των Άνδεων (Ολύμπιος, 2015), όπου στοιχεία δείχνουν ότι καλλιεργούταν από τους Ίνκας πριν από 13.000 χρόνια (Willard, 1993). Μεταφέρθηκε για πρώτη φορά στην Ευρώπη το 1570 από τους Ισπανούς εξερευνητές (Grommers & van der Krogt, 2009a).

Οι πατάτες καλλιεργούνται για τους κονδύλους τους, οι οποίοι αποτελούνται κυρίως από άμυλο (Ολύμπιος, 2015). Η περιεκτικότητα ενός κονδύλου πατάτας σε άμυλο φτάνει ως και 15-20% του συνολικού του βάρους (Bertoft & Blennow, 2016), με το μεγαλύτερο ποσοστό αμύλου να απαντάται στο κέντρο του κονδύλου (Ολύμπιος, 2015). Το επεξεργασμένο άμυλο πατάτας θεωρείται το πιο καθαρό σε σύγκριση με τα άμυλα από άλλες πηγές (Bertoft & Blennow, 2016).

Η δομή του ιστού των κονδύλων της πατάτας καθώς και η μικρή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και λιπίδια (<4%) καθιστά την απομόνωση του αμύλου σχετικά απλή. Η απομόνωση του αμύλου χωρίζεται στα εξής τμήματα: την άλεση, την απόσταξη, τη φυγοκέντριση, τις διαδοχικές πλύσεις του αμύλου με απεσταγμένο νερό και τη ξήρανση (Kringel et al., 2020).

Η μέθοδος, που χρησιμοποιείται συνήθως για την παραλαβή του αμύλου από τις πατάτες, περιλαμβάνει αρχικά πλύσιμο και βούρτσισμα των κονδύλων με ζεστό νερό, ώστε να απομακρυνθούν οι ρύποι και οι ξένες ύλες πριν από την αποφλοιώση. Στη συνέχεια οι πατάτες πολτοποιούνται και εμβαπτίζονται σε διάλυμα (0,35 g μεταδιθειώδους νατρίου/1000 ml απεσταγμένου νερού). Με την άλεση διασπώνται τα κύτταρα και προκύπτει ένα μείγμα από κόκκους αμύλου, σπασμένα κυτταρικά τοιχώματα και το εσωτερικό περιεχόμενο των κυττάρων, το

οποίο είναι υδατικό διάλυμα πρωτεϊνών, αμινοξέων, σακχάρων και αλάτων. Η αμαύρωση της πατάτας αποδίδεται στη μελανίνη που δημιουργείται από την οξείδωση της τυροσίνης, της διυδροξυφαινυλαλανίνης ή/και του χλωρογενικού οξέος. Για να αποτραπεί λοιπόν η αμαύρωση, προστίθεται το μεταδιθειώδες. Προκειμένου να αποφευχθεί ο χρωματισμός του χυμού πατάτας, η πολτοποίηση της πατάτας πραγματοποιείται σε κενό αέρος ώστε να μην υπάρχει οξυγόνο. Επομένως, και τα επόμενα βήματα της απομόνωσης του αμύλου πραγματοποιούνται σε περιβάλλον απουσίας οξυγόνου (Kringel et al., 2020).

Η πολτοποίηση και παραλαβή του χυμού από τα κομμάτια της πατάτας γίνεται με αποχυμωτή και το μίγμα φιλτράρεται από ύφασμα μουσελίνας. Στη συνέχεια, για την παραλαβή της βέλτιστης ποσότητας αμύλου πραγματοποιείται έκπλυση με νερό των υπολειμμάτων που παραμένουν στο ύφασμα ξεπλένονται. Το διήθημα συλλέγεται, διηθείται από δύο κόσκινα (με οπές διαμέτρου 200 και 100 mm, αντίστοιχα), και αφήνεται να ηρεμήσει για 4 h. Ακολουθεί διαχωρισμός του ίζηματος του αμύλου και του υπερκείμενου υγρού. Το ιζηματοποιημένο άμυλο επαναιωρείται σε νερό και αφήνεται να καθιζάνει εκ νέου. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται 5 φορές. Το άμυλο που λήφθηκε μετά το πέρας της τελευταίας καθίζησης ξηραίνεται σε φούρνο θερμοκρασίας 40°C. Η ταχύτητα περιστροφής και ο χρόνος εκχύλισης επηρεάζουν την απόδοση της μεθόδου (Kringel et al., 2020).

1.1.4.2 Άμυλο αραβοσίτου

Από τις καλλιέργειες δημητριακών, η καλλιέργεια του αραβοσίτου (*Zea mays*), είναι εκείνη με τις μεγαλύτερες αποδόσεις παγκοσμίως, οι οποίες ξεπερνούν 1 δισεκατομμύριο τόνους το χρόνο. Επιπλέον το άμυλο που εξάγεται από τον αραβόσιτο αντιπροσωπεύει το 80% του αμύλου που λαμβάνεται από τα δημητριακά.

Ο αραβόσιτος (*Zea mays*, οικ. Poaceae) είναι φυτό ποώδες και μονοετές και αποτελεί το μοναδικό είδος του γένους *Zea* (Καραμάνος, 1999). Η χώρα καταγωγής του πιστεύεται ότι είναι η Αμερική, συγκεκριμένα η περιοχή ανάμεσα στο κεντρικό Μεξικό και την Ονδούρα (Mangelsdorf et al., 1964), ενώ θεωρείται ότι είναι απόγονος ενός άγριου είδους το οποίο έχει πλέον εκλείψει (Weatherwax, 1935). Η

καλλιέργεια του αραβόσιτου διαδόθηκε από το Μεξικό στην κεντρική και Νότιο Αμερική και εισήχθη στην Ευρώπη κατά τον 16ο αιώνα (Καραμάνος, 1999).

Ο αραβόσιτος καλλιεργείται κατά κύριο λόγο για τον καρπό του, ο οποίος είναι πλούσιος σε άμυλο (περίπου 70%) υψηλής περιεκτικότητας σε αμυλοπηκτική (Καραμάνος, 1999).

Οι κόκκοι αμύλου στο ενδοσπέρμιο του αραβόσιτου υπάρχουν κυρίως ως απλοί κόκκοι. Ωστόσο, στο το γλυκό, το κηρώδες και το ινδικό αραβόσιτο έχουν εντοπιστεί στο αναπτυσσόμενο ενδοσπέρμιο και σύνθετοι κόκκοι αμύλου. Οι κόκκοι αμύλου συνδέονται στενά με τις πρωτεΐνες που τους αποτελούν, γεγονός που περιπλέκει την ανάκτηση του αμύλου αραβόσιτου και απαιτεί τη χρήση διαφόρων μεθόδων προεπεξεργασίας. Η διαλυτότητα είναι μια πολύ σημαντική λειτουργική ιδιότητα των πρωτεϊνών- ωστόσο, οι πρωτεΐνες του αραβόσιτου παρουσιάζουν περιορισμένη διαλυτότητα λόγω της υψηλής υδροφοβικότητάς τους και της παρουσίας δισουλφιδικών δεσμών. Για να εξασφαλιστεί ο αποτελεσματικός διαχωρισμός του αμύλου είναι απαραίτητη η διάσπαση ή η εξασθένιση των δυνάμεων σύνδεσης μεταξύ των πρωτεϊνών και των κόκκων αμύλου (El Halal et al., 2019).

Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες των καρπών (σπόρων) του αραβόσιτου είναι ≈8-10%, και απαντώνται κυρίως προλαμίνες, οι οποίες είναι διαλυτές σε αλκοολικά διαλύματα. Το άμυλο του αραβόσιτου είναι ένα από τα περισσότερο διαδεδομένα άμυλα στον κόσμο και οι ιδιότητες και οι εφαρμογές του εξαρτώνται από τις μεθόδους απομόνωσης. Η συνηθέστερη μέθοδος είναι η διαδικασία της υγρής άλεσης, όπου ο αραβόσιτος εμβαπτίζεται σε διάλυμα θειικού οξέος (0,2-0,4%, w/v) σε θερμοκρασία γύρω στους 50°C για 24 h (steeping). Η χρήση του διαλύματος θειικού οξέος επάγεται στη δράση του ως αναγωγικός παράγοντας που διασπά τους δισουλφιδικούς δεσμούς εντός των πρωτεϊνών. Επομένως, η εμβάπτισης συμβάλλει στην αποδυνάμωση της μοριακής οργάνωσης των πρωτεϊνών και η συμπαγής δομή της μήτρας, γίνεται αρκετά χαλαρή, με αποτέλεσμα το άμυλο να απελευθερώνεται με μεγαλύτερη ευκολία. Για την βελτίωση του εμποτισμού μπορεί να γίνει προσθήκη γαλακτικού οξέος (El Halal et al., 2019).

Η εμβάπτιση των σπόρων αραβοσίτου πριν από την υγρή άλεση συνιστάται προκειμένου για να μαλακώσει ο κόκκος. Η διαβροχή όμως για να είναι επιτυχημένη εξαρτάται από την ισορροπία ανάμεσα στη ροή του νερού, στη θερμοκρασία, στη συγκέντρωση διοξειδίου του θείου και του pH. Μεταξύ των στόχων της διαβροχής είναι: η ενυδάτωση των κόκκων αραβοσίτου, η αποδυνάμωση της μήτρας γλουτελίνης με τη διάσπαση των ενδο- και διαμοριακών δισουλφιδικών δεσμών και η ενεργοποίηση των ενδογενών πρωτεασών του αραβοσίτου. Το κυριότερο πλεονέκτημα της υγρής άλεσης είναι η υψηλή απόδοση, αλλά σημαντικό μειονέκτημα είναι η ρύπανση που προκαλείται από το θείο (El Halal et al., 2019).

1.1.4.3 Άμυλο κούτζου (Kuzu)

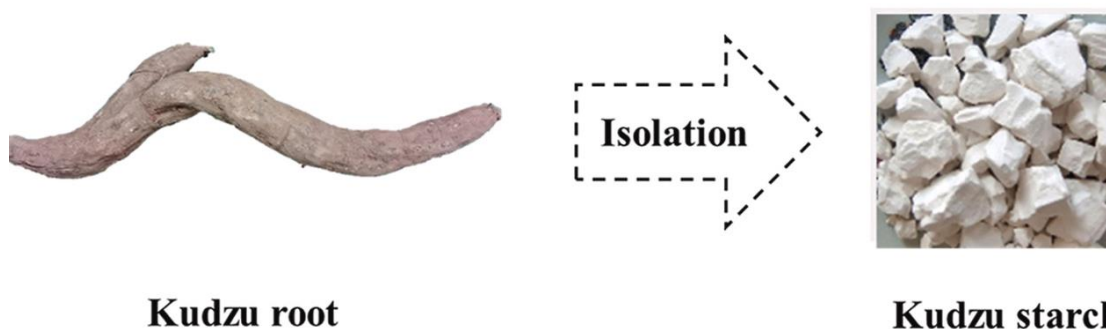
Το Kuzu ή kudzu (*Pueraria lobata*, οικ. Fabaceae) (Wong et al., 2011) είναι πολυετές, ημι-ξυλώδες φυτό, το οποίο μπορεί να είναι αναρριχητικό ή έρπον (Mitich, 2000). Είναι είδος ενδημικό της Ανατολικής Ασίας (Van Hung & Morita, 2007) και πιστεύεται ότι κατάγεται από την Κίνα (Keung & Vallee, 1998).

Το kuzu καλλιεργείται στην Ιαπωνία και στην Αμερική κυρίως για τις ρίζες του (Mitich, 2000), οι οποίες αποτελούνται κατά 15-35% από άμυλο (Jóźwiak et al., 2016), από το οποίο 19-23% είναι αμυλόζη (Du et al., 2007; Van Hung & Morita, 2007).

Η συνύπαρξη ισοφλαβονών αποτελεί το ιδιαίτερο και μοναδικό χαρακτηριστικό του αμύλου kuzu. Ωστόσο, η εξαιρετική δομή του αμύλου kuzu (δομή διαφορετική από αυτή που παρουσιάζουν τα άλλα άμυλα) επηρεάζει τη διαφάνεια, τη διαλυτότητα, τη διογκωτική ισχύ, τη σταθερότητα κατάψυξης-απόψυξης, τη ζελατινοποίηση, την ανάδρομη διάσπαση, τη δημιουργία ζύμης και τις ρεολογικές του ιδιότητες καθιστώντας το ακριβότερο όλων (Van Hung & Morita, 2007).

Η συσσώρευση αμύλου στη ρίζα kuzu σχετίζεται με την εποχιακή ανάπτυξη του φυτού, και οι ρίζες συλλέγονται συνήθως στα τέλη Νοεμβρίου. Μετά τη συγκομιδή, η απομόνωση αμύλου από τη ρίζα kuzu πραγματοποιείται με τη χρήση της κοινής μεθόδου καθίζησης που περιλαμβάνει τις ακόλουθες διαδικασίες: πλύσιμο των ριζών με νερό, αποφλοίωση, λείανση, φιλτράρισμα (επαναλαμβανόμενο εάν είναι

απαραίτητο), καθίζηση, ξήρανση και συσκευασία. Αυτή η παραδοσιακή μέθοδος επεξεργασίας χρησιμοποιεί τη μικρή διαλυτότητα του αμύλου στο κρύο νερό για να διαχωριστεί το άμυλο kuzu από άλλες υδατοδιαλυτές ουσίες και το νερό είναι το μόνο πρόσθετο. Διαφορετικές μέθοδοι εκχύλισης μπορούν να μεταβάλουν τη σύσταση και τις ιδιότητες του αμύλου σε κάποιο βαθμό, όπως την απόδοση σε άμυλο, την περιεκτικότητα σε τέφρα, το βαθμό λεύκανσης, τη διογκωτική δύναμη κ.α.



Εικόνα 5: Άμυλο kuzu (Zhao et al., 2021)

1.1.4.4 Άμυλο ταπιόκας ή μανιόκας (Tapioca)

Το άμυλο tapioca είναι προϊόν του φυτού κασσάβας (*cassava*) ή μανιότη (*Manihot esculenta*, οικ. Euphorbiaceae) (Σαρλής, 1999), το οποίο φύεται στις περιοχές κοντά στον Ισημερινό, ανάμεσα στους δύο τροπικούς (Breuninger et al., 2009). Το φυτό έχει αρκετές διαφορετικές τοπικές ονομασίες, αλλά στη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη το όνομα *cassava* χρησιμοποιείται για το ίδιο το φυτό και τις ρίζες του, ενώ η ονομασία *tapioca* ή μανιόκα αναφέρεται στα προϊόντα αμύλου (Breuninger et al., 2009). Σαν περιοχές καταγωγής της *cassava* έχουν προταθεί το Μεξικό και η Κεντρική Αμερική. Το *M. esculenta* είναι πολυετές και θαμνώδες είδος με χαμηλές απαιτήσεις σε καλλιεργητικές φροντίδες (Breuninger et al., 2009). Η ετήσια διαθεσιμότητα της, η υψηλή ανοχή στην ξηρασία και τις σκληρές κλιματικές συνθήκες και η υψηλή παραγωγικότητα σε φτωχά εδάφη καθιστούν τη μανιόκα μία από τις σημαντικότερες πηγές αμύλου.

Η ρίζα είναι το κύριο όργανο συγκέντρωσης του αμύλου στο φυτό και αποτελεί το 80% του ξηρού βάρους της. Η ποικιλία αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα που

καθορίζει την περιεκτικότητα σε αμυλόζη (20-27%). Αντίθετα, περιεκτικότητα σε αμυλόζη δεν επηρεάζεται σημαντικά από την ηλικία της καλλιέργειας και από περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Η εκχύλιση του αμύλου κασσάβας θεωρείται ευκολότερη από άλλων αμύλων δημητριακών, δεδομένου ότι οι κόνδυλοί της περιέχουν πολύ χαμηλή ποσότητα πρωτεϊνών και λιπών. Η ποιότητα του παραγόμενου αμύλου μανιόκας μπορεί να επηρεαστεί από την ποιότητα της νωπής ρίζας, καθώς και από την μέθοδο παραγωγής. Στοιχεία διαφοροποίησης του αμύλου της μανιόκας σε σχέση με άμυλα διαφορετικής βοτανικής προέλευσης είναι το χαμηλό επίπεδο υπολειμματικών υλικών (λίπος, πρωτεΐνη και τέφρα), η χαμηλή περιεκτικότητα σε αμυλόζη και το υψηλό μοριακό βάρος της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης.

Η απομόνωση του αμύλου περιλαμβάνει το πλύσιμο των νωπών ριζών, στη συνέχεια τον τεμαχισμό και τον τρίψιμο τους σε νερό που περιέχει θείο για να διαχωριστεί το άμυλο από τον πολτό. Το παραλαμβανόμενο από τον πολτό άμυλο αφυδατώνεται πριν από τη ξήρανση ενώ μπορεί να αποθηκευτεί (πριν από τη ξήρανση) σε διάλυμα μεταδιθειώδους νατρίου για την αποφυγή ανάπτυξης μικροβίων.

Η ποσότητα του απομονωμένου αμύλου (απόδοση) εξαρτάται από τις συνθήκες ξήρανσης των πρώτων υλών, το χρόνο συγκομιδής και τις συνθήκες αποθήκευσης της ρίζας. Η μέγιστη απόδοση μπορεί να είναι έως και το 80% του ξηρού βάρους της ρίζας. Όμως με χρήση κατάλληλων ποικιλιών, όπως ποικιλίες με υψηλή περιεκτικότητα σε ξηρή ουσία και λεπτό πάχος φλοιού μπορούν να επιτευχθούν μεγαλύτερες αποδόσεις (Kringel et al., 2020).

1.1.4.5 Άμυλο αραρούτι

Το αραρούτι ή μαραντάμυλο είναι η σκόνη από την αποξηραμένη ρίζα του τροπικού φυτού arrowroot με την επιστημονική ονομασία *Maranta arundinacea*, οικ. Marantaceae (Εικόνα 6). Το φυτό προέρχεται από τους τροπικούς της νοτίου Αμερικής (Τζαμάικα, την Νότιο Αμερική, τις Φιλιππίνες, την Ινδονησία, τη Σρι Λάνκα και την Ινδία) (Erdman & Erdman, 1984; Nogueira et al., 2018; Odeku, 2013) όπου καλλιεργείται πολλά χρόνια. Οι ιθαγενείς το χρησιμοποιούσαν σε περιπτώσεις

πεπτικών διαταραχών, τροφικής δυσανεξίας, ως βρεφική τροφή και σε αρρώστους. Όταν οι Ινδιάνοι Arawak το παρουσίασαν στους Ευρωπαίους τους ενημέρωσαν ότι η συγκεκριμένη ρίζα αποκαλείται *aru-aru*, δηλαδή η τροφή των τροφών, θέλοντας να δείξουν την σπουδαιότητά της. Το άμυλο από ρίζες arrowroot παράγεται κυρίως στη Βραζιλία, την Κίνα και στο νησί Άγιος Βικέντιος στις Δυτικές Ινδίες (Corbishley & Miller, 1984).



Εικόνα 6: Αραρούτι (Nogueira et al., 2018)

Το φυτό είναι πολυετές. Έχει κυλινδρικές επιμήκεις ρίζες πάχους περίπου 2,5 cm και μήκους 20-45 cm, με ανοιχτόχρωμα καφέ λέπια σε κάθε άρθρωση. Οι ρίζες συγκομίζονται μετά από 6-12 μήνες, ανάλογα με την περιοχή και τη χώρα στην οποία καλλιεργείται. Οι ρίζες περιέχουν άμυλο σε ποσοστό άνω του 20%. Η εξωτερική φλούδα της ρίζας πρέπει να αφαιρεθεί σχολαστικά, διαφορετικά το άμυλο έχει πικρή γεύση και κίτρινο χρώμα (Corbishley & Miller, 1984).

Το άμυλο αυτό είναι εξαιρετικά εύπεπτο, πήζει εύκολα και παρουσιάζει ιδιαίτερα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, όπως υψηλή περιεκτικότητα σε αμυλόζη (κυμαίνεται από 16 έως 27%).

Για την απομόνωση του αμύλου οι ρίζες του φυτού ξεφλουδίζονται, πλένονται καλά με νερό, τεμαχίζονται και βυθίζονται σε διάλυμα όξινου θειώδους καλίου (0,03%, w/w) για 15 min. Στη συνέχεια αλέθονται με απιονισμένο νερό, σε αναλογία 1: 2 (w/w) ρίζα /νερό, με βιομηχανικό μπλέντερ υψηλής ταχύτητας από ανοξείδωτο χάλυβα, για 5 min, μέχρι να προκύψει ένα ομοιογενές μίγμα. Το μίγμα διηθείται από διπλό βαμβακερό πανί. Η έκπλυση με απιονισμένο νερό επαναλαμβάνεται τρεις φορές για το διαχωρισμό των ινών και την πλήρη απομάκρυνση του αμύλου. Μετά από 12 h με ολοκλήρωση της καθίζησης του αμύλου, απομακρύνεται το νερό χειροκίνητα και το άμυλο ξηραίνεται σε φούρνο, παρουσία αέρα, στους 60 °C για 4 h. Το άμυλο τελικά αλέθεται και συσκευάζεται (Nogueira et al., 2018).

1.1.4.6 Άμυλο από κάστανο

Η καστανιά (*Castanea sativa*, οικ. Fagaceae) είναι ένα καρποφόρο φυλλοβόλο δένδρο με ημιορθόκλαδη ως ορθόκλαδη ανάπτυξη, το οποίο φτάνει τα 20-35 ύψος και κορμό που μπορεί να φτάσει ως και 2m σε διάμετρο. Υπάρχουν στοιχεία για την παρουσία της καστανιάς στην Ευρώπη, τον Καναδά και την Ιαπωνία από την τριτογενή περίοδο, ενώ μεταφέρθηκε στην Ελλάδα κατά τον 5ο αιώνα π.Χ. από τη Μικρά Ασία (Θερίος, Ι.Ν. και Δημάση-Θεριού, 2013).

Τα κάστανια είναι οι καρποί του είδους *Castanea* της οικογένειας Fagaceae. Εντοπίζονται κατά κύριο λόγο στις εύκρατες περιοχές του βόρειου ημισφαιρίου. Τα κυριότερα καλλιεργούμενα είδη βρώσιμων κάστανων είναι το *Castanea crenata* στην Ιαπωνία, το *Castanea mollissima* στην Κίνα και την Κορέα και το *Castanea sativa* στην Ευρώπη και τη Νότια Αμερική. Το Κινέζικο κάστανιο αντιπροσωπεύει το 80% της παγκόσμιας παραγωγής.

Το βρώσιμο κάστανιο αποτελεί σημαντικό διατροφικό είδος σε πολλές χώρες εδώ και αιώνες και αυτό οφείλεται σε πολύτιμα συστατικά όπως πολυφαινόλες, βιταμίνες, διαιτητικές ίνες, μέταλλα και ακόρεστα λιπαρά οξέα. Ως εκ τούτου, η κατανάλωση των κάστανων έχει συσχετιστεί με οφέλη για την υγεία, καθώς τα

κάστανα έχουν αντικαρκινική, αντιμικροβιακή, αντιοξειδωτική δράση και είναι αποτελεσματικά έναντι της ελονοσίας. Η παγκόσμια παραγωγή κάστανων συνεχίζει να αυξάνεται κατά την τελευταία δεκαετία. Λόγω της απουσίας της γλουτένης έχει παρατηρηθεί αύξηση του ενδιαφέροντος για το άλευρο από κάστανο και τις πιθανές χρήσεις του σε διάφορα τρόφιμα.

Τα κάστανα αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό από άμυλο. Οι καρποί περιέχουν άμυλο σε ποσοστό 42,4-53,8%, ενώ το αλεύρι κάστανου περιέχει άμυλο σε ποσοστό 50,9%. Το άμυλο αυτό μπορεί να αποτελέσει μια νέα πηγή αμύλου λόγω των μοναδικών ιδιοτήτων και της ιδιαίτερης δομής του. Η περιεκτικότητα σε αμυλόζη κυμαίνεται από 20-30%.

Οι καρποί της καστανιάς παράγουν υψηλά ποσοστά αμύλου (περίπου 50%) (Borges et al., 2008; Cruz et al., 2013), αλλά μπορεί να έχει εύρος από 38 έως 80% (P. Correia & Beirão-da-Costa, 2012). Το ποσοστό αμυλόζης είναι περίπου 19-30% στα φρέσκα κάστανα, ενώ μπορεί να φτάσει μέχρι και 51-57% ανάλογα με τον τρόπο εξαγωγής (P. R. Correia & Beirão-da-Costa, 2010, 2012; Cruz et al., 2013). Οι διαφορές αυτές στα ποσοστά αποδίδονται στις διαφορετικές γεωγραφικές προελεύσεις των καρπών και στις διαφορές μεταξύ των χρησιμοποιούμενων μεθόδων για την απομόνωση του αμύλου (Cruz et al., 2013).

1.1.5 Ζελατινοποίηση αμύλου

Οι αμυλόκοκκοι δεν διαλύονται σε κρύο νερό, όμως μπορούν να απορροφήσουν νερό να διογκωθούν και κατόπιν ξήρανσης να επιστρέφουν στην αρχική τους κατάσταση. Αυτό το αναστρέψιμο εύρος διόγκωσης ποικίλλει ανάλογα με την πηγή του αμύλου και αυξάνεται όσο αυξάνει η διάμετρος των κόκκων.

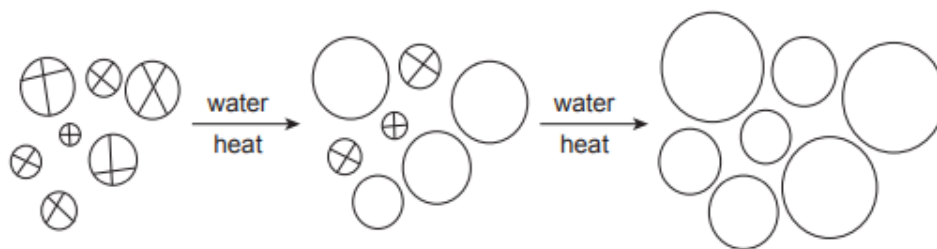
Εάν το αιώρημα αμύλου σε νερό θερμανθεί σε θερμοκρασίες >50°C τότε προκαλείται σπάσιμο των δεσμών υδρογόνου, ταχεία και εκτεταμένη διόγκωση των αμυλόκοκκων, εκροή αμυλόζης και θραυσμάτων αμυλοπηκτίνης στο διάλυμα και τελικά πλήρη διάσπαση της δομής του αμυλόκοκκου. Αρχικά, μη αντιστρεπτή διόγκωση συμβαίνει στις άμορφες περιοχές του κόκκου καθώς οι δεσμοί υδρογόνου σε αυτές τις περιοχές διασπώνται και το νερό απορροφάται. Με την αύξηση της θερμοκρασίας, όλα και αυξάνεται η ενυδάτωση και η διόγκωση στις

άμορφες περιοχές των κόκκων και οι ενυδατωμένοι κρύσταλλοι τήκονται. Οι άμορφες και οι κρυσταλλικές περιοχές φαίνεται να συνδέονται, οπότε καθώς οι άμορφες περιοχές διογκώνονται, οι κρύσταλλοι αναμφίβολα παραμορφώνονται έτσι ώστε οι αλυσίδες αμύλου να μπορούν, τουλάχιστον εν μέρει, να ενυδατωθούν με αποτέλεσμα την τήξη των κρυστάλλων. Αυτή η διατάραξη τόσο των άμορφων όσο και των κρυσταλλικών δομών έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια της τάξης και των ιδιοτήτων των αμυλοκόκκων που σχετίζονται με αυτή την τάξη, όπως η διπλοθλαστικότητα. Η διαδικασία αυτή που έχει ως αποτέλεσμα τη μη αναστρέψιμη απώλεια της τάξης εντός των αμυλοκόκκων ονομάζεται ζελατινοποίηση. Κατά τη ζελατινοποίηση παρατηρείται μη αναστρέψιμη διόγκωση των κόκκων και έκλυση της αμυλόζης.

Οι αμυλόκοκκοι του ίδιου δείγματος αμύλου διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την κρυσταλλικότητα με συνέπεια κάθε μεμονωμένος κόκκος να ζελατινοποιείται σε μια συγκεκριμένη και απότομη θερμοκρασία (μια θερμοκρασία τήξης), με αποτέλεσμα η ζελατινοποίηση να πραγματοποιείται σε εύρος θερμοκρασίας και όχι σε μία καθορισμένη. Γενικά οι μικροί αμυλόκοκκοι διογκώνονται και ζελατινοποιούνται ευκολότερα από τους μεγάλους, λόγω του αυξημένου λόγου Επιφανείας/Όγκου.

Η θερμοκρασία της αρχικής ζελατινοποίησης και το εύρος στο οποίο λαμβάνει χώρα εξαρτώνται από την προέλευση του αμύλου, από τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του, τον τύπο του, την αναλογία αμυλόζης/αμυλοπηκτίνης, από το αν είναι εγγενές ή τροποποιημένο, τη σύνθεση του τροφίμου, στο οποίο πρόκειται να προστεθεί, την παρουσία σακχάρων, αλάτων, λιπών, ινών και τις συνθήκες επεξεργασίας, συμπεριλαμβανομένων του ρυθμού αύξησης της θερμοκρασίας, του τρόπου ανάδευσης και της μεθόδου που εφαρμόζεται (Schmiele et al., 2019).

Η θερμοκρασία στην οποία ζελατινοποιείται ο πρώτος κόκκος ονομάζεται θερμοκρασία έναρξης και η θερμοκρασία στην οποία ζελατινοποιείται ο τελευταίος κόκκος ονομάζεται θερμοκρασία ολοκλήρωσης ή τελικού σημείου. Σε θερμοκρασίες μεταξύ των θερμοκρασιών έναρξης και λήξης, το ποσοστό των ζελατινοποιημένων κόκκων είναι μεταξύ 0% και 100%. (BeMiller, 2019)



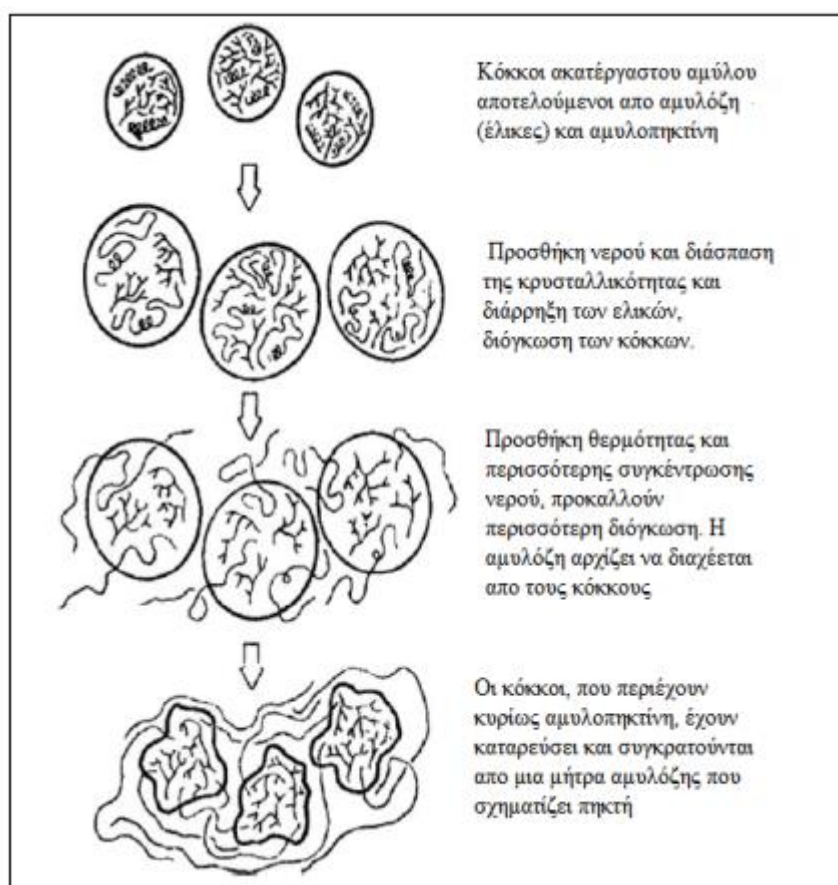
Εικόνα 7: Διαγραμματική αναπαράσταση της ζελατινοποίησης των κόκκων αμύλου.

Η Εικόνα 7 δείχνει ότι οι μεγαλύτεροι κόκκοι σε ένα πληθυσμό κόκκων διογκώνονται και χάνουν τη διπλοθλαστικότητα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από ό,τι οι μικρότεροι κόκκοι και ότι, με συνεχή θέρμανση, όλοι οι κόκκοι τελικά ζελατινοποιούνται (BeMiller, 2019).

Μετά τη ζελατινοποίηση αρχίζει να δημιουργείται μία ιξώδη μάζα που ονομάζεται πάστα αμύλου. Οι διογκωμένοι και ζελατινοποιημένοι κόκκοι αμύλου είναι αρκετά εύθραυστοι και διαταράσσονται σχετικά εύκολα. Η συνεχής θέρμανση των κόκκων αμύλου σε περίσσεια νερού με κάποια διάτμηση έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό μιας πάστας, μέσω περαιτέρω διόγκωσης των κόκκων, πρόσθετης έκλυσης διαλυτών συστατικών (κυρίως αμυλόζης) και τελικά πλήρους διάσπασης των κόκκων (Mason, 2009).

Η πάστα αμύλου είναι μια ιξώδης μάζα που αποτελείται από μια συνεχή φάση μορίων πολυμερούς αμύλου και μια ασυνεχή φάση διογκωμένων κόκκων και θραυσμάτων κόκκων. Με άλλα λόγια, η θέρμανση των περισσότερων αμύλων χωρίς υψηλή διάτμηση (όπως συμβαίνει συνήθως) έχει ως αποτέλεσμα μια πάστα που αποτελείται από διογκωμένους κόκκους, εξωτερικά περιβλήματα κόκκων (καθώς το εσωτερικό τους έχει διαλυθεί) και θραύσματα διογκωμένων κόκκων (που αποτελούνται κυρίως από αμυλοπηκτίνη), τα οποία αιωρούνται σε διάλυμα κυρίως μορίων αμυλόζης. Όταν η θέρμανση της πάστας αμύλου πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες άνω των 70°C τότε παρατηρείται τήξη των κρυστάλλων αμυλοπηκτίνης με αποτέλεσμα η πάστα να είναι περισσότερο εύκαμπτη (ενώ οι κρύσταλλοι αμυλόζης λιώνουν σε πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες) (Εικόνα 8). Πλήρης μοριακή διασπορά επιτυγχάνεται σε περίσσεια νερού υπό συνθήκες

υψηλής θερμοκρασίας και υψηλής διάτμησης ,συνθήκες που σχεδόν ποτέ δεν εφαρμόζονται κατά την παρασκευή των τροφίμων.



Εικόνα 8: Μηχανισμός ζελατινοποίησης και δημιουργία πάστας αμύλου (Remsen & Clark, 1978)

Η πλειονότητα των αμυλοκόκκων ζελατινοποιούνται και δημιουργούν πάστα κατά το μαγείρεμα παρουσία θέρμανσης και υγρασίας. Η ζελατινοποίηση των αμυλοκόκκων συμβαίνει επειδή, με την αύξηση της θερμοκρασίας ενός εναιωρήματος αμύλου σε νερό τα μόρια μέσα στους κόκκους δονούνται και συστρέφονται τόσο βίαια ώστε οι διαμοριακοί δεσμοί υδρογόνου σπάνε με αποτέλεσμα να είναι δυνατή μεγαλύτερη διείσδυση μορίων του νερού μεταξύ των αλυσίδων των πολυσακχαριτών. Ως αποτέλεσμα, οι διαμοριακοί δεσμοί υδρογόνου μεταξύ των αλυσίδων αντικαθίστανται με δεσμούς υδρογόνου με μόρια νερού, προκαλώντας πιο εκτεταμένη ενυδάτωση. Κατά συνέπεια, τα μόρια πολυσακχαριτών αμύλου περιβάλλονται από στρώματα μορίων νερού που τα πλαστικοποιούν και τους επιτρέπουν να κινούνται πιο ελεύθερα και να διαχωρίζονται περισσότερο μεταξύ τους. Τελικά, τα μόρια μετακινούνται σε

αποστάσεις και θέσεις που καθιστούν αδύνατη την επιστροφή τους στις αρχικές τους θέσεις και στους προσανατολισμούς κατά την αφυδάτωση. Αυτό προκαλεί μη αναστρέψιμη διόγκωση των κόκκων σε πολλαπλάσιο βαθμό από το δικό τους αρχικό μέγεθος (BeMiller, 2019).

Πολλές φορές πρώην ζελατινοποιημένες περιοχές του αμύλου ενός τροφίμου επανακρυσταλλώνονται, δηλ. από άμορφες γίνονται κρυσταλλικές. Η διαδικασία ονομάζεται αναδιάταξη του αμύλου (starch retrogradation ή starch recrystallization), και στην περίπτωση του ψωμιού, μπαγιάτεμα (bread staling). Η διαδικασία αυτή συνίσταται στην ανακρυστάλλωση της αμυλοπηκτικής των ζελατινοποιημένων κόκκων αμύλου, η οποία περνά από μια άμορφη ή άτακτη αρχική κατάσταση σε μια πιο κρυσταλλική και διατεταγμένη. Επομένως, η πάστα αμύλου γίνεται λιγότερο εύκαμπτη και πιο πυκνή. Η αναδιάταξη του αμύλου εξαρτάται από ορισμένα χαρακτηριστικά του αμύλου και τη διαδικασία στην οποία υποβάλλεται. Δύο τέτοια χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την αναδιάταξη είναι η περιεκτικότητα σε αμυλόζη και το σύμπλεγμα αμυλόζης-λιπιδίων. Τα άμυλα με μεγαλύτερη ποσότητα αμυλόζης και χαμηλότερο μοριακό βάρος υφίστανται μεγαλύτερη αναδιάταξη. Οι κόκκοι αμύλου την επηρεάζουν επίσης, καθώς οι μεγαλύτεροι κόκκοι είναι τα πιο σταθεροί και επομένως, οι μικρότεροι αμυλόκοκκοι αμύλου υφίστανται ευκολότερα αναδιάταξη. Επίσης η αναδιάταξη επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά των κόκκων: οι κόκκοι αμύλου τύπου Β με μικρότερη περιεκτικότητα σε αμυλόζη, με αμυλοπηκτική χαμηλής περιεκτικότητας σε βραχείες αλυσίδες και μεγαλύτερη ποσότητα λιπιδίων είναι πιο δύσκολο να υποστούν αναδιάταξη σε σχέση με τους κόκκους τύπου Α. Επίσης ο χρόνος αποθήκευσης, η διαδικασία χειρισμού των κόκκων, όπως η δύναμη με την οποία αλέθονται και η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της άλεσης επηρεάζουν την αναδιάταξη.

Λόγω εμφάνισης κρυστάλλων το προϊόν (π.χ. άρτος) χάνει την ελαστικότητά του. Με τη διαδικασία αυτή, πέραν της επανακρυστάλλωσης, νερό και αρωματικές ουσίες που υπήρχαν στις άμορφες περιοχές -και πλέον δεν χωρούν στις κρυσταλλικές- απομακρύνονται και το προϊόν που φαίνεται πιο στεγνό και χωρίς ιδιαίτερη γεύση

και άρωμα. Η επανακρυστάλλωση μπορεί να αποφευχθεί με αποθήκευση σε θερμοκρασίες $T < T_g$ (θερμοκρασία υαλώδους μεταπτώσεως) (Cornejo et al., 2018).

1.1.6 Υδρογέλη

Οι υδρογέλες είναι φυσικά μακρομόρια ή μακρομόρια που έχουν προκύψει από χημική αντίδραση, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με διάφορα είδη χημικών δεσμών, με αποτέλεσμα να σχηματίζουν ένα τρισδιάστατο δίκτυο ικανό να συγκρατεί νερό χωρίς να αποσυντίθεται. Τα μακρομόρια της υδρογέλης αποτελούνται από τα ίδια μονομερή που συνδέονται με ομοιοπολικούς δεσμούς. Μεταξύ των διαφορετικών μακρομορίων αναπτύσσονται δεσμοί Van der Waals, δεσμοί υδρογόνου και ιοντικές έλξεις. Επίσης μεταξύ των αλυσίδων των μακρομορίων δημιουργούνται κρυσταλλικές περιοχές. Οι υδρογέλες που προέρχονται από συνθετικά πολυμερή, όπως η πολυβινυλική αλκοόλη (PVA), είναι σταθερές έναντι της αποσύνθεσης και έχουν υψηλή μηχανική αντοχή. Από την άλλη πλευρά, τα φυσικά πολυμερή, όπως το άμυλο, έχουν ασθενέστερες μηχανικές ιδιότητες αλλά υψηλή βιοσυμβατότητα και βιοαποικοδόμηση.

Ο σχηματισμός υδρογέλης με βάση το άμυλο περιλαμβάνει πρώτα ζελατινοποίηση αμύλου και στη συνέχεια αναδιάταξη για να σχηματιστεί ένα τρισδιάστατο δίκτυο. Το πρώτο βήμα είναι απαραίτητο για να μεταβληθεί η κρυσταλλική δομή του αμύλου για να διευκολυνθεί η αλληλεπίδραση μεταξύ των αλυσίδων του πολυμερούς. Η κλασική μέθοδος περιλαμβάνει τη διαλυτοποίηση και θέρμανση του αμύλου με νερό. Ωστόσο, το άμυλο μπορεί επίσης να ζελατινοποιηθεί χημικά με αλκαλικό διάλυμα (Biduski et al., 2018).

Οι υδρογέλες με βάση το άμυλο έχουν πολλές επιθυμητές ιδιότητες, όπως: είναι βιοδιασπώμενες, υδρόφιλες, βιοσυμβατές, έχουν χαμηλό κόστος και δεν είναι τοξικές. Έχει σημειωθεί μεγάλη πρόοδος στη σύνθεση και τον χαρακτηρισμό των υδρογελών με βάση το άμυλο για ποικίλες εφαρμογές όπως στη γεωργία, στη μηχανική των ιστών, στα συστήματα χορήγησης φαρμάκων, στην κατασκευή κτηρίων, στις ηλεκτρικές βιομηχανίες κ.λπ.. (Ismail et al., 2013).

1.2 Υφή

1.2.1 Ορισμός

Τα τέλη του 19ου αρχές του 20ου αιώνα αποτέλεσαν την περίοδο έναρξης της μελέτης της υφής. Οι αρχικές έρευνες επικεντρώθηκαν σε αγαθά που ανήκαν σε διαφορετικές κατηγορίες, με αποτέλεσμα η κάθε κατηγορία να έχει και διαφορετικούς ορισμούς ως προς την ίδια έννοια ή χαρακτηριστικό, οδηγώντας σε σύγχυση. Ενώ η μελέτη της υφής ως αυτόνομο θέμα έρευνας δεν ξεκίνησε μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 50.

Ο ορισμός της υφής, που προέκυψε από το έργο πολυάριθμων ερευνητών και έχει εκλάβει ευρεία αποδοχή είναι ο ακόλουθος : «Υφή είναι η οργανοληπτική και λειτουργική έκφραση των δομικών, μηχανικών και επιφανειακών χαρακτηριστικών των γευμάτων που εκλαμβάνονται μέσω των αισθήσεων της όρασης, της ακοής, της αφής και της κιναισθητικής.»

Από τον ορισμό αυτόν προκύπτουν οι παρακάτω παρατηρήσεις.

1. Η υφή αποτελεί οργανοληπτικό χαρακτηριστικό, μόνο ένας άνθρωπος μπορεί να το αντιληφθεί και να το περιγράψει. Επομένως λίγοι φυσικοί παράμετροι μπορούν να γίνουν ανιχνεύσιμοι και να ποσοτικοποιηθούν από τα όργανα ελέγχου της υφής, οι οποίοι με την σειρά τους πρέπει να επεξηγηθούν σε όρους οργανοληπτικής αντίληψης.
2. Είναι μια πολυπαραμετρική έννοια
3. Η υφή προέρχεται από την μοριακή, μικροσκοπική και μακροσκοπική δομή του τρόφιμου
4. Τέλος η υφή γίνεται αντιληπτή από ποικιλία αισθήσεων, με τις κυριότερες να είναι η αφή και η πίεση (Alina Surmacka Szczesniak, 2002).

1.2.2 Σημασία της υφής και μέθοδοι αξιολόγησης

Η υφή συνεισφέρει στην απόλαυση του φαγητού, όμως σπάνια αναγνωρίζεται η συνεισφορά της, η οποία θεωρείται δεδομένη από τους περισσότερους καταναλωτές. Η υφή γίνεται αντιληπτή μόνο όταν δεν είναι η αναμενόμενη, είναι λάθος για το συγκεκριμένο προϊόν ή γίνεται συσχετισμός της με κάτι μη εδώδιμο. Επίσης αποτελεί ένδειξη της φρεσκάδας ορισμένων τροφίμων όπως τα φυλλώδη

λαχανικά και τα αρτοσκευάσματα. Σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν 29 διαφορετικά ήδη τροφίμων πολτοποιήθηκαν ώστε να μην έχουν την αναμενόμενη υφή ενώ οι δοκιμαστές είχαν καλυμμένα τα μάτια τους ώστε να μην μπορούν να δουν το χρώμα του τρόφιμου. Μόνο το 4% των δοκιμαστών νεαρής ηλικίας κατάφερε να ταυτοποιήσει σωστά το λάχανο και το αρνί ενώ το 7% το αγγούρι (Schiffman, 1977). Η αντίληψη της υφής σχετίζεται με διάφορους παράγοντες όπως φυσιολογικούς παράγοντες, κοινωνικούς παράγοντες, την πολιτισμικά μαθημένη προσδοκία (συνήθεια) και ψυχολογικούς παράγοντες (Alina S Szczesniak & Kahn, 1971). Επιπλέον η ηλικία του καταναλωτή επηρεάζει τόσο την στάση του όσο και τον βαθμό που εκτιμά την υφή, με τους έφηβους να έχουν περισσότερη επίγνωση της (Szczesniak, 1972).

Οι μέθοδοι αξιολόγησής της υφής κατατάσσονται στις κατηγορίες που φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 2: Μέθοδοι αξιολόγησης της υφής (Bourne, 2002c)

Αντικειμενικές		Οργανοληπτικές	
Άμεσες	Έμμεσες	Στοματικές	Μη-στοματικές
Θεμελιώδης	Οπτικές	Μηχανικές	Δάκτυλα
Εμπειρικές	Χημικές	Γεωμετρικές	Χέρια
Μιμητικές	Ακουστικές	Χημικές	Μάτια
	Άλλες		Άλλο

1.2.3 Αντικειμενικές μέθοδοι

1.2.3.1 Texture Profile Analysis (TPA) (Μιμητική)

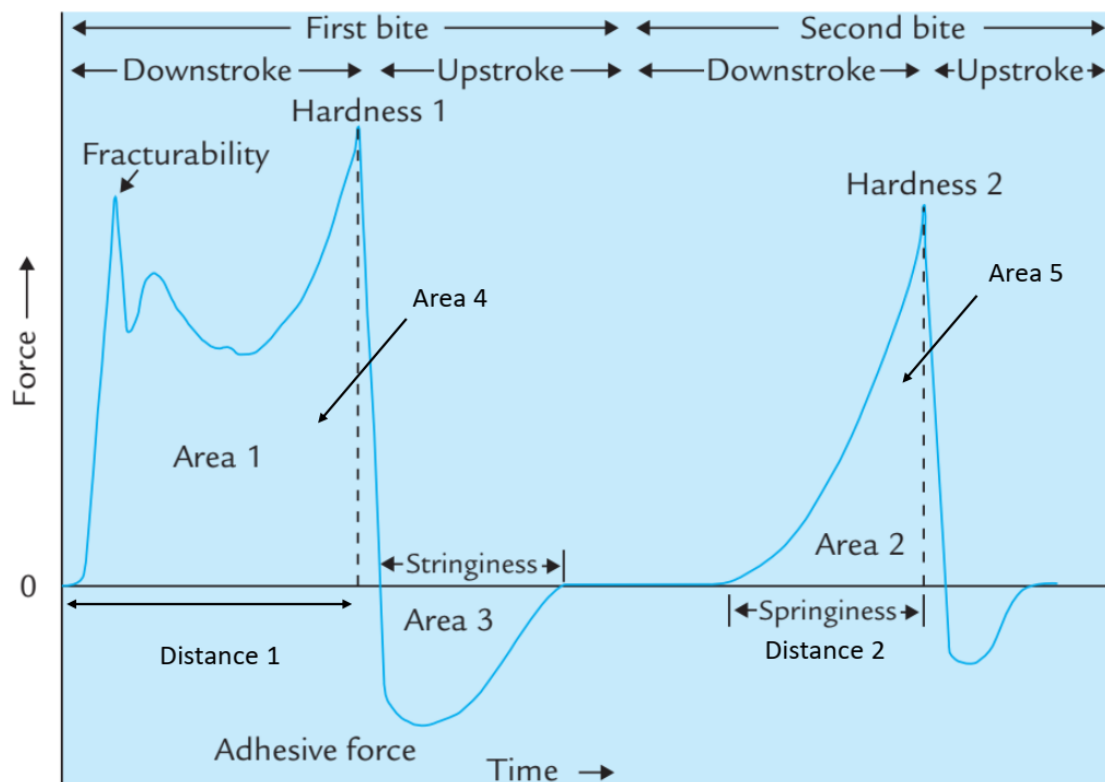
Μία από τις περισσότερο διαδεδομένες μιμητικές μεθόδους αξιολόγησης της υφής είναι το προφίλ ανάλυσης της υφής (Texture profile analysis, TPA ή two bite test). Το τεστ αυτό δημιουργήθηκε από τη General Foods Corporation Technical Centre το 1963 και το αρχικό όργανο που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση ήταν το General Foods Texturometer. Κατόπιν, ο Bourne χρησιμοποίησε το Instron Universal Testing Machine για την διεξαγωγή του τεστ διπλής συμπίεσης σε αχλάδια. (BOURNE, 1968). Το Instron βρήκε ευρεία αποδοχή σε σχέση με το Texturometer λόγω διαφορών στον τρόπο λειτουργίας τους που κατ' επέκταση επηρέαζε την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Στην αξιολόγηση αυτή το δείγμα έχει μικρό μέγεθος όσο μία μπουκιά (bite size) και πραγματοποιούνται 2 κύκλοι συμπίεσης. Οι 2 αυτοί κύκλοι μιμούνται την κίνηση του σαγονιού κατά την μάσηση. Παρόλο που η μέθοδος είναι μιμητική οι μηχανικές ιδιότητες που μετρούνται δεν αντιπροσωπεύουν ολόκληρη την διαδικασία της μάσησης.

Η καμπύλη διπλής συμπίεσης που προκύπτει από το Instron μπορεί να είναι δύναμης-χρόνου αλλά και δύναμης-απόστασης. Από το διάγραμμα αρχικά λήφθηκαν συνολικά 8 μετρήσεις, 5 πρωτεύουσες και 3 δευτερεύουσες. Η φυσική και οργανοληπτική ερμηνεία των ιδιοτήτων της υφής που προκύπτουν από την Εικόνα 9 παρουσιάζονται στον Πίνακα 4. Με την πάροδο του χρόνου προτάθηκαν διάφοροι τρόποι υπολογισμού των ιδιοτήτων αυτών από το διάγραμμα (Πίνακας 3), ενώ άλλαξε και η ονομασία ορισμένων εξ αυτών για αντιπροσωπεύει καλύτερα την μετρούμενη έννοια. Έτσι την λέξη Brittleness αντικατέστησε η λέξη Fracturability, η λέξη Elasticity αντικαταστάθηκε από την λέξη Springiness για να αποφευχθεί η σύγχυση με την ρεολογική σημασία της ελαστικότητας, ενώ η λέξη Hardness χρησιμοποιείται μόνο για το TPA ενώ στα υπόλοιπα τεστ συμπίεσης αναφέρεται ως Firmness. Θα πρέπει να σημειωθεί πως δεν παρουσιάζουν όλα τα τρόφιμα Ευθραυστότητα (Fracturability). Επιπλέον η ιδιότητα της Μασητικότητας (Chewiness) αφορά μόνο στερεά τρόφιμα ενώ η ιδιότητα του Κομμιώδους (Gumminess) αναφέρεται σε ημι-στερεά προϊόντα, επομένως για ένα τρόφιμο χρησιμοποιείται μόνο μία εκ των δύο λέξεων (Bourne, 2002b).

Πίνακας 3: Τρόπος μέτρησης και μονάδες των ιδιοτήτων της υφής (Bourne, 2002b; Peleg, 1976, Wee et al., 2018)

Ιδιότητα	Τρόπος Μέτρησης	Μονάδα μέτρησης	Τρόπος Μέτρησης	Μονάδα μέτρησης
Σκληρότητα (Hardness)	Hardness 1	N	Κορυφή της μεγαλύτερης συμπίεσης	N
Συνεκτικότητα (Cohesiveness)	Area2/Area 1	-	Corrected: Area 5/Area 4	-
Ελαστικότητα (Springiness)	Εκφράζεται ως αναλογία ή ποσοστό του αρχικού ύψους του προϊόντος. Υπολογίζεται από την απόσταση (/χρόνος): Distance 2/Distance 1	-	Distance 2 (σε παλαιότερες μετρήσεις)	m
Συνάφεια (Adhesiveness)	Area 3 (Force-distance curve)	J	Area 3 (Force-Time curve)	N*s
Κομμώδες (Gumminess)	Hardness x Cohesiveness	N	Hardness x Corrected Cohesiveness	N



Εικόνα 9: Παράδειγμα καμπύλης διπλής συμπίεσης (Bourne, 2002b)

Πίνακας 4: Ορισμοί των μηχανικών ιδιοτήτων της υφής (Alina Surmacka Szczesniak, 1973)

	Φυσικός ορισμός	Οργανοληπτικός ορισμός
Πρωτεύων ιδιότητες		
Σκληρότητα (Hardness)	Η δύναμη απαραίτητη για την επίτευξη μιας δεδομένης παραμόρφωσης.	Η δύναμη που απαιτείται για τη συμπίεση μιας ουσίας μεταξύ των δόντια (τραπεζίτες) (στην περίπτωση στερεών) ή μεταξύ γλώσσας και υπερώας (στην περίπτωση των ημιστερεών).
Συνεκτικότητα (Cohesiveness)	Ο βαθμός στον οποίο ένα υλικό μπορεί να παραμορφωθεί πριν σπάσει.	Ο βαθμός στον οποίο μια ουσία συμπιέζεται μεταξύ των δόντια πριν σπάσει.
Ελαστικότητα (Springiness)	Ο ρυθμός με τον οποίο ένα παραμορφωμένο υλικό επιστρέφει στην αρχική κατάστασή του αφού αφαιρεθεί η δύναμη παραμόρφωσης.	Ο βαθμός στον οποίο ένα προϊόν επιστρέφει στο αρχικό του σχήμα αφού πιεστεί μεταξύ των δοντιών.
Συνάφεια (Adhesiveness)	Το απαιτούμενο έργο για να ξεπεραστούν οι ελκτικές δυνάμεις μεταξύ της επιφάνειας του φαγητού και της επιφάνειας των άλλων υλικών με τα οποία έρχεται σε επαφή το φαγητό.	Η δύναμη που απαιτείται για την αφαίρεση του υλικού που προσκολλάται στο στόμα (γενικά τον ουρανίσκο) κατά τη διάρκεια της κανονικής τροφικής διαδικασίας.
Ιξώδες (Viscosity)	Ο ρυθμός ροής ανά μονάδα δύναμης.	Η δύναμη που απαιτείται για να τραβήξετε ένα υγρό από το κουτάλι πάνω στην γλώσσα.
Δευτερεύουσες ιδιότητες		
Ευθραυστότητα (Fracturability)	Η δύναμη με την οποία ένα υλικό σπάει: προϊόν υψηλού βαθμού σκληρότητας και χαμηλού βαθμού συνοχής.	Η δύναμη με την οποία ένα δείγμα καταρέει, ραγίζει ή θρυμματίζεται.
Μασητικότητα (Chewiness)	Η ενέργεια που απαιτείται για τη μάσηση μιας στερεάς τροφής σε κατάσταση έτοιμη για κατάποση: προϊόν σκληρότητας, συνοχής και ελαστικότητας.	Ο χρόνος (σε δευτερόλεπτα) που απαιτείται για τη μάσηση του δείγματος, με σταθερό ρυθμό εφαρμογής δύναμης, ώστε να μειωθεί σε συνοχή κατάλληλη για κατάποση.
Κομμώδες (Gumminess)	Η ενέργεια που απαιτείται για τη διάσπαση ενός ημι-στερεού τροφίμου σε κατάσταση έτοιμη για κατάποση: προϊόν χαμηλού βαθμού σκληρότητας και υψηλού βαθμού συνοχής.	Η πυκνότητα που επιμένει σε όλη τη διάρκεια της μάσησης. Η ενέργεια που απαιτείται για τη διάσπαση μιας ημιστερεής τροφής σε κατάσταση έτοιμη για κατάποση.

1.2.3.2 Δείκτης συνοχής (Consistency) (Εμπειρική)

Σύμφωνα με τους (Reiner & Scott Blair, 1967) ο όρος Consistency – Συνοχή αναφέρεται σε ιδιότητα ενός υλικού να αντιστέκεται σε μόνιμη αλλαγή μορφής του, που ορίζεται από την σχέση τάσης-ροής. Η έννοια της συνεκτικότητας αναφέρεται σε σύνολο ιδιοτήτων, ενώ συγγέεται με την έννοια του ιξώδους. Η μέτρηση της

συνοχής πραγματοποιείται με εμπειρικές μεθόδους όπου μπορεί να βασίζονται σε διαφορετικές αρχές.

Ένας άλλος ορισμός αναφέρει, ότι η συνοχή τα των μη-Νευτώνεια ή ημι-στερεών ρευστών, τα οποία περιέχουν αιωρούμενα σωματίδια και διαλυτά μόρια μακράς αλυσίδας, σχετίζεται με την τάση τους να κρατούν αυτά τα συστατικά σε εναιώρηση. Τα Πρότυπα των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, χρησιμοποιούν την κατανομή ή τη ροή του προϊόντος με σκοπό να κατηγοριοποιήσουν τα διαφορετικά προϊόντα ντομάτας (Gould Wilbur A., 1983).

1.2.3.2.1 Μέτρηση συνοχής με τη συσκευή Bostwick Consistometer

Το Consistometer Bostwick μετρά την απόσταση που διανύει ένα ημι-στερεό όταν αυτό ελευθερώνεται από ένα δοχείο σε μια λοξή κοιλότητα, ενώ αποτελεί την ενδεδειγμένη μέθοδο εκτίμησης της ποιότητας της συνοχής του Ketchup από την National Canners Association of America (Alina Surmacka Szczesniak, 1973). Επίσης χρησιμοποιείται και σε κλινικές μελέτες σχετικά με την δυσφαγία (Côté et al., 2019).

Η συσκευή αυτή αποτελείται από ένα επίπεδο αυλάκι από ανοξείδωτο χάλυβα με δύο διαμερίσματα και μια ορθογώνια διατομή. Το πρώτο διαμέρισμα, το οποίο έχει διαστάσεις 5x5x3,8 cm, χωρίζεται από το δεύτερο διαμέρισμα με μια πύλη με ελατήριο. Σε συνέχεια του πρώτου διαμερίσματος, το δεύτερο διαμέρισμα είναι ένα αυλάκι με πλάτος 5 cm, μήκος 24 cm και ύψος περίπου 2,5 cm. Η βάση αυτού του διαμερίσματος έχει ένα σύνολο παράλληλων γραμμών που χαράσσονται κατά μήκος του σε διαστήματα 0,5 cm, ξεκινώντας από την πύλη και φτάνουν μέχρι το άλλο άκρο.

Κατά τη χρήση του η σκανδάλη πιέζει την πόρτα να κλείσει και να την κλειδώνει στη θέση της. Η ουσία της οποίας η συνοχή θα εξεταστεί τοποθετείται στο πρώτο διαμέρισμα. Μετά την τοποθέτηση του μείγματος στο πρώτο διαμέρισμα η επιφάνεια του ισοπεδώνεται και ελευθερώνεται η πύλη. Το ρευστό αφήνεται να ρεύσει ελεύθερα από το πρώτο διαμέρισμα στο δεύτερο ενώ έλκεται από τη βαρύτητα. Η τιμή του Bostwick Consistometer μετά από 30 δευτερόλεπτα αντιπροσωπεύει την απόσταση που έχει ρέει από την πύλη σε εκατοστά (Bourne, 2002d).

Κατά την ροή του ρευστού παρατηρούνται 3 διαδοχικά στάδια:

- Το στάδιο αδράνειας εμφανίζεται για εξαιρετικά σύντομες χρονικές περιόδους όταν κυριαρχούν οι δυνάμεις της αδράνειας και της βαρύτητας.
- Σε ενδιάμεσα στάδια, η ροή καθορίζεται από την ισορροπία των δυνάμεων ιξώδους και βαρύτητας.
- Το στάδιο επιφανειακής τάσης προκύπτει όταν οι ιξώδεις δυνάμεις εξισορροπούνται από δυνάμεις επιφανειακής τάσης για μεγάλες χρονικές περιόδους. Το πάχος του ρευστού έχει πέσει σε σημείο όπου οι δυνάμεις βαρύτητας δεν έχουν σχεδόν καμία επίδραση στη ροή (Mccarthy & Seymour, 1993).

1.2.3.2.2 Μέτρηση συνοχής με μέτρηση απλώματος USDA Consistometer - Line spread test

Το πείραμα αυτό αποτελεί έναν γρήγορο, φθινό και απλό στη χρήση τρόπο για την αξιολόγηση της συνεκτικότητας. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση σως μήλων και διαφόρων γεμίσεων μορφής κρέμας. Σε κλινικές μελέτες χρησιμοποιείται και για το επιπλέον προτέρημα του: την επαναληψιμότητα. Ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί εύκολα από φροντιστές ανθρώπων που πάσχουν από δυσφαγία.

Το πείραμα αυτό εκτελείται σε μία λεία και επίπεδη επιφάνεια πάνω στην οποία απεικονίζονται 11 ομόκεντροι κύκλοι. Στον μικρότερης διαμέτρου κύλινδρο τοποθετείται κοίλος σωλήνας μέσα στον οποίο χύνεται η ουσία. Αφού ανυψωθεί ο σωλήνας, το ρευστό αρχίζει να ρέει προς τα έξω και η απόσταση διανύει το ρευστό, μετρημένη σε εκατοστά, προσδιορίζεται από τον μέσο όρο δεδομένων από κάθε τεταρτημόριο του κύκλου (cm). Οι χαμηλοί μέσοι όροι αντιπροσωπεύουν συχνά πιο παχύρρευστα δείγματα που απλώνονται σε μικρότερη περιοχή, ενώ οι υψηλές τιμές συνήθως σχετίζονται με λιγότερο παχύρρευστα ρευστά που ρέουν μακρύτερα (Grawemeyer & Pfund, 1943; Jane et al., 2018).

1.2.4 Οργανοληπτική αξιολόγηση

Το επιστημονικό πεδίο της οργανοληπτικής αξιολόγησης χρησιμοποιείται για να ποσοτικοποιήσει, να εξετάσει και να ερμηνεύσει πώς αντιδρούν οι πέντε αισθήσεις (όραση, όσφρηση, γεύση, αφή και ακοή) σε ορισμένες ποιότητες τροφίμων και

υλικών. Οι οργανοληπτικές ιδιότητες των τροφίμων και άλλων υλικών μετρούνται και αξιολογούνται κατά τη διαδικασία της οργανοληπτικής αξιολόγησης (Stone & Sidel, 2004). Η οργανοληπτική αξιολόγηση στη βιομηχανία τροφίμων παίζει καθοριστικό ρόλο στην αποδοχή ενός προϊόντος από τον καταναλωτή. Εφαρμόζεται σε διάφορα στάδια της ανάπτυξης ενός προϊόντος και συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας, καθώς και στον έλεγχο τήρησης των προδιαγραφών και παρακολούθησης του συστήματος ελέγχου ποιότητας των προϊόντων.

Οι οργανοληπτικές δοκιμές χωρίζονται σε 3 κατηγορίες ανάλογα με το που αποσκοπούν. Η πρώτη κατηγορία είναι οι δοκιμές διάκρισης (discrimination) που σκοπό έχουν να εντοπίσουν διαφορές (μη συγκεκριμένες) ανάμεσα στα προς εξέταση προϊόντα. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων γίνεται σε σχέση με το αν η απάντηση των δοκιμαστών είναι σωστή ή όχι. Η δεύτερη κατηγορία είναι οι δοκιμές προτίμησης - αποδοχής (affective) που έχουν σκοπό την εκτίμηση της αρέσκειας ενός προϊόντος από τους καταναλωτές. Για αυτές τις δοκιμές χρησιμοποιούνται ηδονικές κλίμακες αρέσκειας, ενώ δεν απαιτείται οι δοκιμαστές να είναι εκπαιδευμένοι αρκεί ο αριθμός τους να είναι μεγάλος και να καταναλώνουν στην καθημερινότητα τους το προς εξέταση προϊόν έτσι ώστε να αποτελούν ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα.

Τέλος, η τρίτη κατηγορία είναι οι περιγραφικές δοκιμές (descriptive) με στόχο τον εντοπισμό συγκεκριμένων οργανοληπτικών διαφορών στα προς εξέταση δείγματα. Οι πληροφορίες που προκύπτουν από αυτές τις δοκιμές συχνά χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση ενός ή περισσότερων προϊόντων με ανταγωνιστές, για την παρακολούθηση των μεταβαλλόμενων χαρακτηριστικών των προϊόντων κατά τη διάρκεια ζωής τους, για την αντιμετώπιση παραπόνων των καταναλωτών και για τη συσχέτιση μεταξύ οργανοληπτικών πληροφοριών (descriptive sensory), οργανικών (instrumental) πληροφοριών ή προτιμήσεων των καταναλωτών. Συνήθως, 8 έως 12 δοκιμαστές συμμετέχουν σε μια γενική περιγραφική ανάλυση. Αυτοί οι συμμετέχοντες έχουν εκπαιδευτεί χρησιμοποιώντας πρότυπα αναφοράς για να κατανοήσουν και να συμφωνήσουν σχετικά με το νόημα των χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούνται. Συχνά χρησιμοποιούν μια αριθμητική κλίμακα για την ένταση, επιτρέποντας τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων. Οι δοκιμαστές πρέπει να

αποφασίσουν σε ποιο σημείο της κλίμακας βρίσκεται η κρίση τους για την ένταση του χαρακτηριστικού που αξιολογούν και να τη σημειώσουν με ένα σημάδι επάνω στην κλίμακα ενώ η αξιολόγηση συνήθως γίνεται με 2-3 επαναλήψεις (H. Lawless & Heymann, 2010; H. T. Lawless & Heymann, 2010b).

1.2.4.1 Υφή και αφή με ψηλάφηση

Η αίσθηση της αφής, η αίσθηση του τρόφιμου στο χέρι και η γεύση του είναι οι κύριοι τρόποι με τους οποίους γίνεται αντιληπτή η υφή. Ωστόσο, πιο συχνά από τις άλλες αισθήσεις χρησιμοποιείται η αίσθηση της αφής για την κατανόηση των χαρακτηριστικών της υφής των τροφίμων. Από τις πέντε αισθήσεις, αυτή της αφής εξαπατάται δυσκολότερα (Bourne, 2002a).

Το σφίξιμο, το λύγισμα και το κράτημα των τροφίμων στο χέρι είναι κοινές πρακτικές για την αξιολόγηση της υφής μέσω αφής. Τα ανθρώπινα δάχτυλα αντιλαμβάνονται την απόσταση που διανύουν καθώς πιέζουν το τρόφιμο σε ένα πείραμα συμπίεσης και όταν τα δάχτυλα διανύουν μεγάλη απόσταση κατά την συμπίεση τότε το τρόφιμο θεωρείται μαλακό και αντίστροφα. Η πλειονότητα των ανθρώπων, συνήθως μεταβάλλουν την ποσότητα της δύναμης που εφαρμόζουν από τη μια πίεση στην άλλη. Στην οργανοληπτική δοκιμή (sensory) παραμόρφωσης, η πίεση μαλακότερων, πιο εύκαμπτων τροφίμων πιο μαλακά (με λιγότερη δύναμη) βελτιώνει την ανάλυση μεταξύ των παραπλήσιων δειγμάτων (Bourne, 2002e).

Από έρευνα που πραγματοποιήθηκε για την αξιολόγηση της σκληρότητας φρούτων και λαχανικών με πίεσή τους με τα χέρια βρέθηκε ότι οι άνδρες έχουν την τάση να ασκούν μεγαλύτερη πίεση από τις γυναίκες καθώς και να εφαρμόζουν τη δύναμη γρηγορότερα (Voisey & Crête, 1973).

Επιπλέον, εμφανίζεται διαφορά στην αντίληψη της υφής ανάλογα με τον τρόπο που αξιολογείται. Για παράδειγμα, όταν η υφή αξιολογείται από το στόμα τα δόντια και κατ' επέκταση το σαγόνι αποτελούν σκληρές επιφάνειες που δεν επιδέχονται παραμόρφωση από την πίεση που ασκούν, επομένως η αίσθηση που γίνεται αντιληπτή είναι χαρακτηριστικό κυρίως του μαλακού τρόφιμου. Από την άλλη η αίσθηση που εκλαμβάνουμε από την ψηλάφηση είναι συνάρτηση της παραμόρφωσης του τρόφιμου και των δακτύλων (M Peleg, 1980).

Επιπρόσθετα, έχει παρατηρηθεί υψηλή συσχέτιση ανάμεσα στην σκληρότητα τραγανού ψωμιού το οποίο αξιολογήθηκε στην στοματική κοιλότητα (δάγκωμα-μάσημα) και την αντίστοιχη που υπολογίσθηκε από συμπίεση ανάμεσα στα δάκτυλα (Andersson et al., 1973). Ενώ, όμοια αποτελέσματα προέκυψαν και από την αξιολόγηση της υφής τυριών ως αναφορά την διαφοροποίησή τους με βάση την υφή.

Δεδομένου ότι η στοματική και διανοητική κούραση μπορεί να αποφευχθεί με τον αποκλεισμό του οσφρητικού συστήματος (olfactory system), η αξιολόγηση της υφής με το χέρι μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο πρώτο βήμα κατά τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της υφής (Drake et al., 1999).

1.2.4.2 Όραση (Μάτια – διαφάνεια)

Αρκετές φορές η επιφανειακή όψη των τροφίμων επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο γίνεται αντιληπτή η υφή πέρα από το πώς θεωρείται η εμφάνιση του προϊόντος. Για παράδειγμα τα κομμάτια στην πουτίγκα ταπιόκας γίνονται επίσης αισθητά ως σβώλοι στο στόμα. Η αξιολόγηση της οπτικής υφής και η αξιολόγηση των χαρακτηριστικών εμφάνισης όπως η γυαλάδα και η ανάκλαση μπορεί να έχουν κάποια επικάλυψη.

Η θολότητα (turbidity) εμφανίζεται όταν μικρά αιωρούμενα σωματίδια εκτρέπουν το φως από μια ευθεία διαδρομή μέσω ενός υλικού και το διασκορπίζουν σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Η διαύγεια προκύπτει από τη μετάδοση του φωτός και τα ρευστά που μεταδίδουν περισσότερο φως θα φαίνονται πιο ημιδιαφανή. Ωστόσο, η σχέση μπορεί να περιπλέκεται από άλλους παράγοντες όπως το χρώμα του μέσου (H. T. Lawless & Heymann, 2010a).

2 Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Πρώτες ύλες

Στην μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν έξι διαφορετικά είδη αμύλου. Τα άμυλα της πατάτας και του αραβοσίτου αποτέλεσαν δείγματα που δόθηκαν δωρεάν από την εταιρία Agrana (Gmünd, Austria) και είναι τα προϊόντα με κωδικούς Starkina 20.000 (Agrana, Gmünd, Austria) και Maisita 21.000 (Agrana, Gmünd, Αυστρία) αντίστοιχα. Το άμυλο από κάστανο αποτελεί προϊόν απομόνωσης που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο από το εμπορικό άλευρο Kastanien Mehl (Bauckhof, Rosche, Γερμανία). Τα υπόλοιπα τρία άμυλα αγοράστηκαν και αποτελούν προϊόντα του εμπορίου και είναι τα ακόλουθα: Primeal Αραρούτι (Ekibio, Peaugres, Γαλλία), Κασσάβα (Όλα-Bio, Άγιος Στέφανος, Ελλάδα) και τέλος Kuzu (Clearspring, Λονδίνο, Αγγλία). Για την κρέμα χρησιμοποιήθηκε φρέσκο γάλα με 3,5% λιπαρά (Μαράτα, Περιστέρι, Ελλάδα) και κρυσταλλική ζάχαρη (Αφοι Γαβρήλου ΑΕΒΕ, Οινόφυτα, Ελλάδα).

Πίνακας 5: Τιμές των υπό μελέτη προϊόντων όπως αυτά βρίσκονται στην ελληνική αγορά

Άμυλο	Τιμή/τεμάχιο(€/ g)	Τιμή (€/kg)
Αραβόσιτος	0,9 / 200	4,5
Πατάτα	2,35 / 500	4,7
Κασσάβα	2,20 / 350	6,3
Αραρούτι	7,55 / 250	30,2
Kuzu	10,95 / 125	87,6
Άλευρο από Κάστανο	6,58 / 350	18,8

2.2 Εξαγωγή αμύλου από άλευρο κάστανου

Για την απομόνωση του αμύλου από το άλευρο κάστανου ακολουθήθηκε η αλκαλική μέθοδος που χρησιμοποίησαν οι (Correia & Beirão-da-Costa, 2012) με ορισμένες τροποποιήσεις. Συνοπτικά τα βήματα που έλαβαν χώρα είναι τα ακόλουθα:

- Πραγματοποιήθηκε διασπορά 100 g αλεύρου κάστανου σε διπλάσιο όγκο διαλύματος (420ml) NaOH συγκέντρωσης 0,25% (w/v) με τη βοήθεια

μηχανικού αναδευτήρα έτσι ώστε να μειωθεί ο όγκος και αριθμός των συσσωματωμάτων. Το μείγμα αποθηκεύτηκε στους 5°C για 24 h.



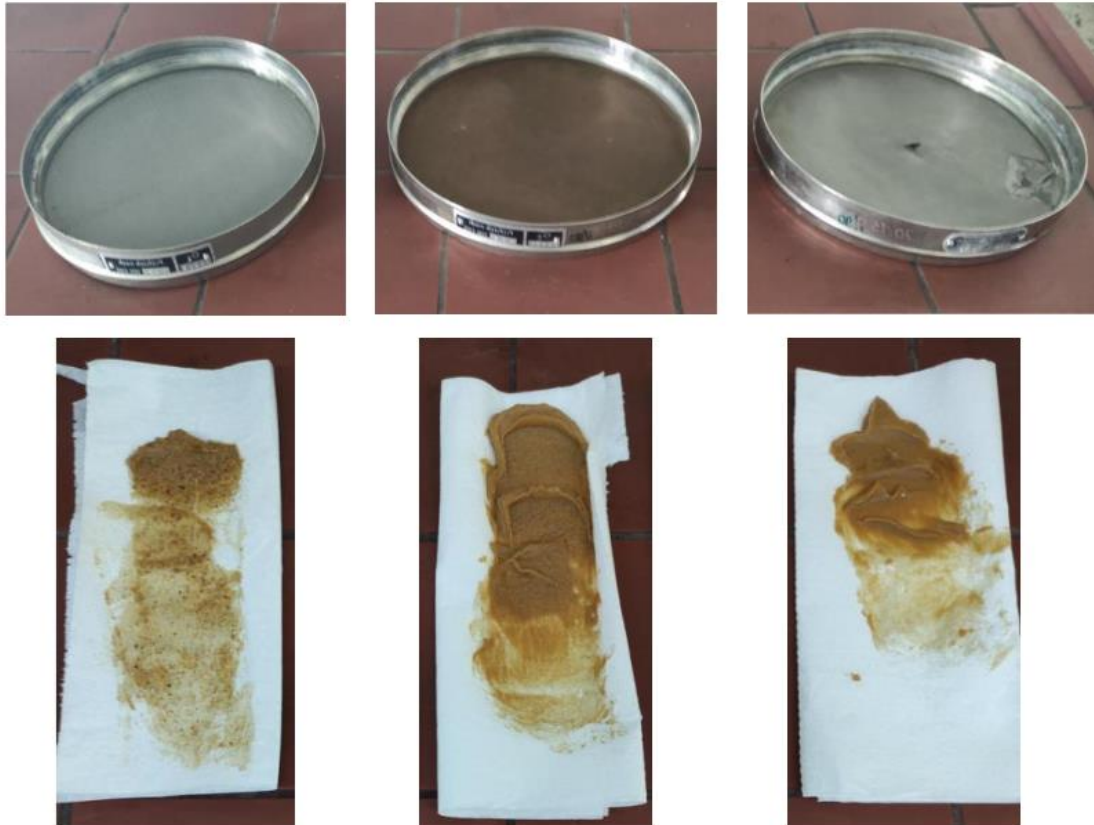
Εικόνα 10: Ανάδευση με μηχανικό αναδευτήρα (EURO-ST D, IKA)

- Ανάδευση με μηχανικό αναδευτήρα για 10 min για να επιτευχθεί ομοιογενοποίηση του μίγματος.
- Κοσκίνισμα 2 φορές από κόσκινο διαμέτρου 250 μm. Το μίγμα που διήλθε από το πρώτο κόσκινο, πέρασε από κόσκινο διαμέτρου 90 μm και τέλος από κόσκινο διαμέτρου 60 μm. Η διαδικασία αυτή έγινε για να διαχωρισθούν και στη συνέχεια απορριφθούν μεγάλης διαμέτρου συσσωματώματα, προσμίξεις, ίνες, πρωτεΐνες, λιπαρά και τέφρα. Επιπλέον, μία ποσότητα αμύλου.

Πίνακας 6: Σύσταση αλεύρου από κάστανο με βάση την ετικέτα της συσκευασίας.

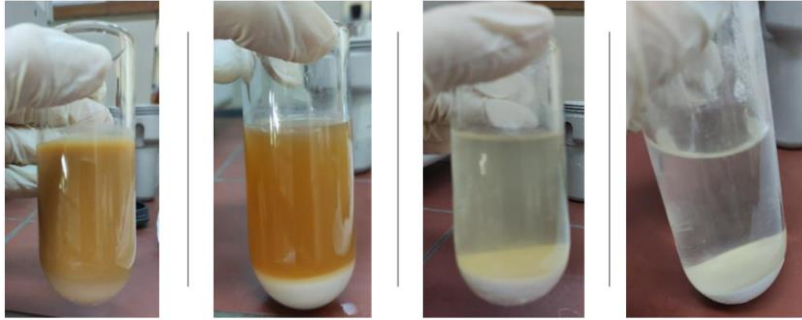
Διατροφική αξία /100g	
Ενέργεια	1479 kJ / 350 kcal
Λιπαρά	3,2 g
εκ των οποίων κορεσμένα	0,5 g
Υδατάνθρακες	69 g
εκ των οποίων σάκχαρα	23 g

Εδώδιμες ίνες	14 g
Πρωτείνες	4,9 g
Αλάτι	<0,01 g



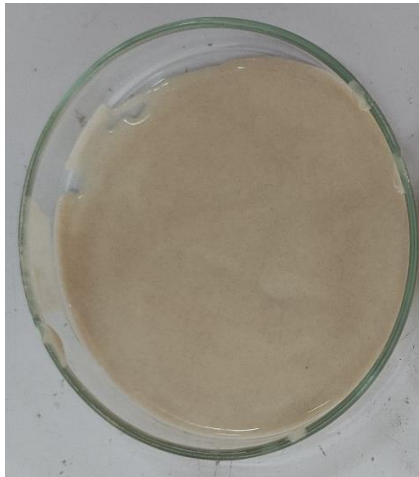
Εικόνα 11: Το κομμάτι του μίγματος που δεν διήλθε από τα κόσκινα και απορρίφθηκε (250µm, 90µm και 60µm αντίστοιχα).

- Ακολούθησε φυγοκέντριση (Sorvall EconoSpin Bench-top Centrifuge with Swinging Bucket Rotor, USA) για 15 min στα 4000 rpm όπου το υπερκείμενο υγρό μαζί με μια κολλώδους υφής μάζα απορρίφθηκαν.
- Το ίζημα εναιωρήθηκε με απεσταγμένο νερό 200 ml και φυγοκεντρήθηκε 3 φορές ακόμα.



Εικόνα 12: Το μίγμα σε σειρά μετά από διαδοχικές φυγοκεντρήσεις

- Τέλος, τοποθετήθηκε σε γυάλινα τριβλία και ξηράνθηκε για 48 h στους 40°C.
- Μετά τη ξήρανση το άμυλο κονιορτοποιήθηκε με γουδί ώστε να είναι σε μορφή σκόνης.



Εικόνα 13: Το άμυλό έτοιμο για ξήρανση σε γυάλινο τριβλίο.



Εικόνα 14: Κονιορτοποίηση αμύλου

Από 1400 g αλεύρου απομονώθηκαν 142,3 g αμύλου (d.w.).

2.3 Χαρακτηρισμός κόκκων αμύλου με οπτικό μικροσκόπιο

Η μελέτη των κόκκων του αμύλου πραγματοποιήθηκε με οπτικό μικροσκόπιο (Kruss Optronic, Germany) και λήφθηκαν φωτογραφίες με ενσωματωμένη κάμερα (Sony, Topica TP-1002DS). Για κάθε δείγμα δημιουργήθηκε εναιώρημα αμύλου – απεσταγμένου νερού περιεκτικότητας 1%. Μετά από ανάδευση 15 h με τη χρήση πιπέτας τοποθετήθηκε μια σταγόνα σε αντικειμενοφόρο πλάκα και καλύφθηκε με καλυπτρίδα για την προστασία του φακού μεγέθυνσης x40. Υστέρα επιλέχθηκαν οι

εικόνες με την καλύτερη ανάλυση και μέσω του προγράμματος Image Pro 8 υπολογίστηκε η μέση διάμετρος 100 αμυλοκόκκων για κάθε είδος αμύλου.

2.4 Πολωμένο φως

Για την παρατήρηση των κόκκων του αμύλου σε μικροσκόπιο με πολωμένο φως για κάθε δείγμα δημιουργήθηκε εναιώρημα αμύλου – απεσταγμένου νερού περιεκτικότητας 1%. Μετά από ανάδευση 15 min με τη χρήση πιπέτας τοποθετήθηκε μια σταγόνα σε αντικειμενοφόρο πλάκα και καλύφθηκε με καλυπτρίδα και τοποθετήθηκε σε μικροσκόπιο με πολωμένο φως.

2.5 Προσδιορισμός υγρασίας αμύλων

Η μέτρηση της υγρασίας πραγματοποιήθηκε με βάση τη μέθοδο «AOAC 925.10» (AOAC, 2007) . Συνολικά για κάθε άμυλο έγιναν 3 μετρήσεις.

Σύμφωνα με τη μέθοδο, αρχικά, ξηράθηκαν σε φούρνο αέρα στους 130°C για 45 min οι γυάλινοι περιέκτες και τα πώματα (ανοιχτά). Κατόπιν τοποθετήθηκαν αμέσως στο ξηραντήρα (desiccator) με αφυγραντικό μέσο (P_2O_5) για 30 min έως ότου έρθουν σε θερμοκρασία δωματίου. Με τη χρήση ζυγού ακριβείας ζυγίστηκαν ο κάθε περιέκτης με το αντίστοιχο πώμα και λήφθηκε η τιμή m_0 . Στη συνέχεια σε κάθε περιέκτη τοποθετήθηκε δείγμα αμύλου βάρους 2 g και λήφθηκε η τιμή m_1 που αντιστοιχεί στο βάρος του περιέκτη, του δείγματος και του πώματος. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν τα δείγματα στο φούρνο με τα πώματα στο πλάι στους 105°C για 19 h και 30 min.



Εικόνα 15: Ξήρανση του αμύλου για την μέτρηση της υγρασίας.



Εικόνα 16: Ξηραντήρας (desiccator) με αφυγραντικό μέσο P₂O₅.

Τα πώματα τοποθετήθηκαν στους αντίστοιχους περιέκτες στον φούρνο και αμέσως μεταφέρθηκαν στον ξηραντήρα για 30 min ώστε να έρθουν σε θερμοκρασία δωματίου. Εκ νέου ζύγιση έδωσε την τιμή m_2 .

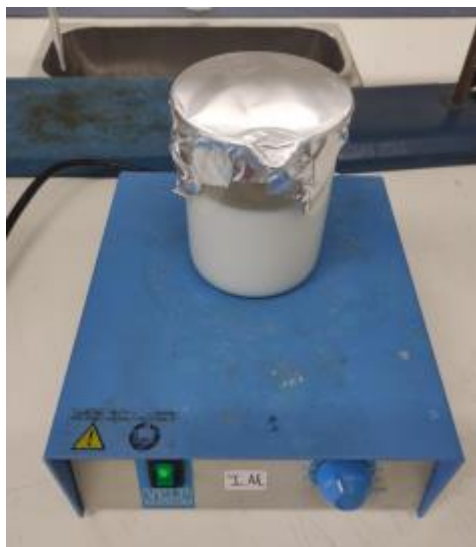
Η υγρασία υπολογίσθηκε από τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Υγρασία \%} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \right) \times 100$$

2.6 Δημιουργία υδρογέλης

Για τον σχηματισμό των υδρογελών διαλύθηκαν σε απεσταγμένο νερό τα απαιτούμενα γραμμάρια αμύλου, κατόπιν διόρθωσής της υγρασίας έτσι ώστε η περιεκτικότητα του διαλύματος να αντιστοιχεί σε 10% κατά βάρος, με το τελικό διάλυμα να είναι 120 ml. Πραγματοποιήθηκε ανάμιξη με μαγνήτη για 30 min σε ποτήρι ζέσεως, ακολούθως καλύφθηκε με αλουμινόχαρτο και τοποθετήθηκε σε υδατόλουτρο με υπερκείμενο βάρος ώστε να παραμείνει στην αρχική του θέση. Το μείγμα παρέμεινε για θέρμανση στους 95°C για 30 min υπό συνεχή ανάδευση. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε θερμό σε 3 καλούπια. Αφέθηκε 1 ώρα, ώστε να έρθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τέλος, τα καλούπια καλύφθηκαν με αλουμινόχαρτο και αποθηκεύτηκαν σε ψύξη στους 4°C για 24 h (Εικόνα 17-18).

Τα καλούπια δημιουργήθηκαν από πλαστικούς κυλινδρικούς περιέκτες διαμέτρου 3,5 cm και ύψους 10 cm στους οποίους αφαιρέθηκε ο πάτος για διευκόλυνση απόσπασης της υδρογέλης (Εικόνα 19).



Εικόνα 17: Ανάδευση αμύλου με μαγνήτη.



Εικόνα 18: Τοποθέτηση σε υδατόλουτρο (RCT Basic S1 Hot Plate Magnetic Stirrer, IKA)



Εικόνα 19: Καλούπι

2.7 Ζελατίνη

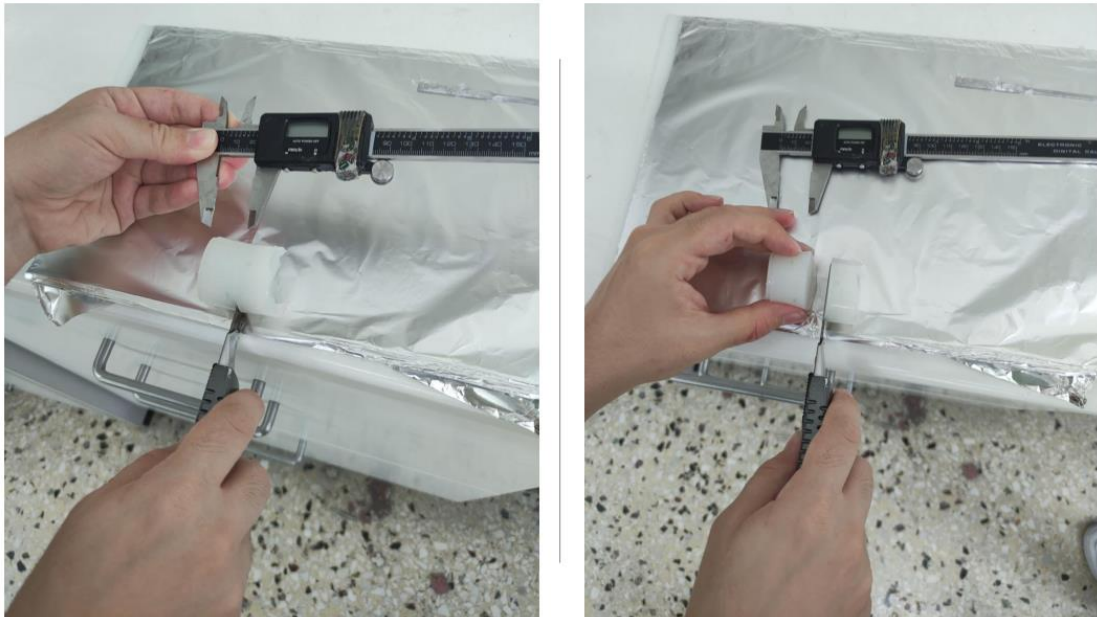
Ως δείγμα αναφοράς για την οργανοληπτική αξιολόγηση χρησιμοποιήθηκε η ζελατίνη. Για τον προσδιορισμό των δύο άκρων της κλίμακας σχηματίστηκαν υδρογέλες συγκεντρώσεως 2,4,6,8,10 και 12%. Συνολικά με ογκομετρικό σωλήνα

μετρήθηκαν 120ml απεσταγμένου νερού και με ζυγαριά τα απαιτούμενα γραμμάρια ζελατίνης ώστε αν επιτευχθούν οι επιθυμητές συγκεντρώσεις. Σε ένα ποτήρι ζέσεως τοποθετήθηκαν τα 30 ml (εκ των 120 ml) και σε αυτά προστέθηκε η ζελατίνη και αφήθηκε για 5-10 min να ενυδατωθεί. Σε ένα δεύτερο ποτήρι ζέσεως τοποθετήθηκαν τα υπόλοιπα 90 ml νερού, το ποτήρι καλύφθηκε με αλουμινόχαρτο και ζεστάθηκε έως τους 95°C. Στο πρώτο ποτήρι ζέσεως τοποθετήθηκε μαγνήτης και το ζεστό νερό, καλύφθηκε με αλουμινόχαρτο και αναδεύτηκε για 15 min έως ότου διαλυθεί πλήρως η ζελατίνη. Στη συνέχεια το μείγμα της ζελατίνης τοποθετήθηκε σε τρία καλούπια, αφήθηκε να έρθει σε θερμοκρασία δωματίου, καλύφθηκε με αλουμινόχαρτο και αποθηκεύτηκε σε ψυγείο στους 4°C για 24 h.

Για την επιλογή των άκρων της κλίμακας λήφθηκε καμπύλη διπλής συμπίεσης από όλες τις συγκεντρώσεις με τρεις επαναλήψεις. Επειδή οι τιμές των χαρακτηριστικών της υφής των υδρογελών των αμύλων που μελετήθηκαν βρίσκονταν εντός του εύρους 2 και 10%, αυτές οι συγκεντρώσεις αποτέλεσαν τα 2 άκρα της κλίμακας για την οργανοληπτική αξιολόγηση.

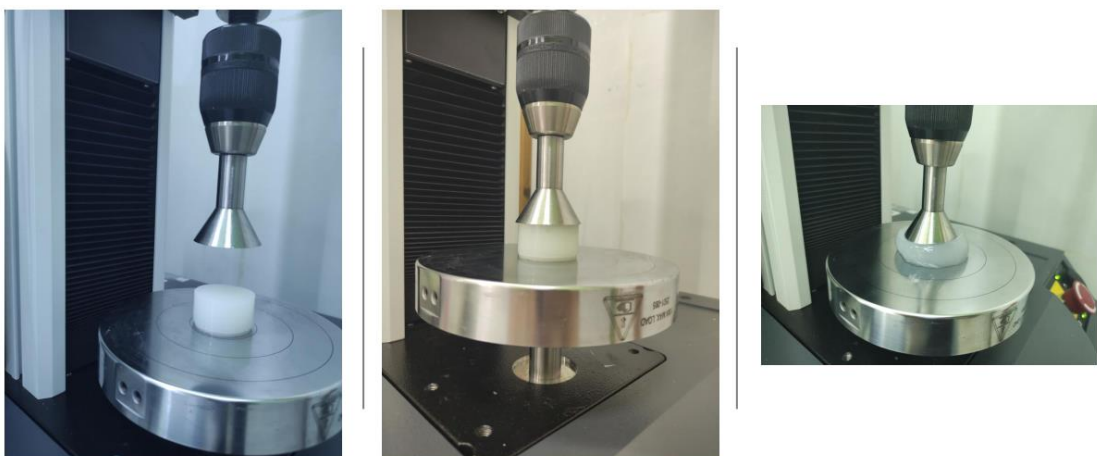
2.8 Μέτρηση παραμέτρων υφής (Texture Profile Analysis)

Το δείγμα βγαίνει από το ψυγείο και αφήνεται για 45-60 min να έρθει σε θερμοκρασία δωματίου. Με προσοχή ώστε να μην σπάσει αποσπάτε από το καλούπι και με τη βοήθεια παχύμετρου και κοπιδιού κόβεται στο επιθυμητό ύψος των 2 cm.



Εικόνα 20: Κόψιμο δείγματος

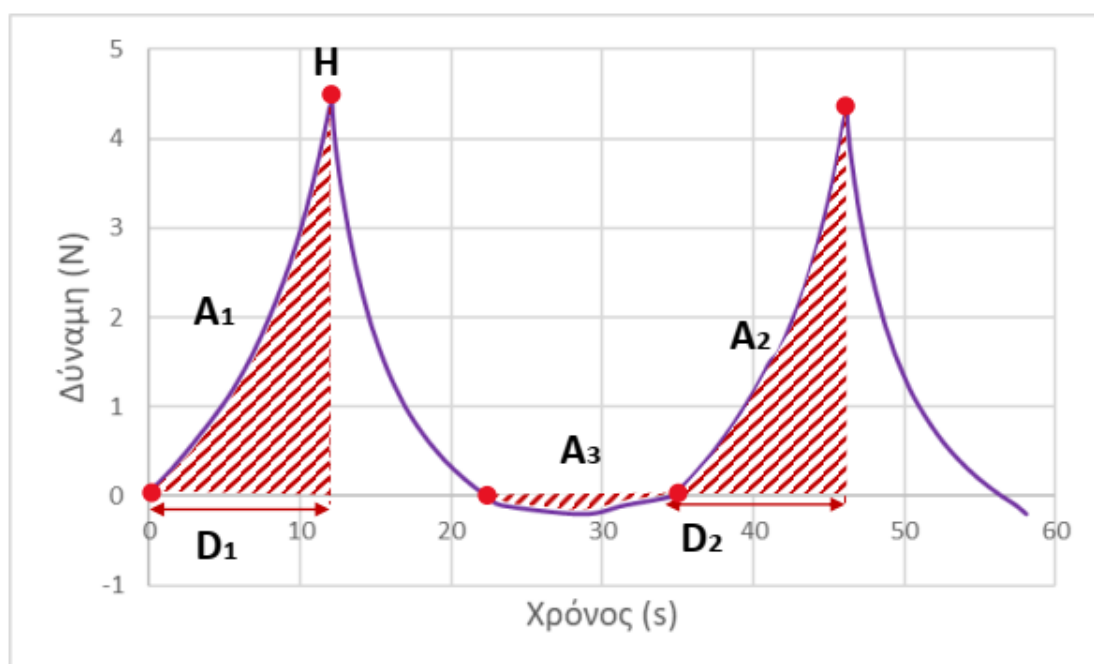
Η συσκευή Instron Universal Texture machine, model 3343 (Instron, Norwood, MA, USA) (χρησιμοποιήθηκε για την παραλαβή της καμπύλης διπλής συμπίεσης. Το δείγμα τοποθετείται στο κέντρο της βάσης και το έμβολο σε σχήμα δίσκου διαμέτρου 4 cm κατεβαίνει χειροκίνητα έως ότου έρθει σε επαφή με το δείγμα χωρίς να του ασκεί πίεση. Ακολούθως η μέτρηση λαμβάνει χώρα σε τρία βήματα. Η ταχύτητα καθόδου και ανόδου του εμβόλου είναι 40mm/min και για της δύο συμπίεσεις και κατεβαίνει ως το 40% του ύψους του δείγματος όπου πραγματοποιεί κράτημα 10 sec. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία δωματίου 20°C. Το έμβολο καθαριστικό πριν από κάθε μέτρηση.



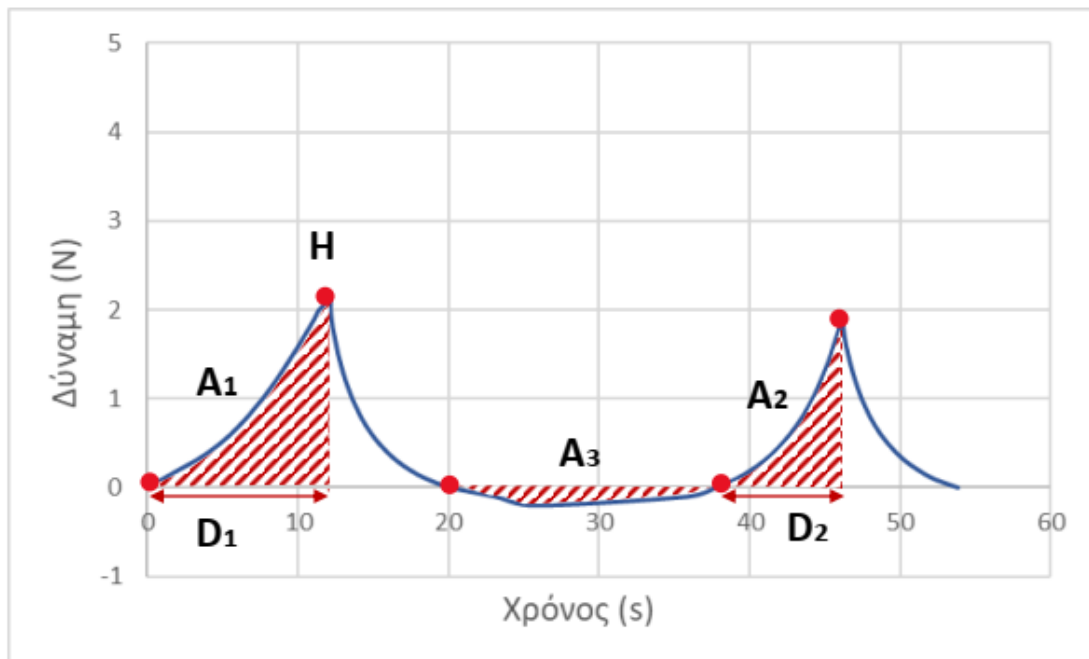
Εικόνα 21: Τοποθέτηση δείγματος στο Instron και συμπίεση στο 40% του ύψους

του.

Μετά το τέλος της διπλής συμπίεσης με χρήση του λογισμικού του Instron σημειώνουμε πάνω στην καμπύλη τα σημεία που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της σκληρότητας, συνάφειας, ελαστικότητας, συνεκτικότητας και κομμιώδες του δείγματος. Ως σκληρότητα σημειώθηκε η πρώτη κορυφή H μιας και οι υδρογέλες αμύλου δεν παρουσιάζουν ευθραυστότητα, ως συνάφεια λήφθηκε η μέτρηση A_3 και η ελαστικότητα εκτιμήθηκε ως αναλογία D_2/D_1 . Τέλος η συνεκτικότητα και κατ' επέκταση το κομμιώδες υπολογίστηκαν με την διορθωμένη μορφή A_2/A_1 , όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 1 και 2.



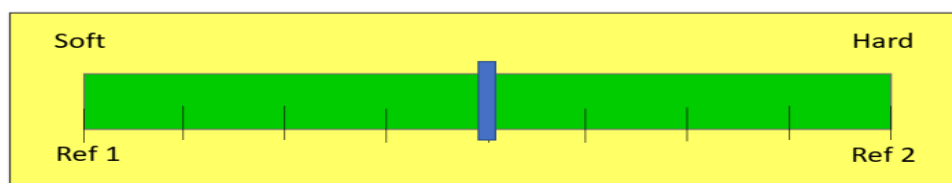
Διάγραμμα 1: Καμπύλη TPA της υδρογέλης Kuzu



Διάγραμμα 2: Καμπύλη TPA της υδρογέλης Κασσάβας

2.9 Οργανοληπτική αξιολόγηση

Για την οργανοληπτική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκαν 2 είδη περιγραφικής ανάλυση (Descriptive analysis). Η πρώτη δοκιμασία ήταν κατάταξης (ranking test) όπου οι δοκιμαστές καλούνται να συγκρίνουν τις 6 υδρογέλες αμύλου και να τις κατατάξουν με βάση την διαφάνειά τους. Η δεύτερη αποτελεί μια γενική περιγραφική (generic or adoptive) δοκιμή των 4 χαρακτηριστικών της υφής (σκληρότητα, συνάφεια, ελαστικότητα και συνεκτικότητα) συγκρίνοντας την κάθε υδρογέλη ξεχωριστά με τα δείγματα αναφοράς (ζελατίνη) που βρισκόντουσαν στα άκρα της κλίμακας. Η δημιουργία της κλίμακας έγινε με βάση το ASTM (2021). Οι κλίμακες (scales) που χρησιμοποιήθηκαν ήταν γραμμικές (line), σχετικές (relative), μίας κατεύθυνσης (unipolar) με 9 βαθμίδες (points) συμπεριλαμβανομένων των 2 αγκυρών (anchors points) στα άκρα της κάθε κλίμακας. Στους δοκιμαστές η αρίθμηση της κλίμακας δεν ήταν ορατή παρά μόνο τα 2 άκρα της όπου βρίσκονταν τα 2 δείγματα αναφοράς – ζελατίνης.



Εικόνα 22: Η κλίμακα αξιολόγησης όπως αυτή εμφανίζεται στο SIMS

Η οργανοληπτική αξιολόγηση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε από δοκιμαστές (πάνελ) 12 ατόμων (7 γυναίκες και 5 άνδρες) μέσης ηλικίας 25-35 χρονών. Η οργανοληπτική δοκιμή έλαβε χώρα σε διάστημα τριών ημερών και καθημερινά συμμετείχαν 4 άτομα. Ο κάθε συμμετέχοντας εκτέλεσε τη δοκιμή μόνος του χωρίς να έχει έρθει σε επαφή με άλλους συμμετέχοντες.

Αρχικά συμπληρώθηκε ένα γραπτό ερωτηματολόγιο (Παράρτημα 5.2) ώστε να υπάρχει η δυνατότητα διαλογής των δοκιμαστών. Ζητήθηκε να δηλωθεί το «καλό» τους χέρι ώστε να πραγματοποιηθεί με αυτό η αξιολόγηση. Επίσης οι συμμετέχοντες ερωτήθηκαν για την ύπαρξη τραύματος ή εγκαύματος που θα μπορούσε να επηρεάσει την αίσθηση της αφής και κατ' επέκταση να δώσει εσφαλμένα αποτελέσματα.

Στη συνέχεια έλαβε χώρα εκπαίδευση των συμμετεχόντων, διάρκειας περίπου 15 λεπτών ώστε να γίνουν σαφής τα χαρακτηριστικά που καλούνταν να αξιολογήσουν, η διαδικασία αξιολόγησης και ο τρόπος χρήσης του προγράμματος SIMS (Sensory Computer Systems, Berkeley Heights, USA). Τα χαρακτηριστικά και ο τρόπος αξιολόγησης εμφανιζόταν καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμής ως μέρος των ερωτήσεων. Ενώ έγιναν πρόσθετες προφορικές διευκρινίσεις, όπου κρίθηκε απαραίτητο για την αποφυγή λαθών.

Κατόπιν, ζητήθηκε να κατατάξουν την πρώτη σειρά δειγμάτων με τους κωδικούς τους ως προς την διαφάνεια του δείγματος ξεκινώντας από το περισσότερο διαφανή και διαδοχικά να φτάσουν στο λιγότερο διαφανή (περισσότερο οπακ).

Τέλος, κλήθηκαν να αξιολογήσουν με την χρήση των δακτύλων τους τα εξής χαρακτηριστικά της υφής: την σκληρότητα, συνάφεια, ελαστικότητα και συνεκτικότητα πιέζοντας τα δείγματα ανάμεσα στο δείκτη, μέσο και αντίχειρα (Παράρτημα 5,3) (Nagarabha & Bhattacharya, 2015).

Οι συμμετέχοντες αξιολόγησαν το κάθε άμυλο δύο φορές χωρίς να το γνωρίζουν και χωρίς να ξέρουν πόσα και ποια ήδη αμύλου εξετάζονται. Επομένως σε αυτούς παρουσιάστηκαν συνολικά 12 δείγματα όλα με διαφορετικούς κωδικούς και δύο δείγματα αναφοράς (ζελατίνη) ως προς τα οποία θα συγκρίναν τα 12 δείγματα

αμύλου. Μεταξύ των δειγμάτων οι συμμετέχοντες καθάριζαν με νερό και σαπούνι δάχτυλά τους. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία δωματίου 20°C. Η συνολική διάρκεια της αξιολόγησης (χωρίς την εκπαίδευση) ήταν περίπου 30 min ανά συμμετέχοντα.



Εικόνα 23: Ο δίσκος με τα 12 δείγματα που δόθηκαν για την οργανοληπτική δοκιμή

2.10 Δείκτης συνοχής (Consistency)

Από τις 6 πηγές αμύλου επιλέχθηκαν τα άμυλα κασσάβας, αραβοσίτου και kuzu για τον σχηματισμό κρέμας γάλακτος και την μελέτη της συνοχής – πυκνότητάς τους με δύο μεθόδους. Οι λόγοι που επιλέχθηκαν τα προαναφερόμενα άμυλα ήταν οι διάφορες του TPA και της οργανοληπτικής αξιολόγησης ανάμεσα στην κασσάβα και τον αραβοσίτου και kuzu, και η τεράστια διαφορά της τιμής του kuzu με όλα τα υπόλοιπα.

Για την δημιουργία κρέμας συνολικού βάρους 120 g τοποθετήθηκαν σε ποτήρι ζέσεως τα απαιτούμενα γραμμάρια αμύλου μετά από διόρθωση της υγρασίας ώστε το τελικό προϊόν να έχει περιεκτικότητα αμύλου 5%. Στη συνέχεια προστέθηκαν τα απαιτούμενα γραμμάρια ζάχαρης ώστε αυτή να έχει συγκέντρωση 6% επί του συνολικού βάρους. Τέλος προστέθηκε τα απαιτούμενα γραμμάρια φρέσκου γάλακτος ώστε το μείγμα να έχει τελικό βάρος 120 g. Κατόπιν πραγματοποιήθηκε ανάμιξη με μαγνήτη για 30 min σε ποτήρι ζέσεως, ακολούθως καλύφθηκε με

αλουμινόχαρτο και τοποθετήθηκε σε υδατόλουτρο με ένα βαρίδιο επάνω του ώστε να μην αναποδογυρίσει. Το μείγμα παραμένει στο υδατόλουτρο για 30 min υπό συνεχή ανάδευση στους 95°C.

Επιπλέον με την ίδια διαδικασία δημιουργήθηκαν οι υδρογέλες των αντίστοιχων αμύλων με συγκέντρωση 5%.

Με την χρήση θερμοστοιχείου (Thermometer TTX 290 SKW) παρακολουθήθηκε η θερμοκρασία του μείγματος και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν όταν το μείγμα έφτασε σε θερμοκρασία 40°C.

Για κάθε μέτρηση λήφθηκαν 3 επαναλήψεις.

2.10.1 1^η Μέθοδος: Bostwick consistometer

Για την μέτρηση της συνοχής με το κονσιστόμετρο Bostwick ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

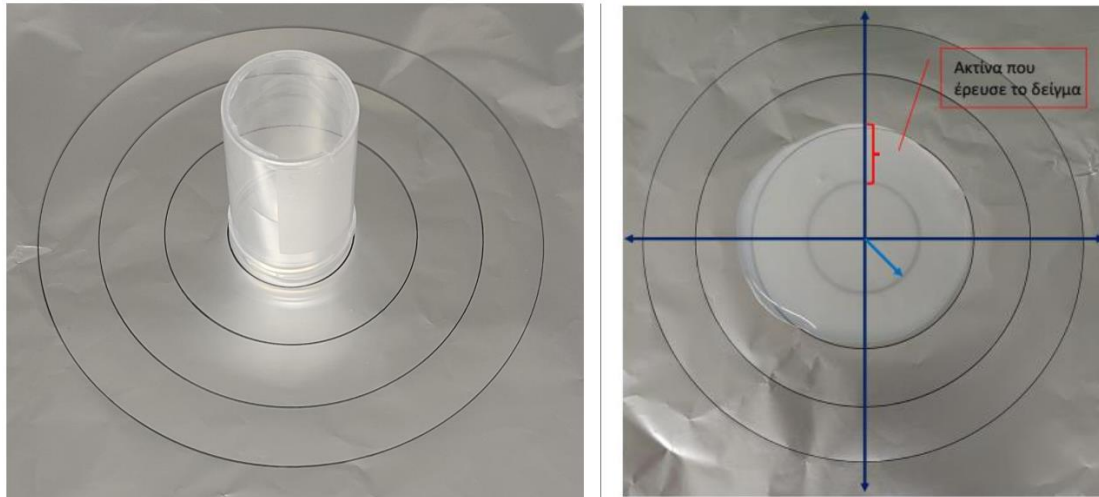
- μετά την απομάκρυνσή της κρέμας/υδρογέλης από το υδατόλουτρο, αφέθηκε σε θερμοκρασία δωματίου μέχρι να φτάσει τους 45°C.
- τοποθετήθηκε στο πρώτο διαμέρισμα της συσκευής Bostwick.
- μόλις η θερμοκρασία της κρέμας/υδρογέλης μετρούμενη με θερμοστοιχείο έφτασε τους 40°C ελευθερώθηκε η πύλη ενώ ταυτόχρονα ξεκίνησε η μέτρηση χρόνου.
- η λήψη της τιμής του κονσιστόμετρο έγινε σε χρόνο 30s. Η τιμή αυτή αφορούσε την μεγαλύτερη τιμή που ανέπτυξε η ροή και έγινε στρογγυλοποίηση ως προς την πλησιέστερη ένδειξη.



Εικόνα 24: Τα στάδια μέτρησης με τη συσκευή Bostwick

2.10.2 2^η Μέθοδος: Βασισμένη στο USDA consistometer line spread test.

Η συνοχή των κρεμών και των υδρογελών των αντίστοιχων αμύλων αξιολογήθηκε και με μία δεύτερη μέθοδο βασισμένη στις αρχές του USDA consistometer. Για την μέτρηση αυτή, σε αλουμινοχαρτο, τοποθετημένο σε λεία και επίπεδη επιφάνεια, σχεδιάστηκαν με διαβήτη 4 ομόκεντροι κύκλοι ακτίνας 2, 4, 6 και 8 cm. Στον κεντρικό κύκλο ακτίνας 2 cm τοποθετήθηκε κύλινδρος διαμέτρου 3,7 cm μέσα στον οποίο βρισκόταν το δείγμα σε ύψος 2 cm (όγκος δείγματος 20ml). Οι ομόκεντροι αυτοί κύκλοι χρησιμοποιήθηκαν ως ένδειξη για την ομοιόμορφη κατανομή του δείγματος μετά την αφαίρεση του κυλίνδρου. Μόλις το δείγμα έφτασε σε θερμοκρασία 40°C απομακρύνθηκε ο κύλινδρος και ελευθερώθηκε το δείγμα. Μετά από 1 λεπτό μετρήθηκε η διάμετρος που έρευσε το δείγμα ως προς 2 κάθετους άξονες με τη χρήση παχύμετρου. Για κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις. Από κάθε επανάληψη λήφθηκαν 2 μετρήσεις, από τις οποίες αφαιρέθηκε η (εξωτερική) διάμετρος του κυλίνδρου 3,7 cm, οι 2 μετρήσεις προστέθηκαν και διαιρέθηκαν με το 4 ώστε να ληφθεί ο μέσος όρος της «ακτίνας» για κάθε επανάληψη (Grawemeyer & Pfund, 1943).



Εικόνα 25: Ο τρόπος που λαμβάνεται η μέτρηση στο line spread test .

2.11 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων

Για την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, οι δοκιμασίες σημαντικότητας πραγματοποιήθηκαν με το στατιστικό κριτήριο του F και για τις συγκρίσεις των μέσων χρησιμοποιήθηκε η δοκιμή Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων της διαφάνειας των υδρογελών έγινε με τη δοκιμή Friedman και η σύγκριση των διαμέσων με τη διαδικασία Bonferroni. Η συσχέτιση των αποτελεσμάτων της οργανοληπτικής αξιολόγησης και της καμπύλης διπλής συμπίεσης έγινε με την ανάλυση συσχέτισης Pearsons. Η στατιστική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε μέσω του προγράμματος StatGraphics Centurion ver. XVI (Statpoint Technologies Inc., The Plains, Virginia, USA) ενώ τα διαγράμματα μέσω του Microsoft Excel 365.

3 Αποτελέσματα και Συζήτηση

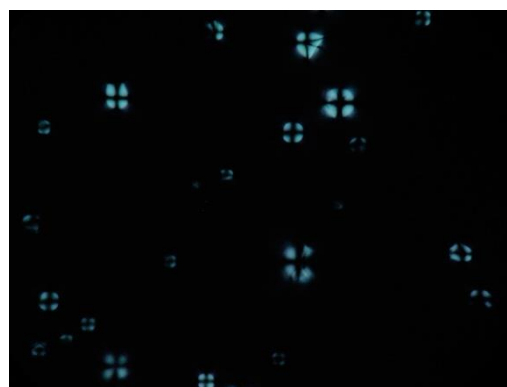
3.1 Αμυλόκοκκοι

3.1.1 Σχήμα

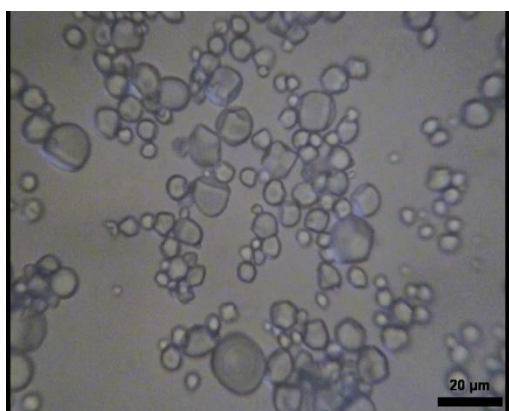
Στις Εικόνες 26-37 φαίνονται οι αμυλόκοκκοι όπως παρατηρήθηκαν στο οπτικό μικροσκόπιο. Τα σχήματά τους διέφεραν, όπως ήταν αναμενόμενο, ανάλογα με την βοτανική τους προέλευση. Το σχήμα των κόκκων της Πατάτας είναι οβάλ-σφαιρικό, του Αραβοσίτου πολύγωνο και του Κάστανου είναι νεφροειδές ή ωσειδές. Τέλος, το Kuzu, η Κασσάβας και το Αραρούτι έχουν σφαιρικούς και ελαφρά γωνιώδης κόκκους αμύλου. Στις εικόνες που λήφθηκαν με πολωμένο φως παρατηρείται ο μαλτεζικός σταυρός των αμυλοκόκκων που σχηματίζεται από τη ευθυγράμμιση της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης με ακτινική σειρά επικεντρωμένη στο χείλος και κάθετα προς την επιφάνεια του κόκκου.



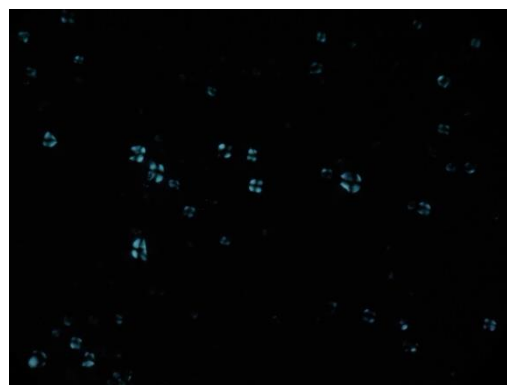
Εικόνα 26: Αμυλόκοκκοι από Αραρούτι σε οπτικό μικροσκόπιο



Εικόνα 28: Αμυλόκοκκοι Αραρούτι υπό πολωμένο φως σε οπτικό μικροσκόπιο



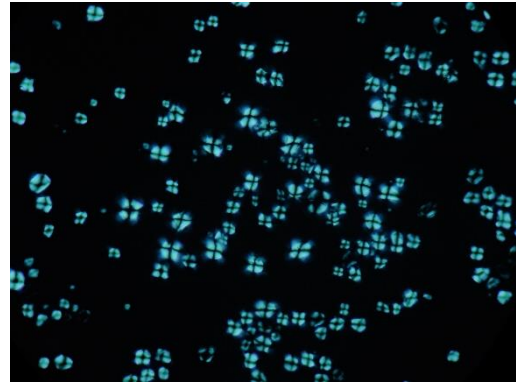
Εικόνα 27: Αμυλόκοκκοι από Kuzu σε οπτικό μικροσκόπιο



Εικόνα 29: Αμυλόκοκκοι Kuzu υπό πολωμένο φως σε οπτικό μικροσκόπιο



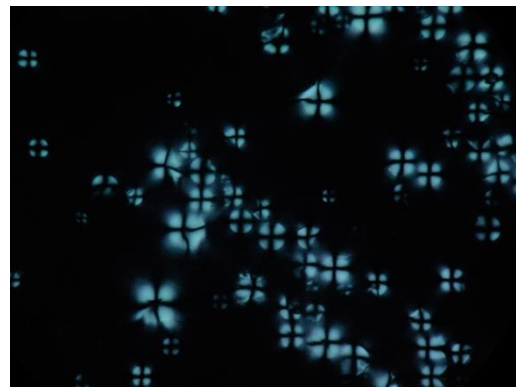
Εικόνα 30: Αμυλόκοκκοι από Αραβόσιτο σε οπτικό μικροσκόπιο



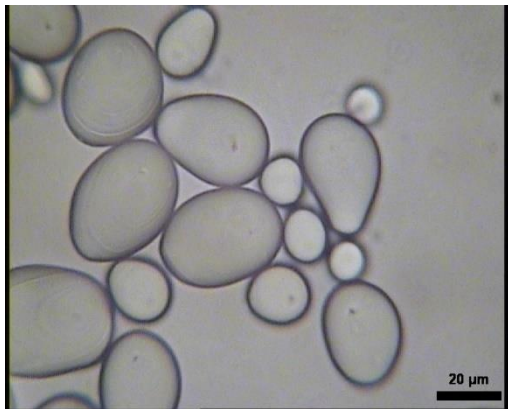
Εικόνα 33: Αμυλόκοκκοι Αραβοσίτου υπό πολωμένο φως σε οπτικό μικροσκόπιο



Εικόνα 31: Αμυλόκοκκοι από Κασσάβα σε οπτικό μικροσκόπιο



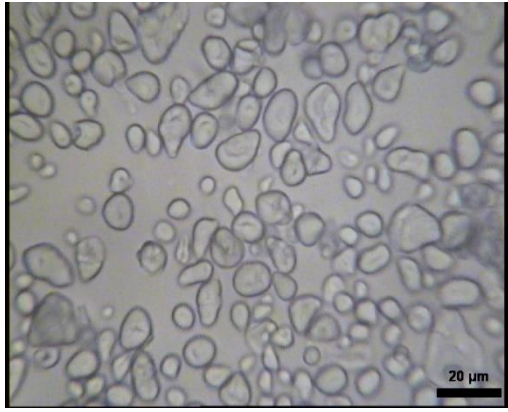
Εικόνα 34: Αμυλόκοκκοι Κασσάβας υπό πολωμένο φως σε οπτικό μικροσκόπιο



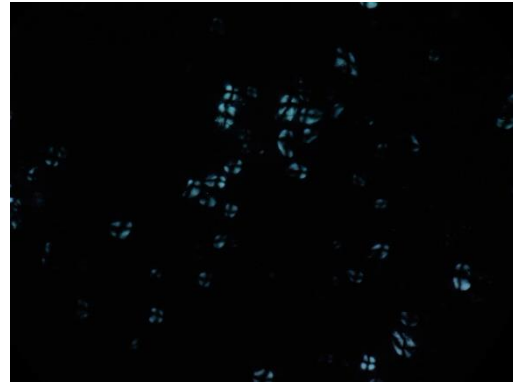
Εικόνα 32: Αμυλόκοκκοι από Πατάτα σε οπτικό μικροσκόπιο



Εικόνα 35: Αμυλόκοκκοι Πατάτας υπό πολωμένο φως σε οπτικό μικροσκόπιο



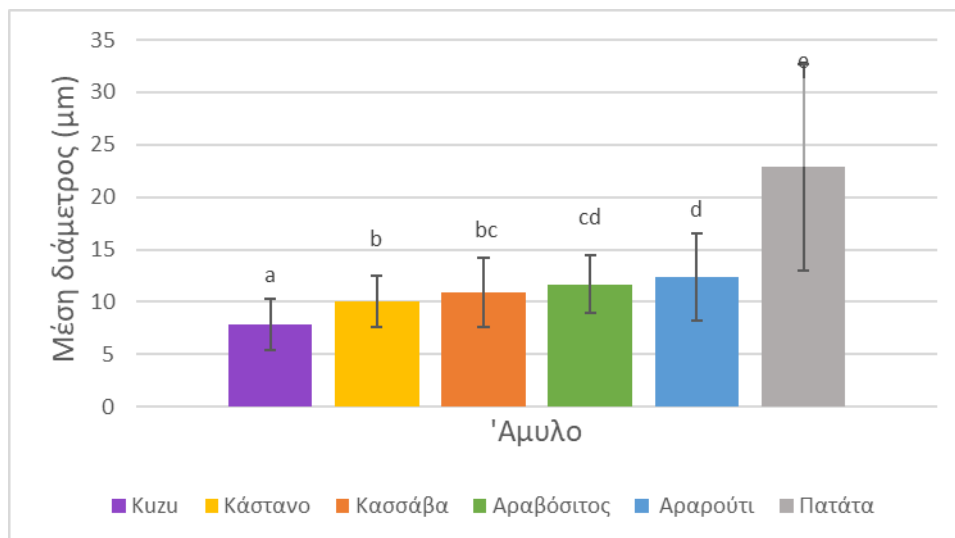
Εικόνα 36: Αμυλόκοκκοι από Κάστανο σε οπτικό μικροσκόπιο



Εικόνα 37: Αμυλόκοκκοι Κάστανου υπό πολωμένο φως σε οπτικό μικροσκόπιο

3.1.2 Μέση Διάμετρος αμυλοκόκκων

Από την ανάλυση διασποράς (Πίνακας 12, παράρτημα) παρατηρήθηκε πως η μέση διάμετρος των κόκκων των αμύλων που μελετήθηκαν εμφανίζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ως προς την πηγή του αμύλου σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.



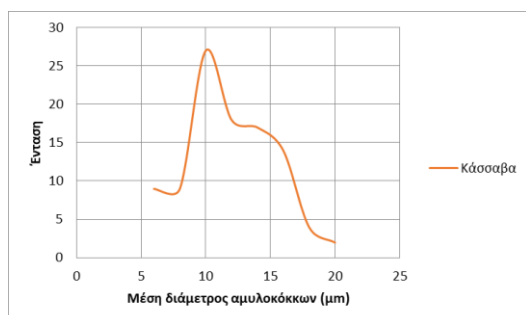
Διάγραμμα 3: Μέση διάμετρος των αμυλοκόκκων. Τα διαφορετικά γράμματα (a,b,c,d και e) δηλώνουν την ύπαρξη στατιστικώς σημαντικών διαφορών. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις είναι η τυπική απόκλιση.

Από τις Πολλαπλές συγκρίσεις μέσων (Πίνακας 13, παράρτημα) προκύπτει ότι οι μέσες διαμέτροι των αμυλοκόκκων που δεν εμφανίζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, σε επίπεδο σημαντικότητας 5%, είναι τα ζεύγη Κάστανο-Κασσάβα, Κασσάβα-Αραβόσιτος και Αραβόσιτος-Αραρούτι. Οι κόκκοι αμύλου της

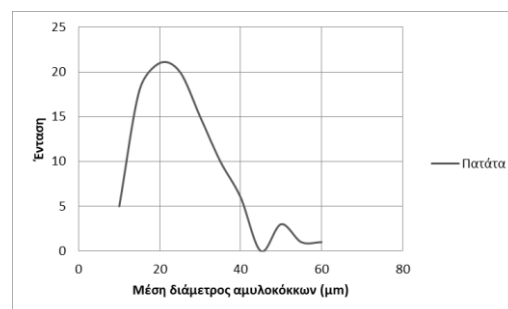
πατάτας παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη μέση διάμετρο ενώ του Kuzu τη μικρότερη. Οι αμυλόκοκκοι της πατάτας παρουσίασαν τη μεγαλύτερη μέση διάμετρο και το μεγαλύτερο εύρος τιμών (10-60 μm), από έρευνες έχει παρατηρηθεί να φτάνουν σε διάμετρο μέχρι και τα 110 μm . Επιπλέον χωρίζονται σε μικρού μεγέθους κόκκους διαμέτρου (1-20 μm) μεγάλου (20-110 μm) (Mandala, 2012).

3.1.3 Καμπύλη κατανομής της μέσης διαμέτρου των αμυλοκόκκων

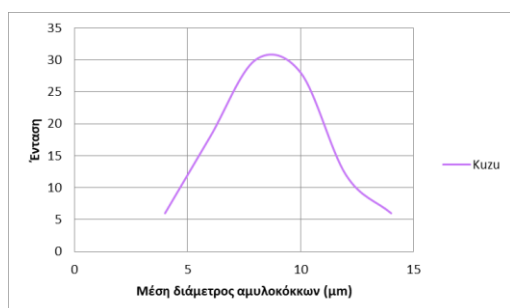
Για κάθε είδος αμύλου δημιουργήθηκε μία καμπύλη κατανομής της μέσης διαμέτρου των αμυλοκόκκων (Διαγράμματα 4-9). Από αυτές παρατηρείται ότι η κόκκοι του Αραρούτι παρουσιάζουν δύο μέγιστες μέσες διαμέτρους περίπου 12 και 18 μm δηλαδή ακολουθείται διπλή κατανομή (bimodal distribution).



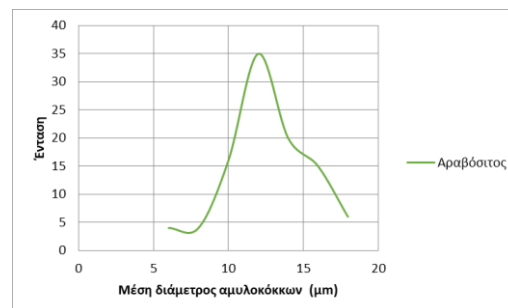
Διάγραμμα 4: Κατανομή της μέσης διαμέτρου των αμυλοκόκκων της Κασσάβας



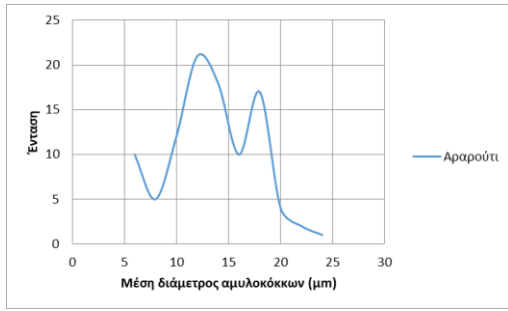
Διάγραμμα 6: Κατανομή της μέσης διαμέτρου των αμυλοκόκκων της Πατάτας



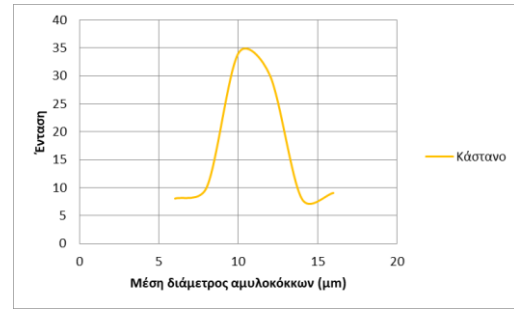
Διάγραμμα 5: Κατανομή της μέσης διαμέτρου των αμυλοκόκκων του Kuzu



Διάγραμμα 7: Κατανομή της μέσης διαμέτρου των αμυλοκόκκων του Αραβόσιτου



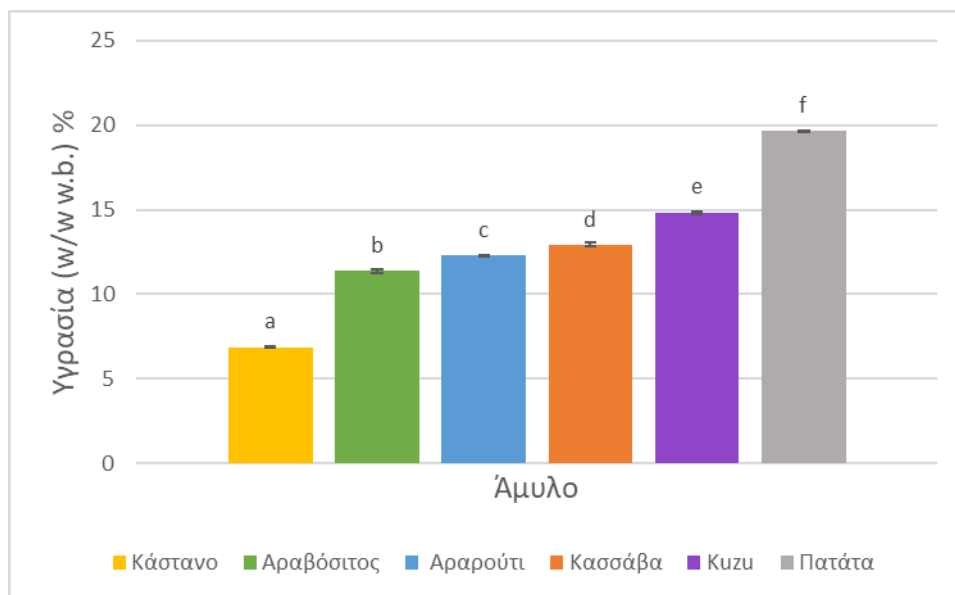
Διάγραμμα 8: Κατανομή της μέσης διαμέτρου των αμυλοκόκκων του Αραρούτι



Διάγραμμα 9: Κατανομή της μέσης διαμέτρου των αμυλοκόκκων του Κάστανου

3.2 Υγρασία

Από την ανάλυση διασποράς (Πίνακας 14, παράρτημα) παρατηρήθηκε πως τα 6 εξεταζόμενα άμυλα εμφανίζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ως προς την υγρασία σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.



Διάγραμμα 10: Η % υγρασία (w/w w.b.) των αμύλων. Τα διαφορετικά γράμματα (a,b,c,d,e και f) δηλώνουν την ύπαρξη στατιστικώς σημαντικών διαφορών. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις είναι η τυπική απόκλιση.

Την χαμηλότερη τιμή υγρασίας εμφανίζει το άμυλο από κάστανο ενώ την υψηλότερη το άμυλο πατάτας. Όλες οι τιμές είναι σύμφωνες με τη βιβλιογραφία εκτός από το καστανό που είναι χαμηλότερη.

Πίνακας 7: Τιμές υγρασίας από την βιβλιογραφία

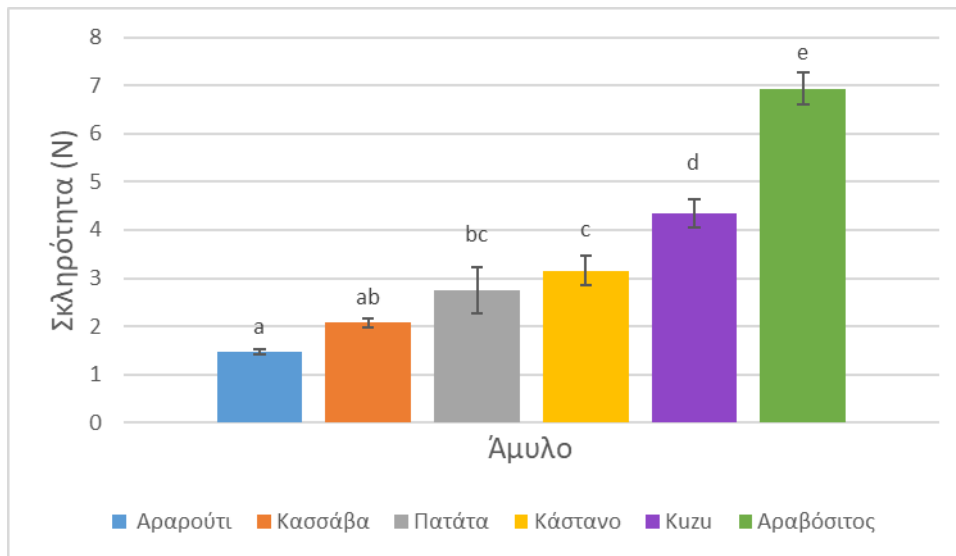
Άμυλο	Υγρασία %	Βιβλιογραφία
Αραβόσιτος	11	(Eckhoff & Watson, 2009)
Kuzu	14,2	(Van Hung & Morita, 2007)
Κάστανο	12,4	(Cruz et al., 2013)
Πατάτα	18	(Grommers & van der Krogt, 2009b)
Αραρούτι	10.1	(Moorthy, 2002)
Κασσάβα	10-13	(Moorthy, 2002)

3.3 Texture Profile Analysis

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων κατά απόλυτη τιμή είναι δυνατή μόνο μεταξύ τιμών που λήφθηκαν με τη χρήση των ίδιων πρωτοκόλλων (ποσοστό παραμόρφωσης, ταχύτητας καθόδου και ανόδου του εμβόλου, χρόνος κράτησης). Επομένως η μόνη σύγκριση, μεταξύ των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης και αυτά άλλων ερευνητών, που ίσως μπορεί να γίνει να σχετίζεται με την σειρά κατάταξης ως προς την κάθε ιδιότητα.

3.3.1 Σκληρότητα

Από την ανάλυση διασποράς (Πίνακας 16, παράρτημα) παρατηρήθηκε ότι οι 6 υδρογέλες αμύλου διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ ως προς τη σκληρότητα, που προκύπτει από την καμπύλη διπλής συμπίεσης, σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.



Διάγραμμα 11: Σκληρότητα των υδρογελών των αμύλων. Τα διαφορετικά γράμματα (a,b,c,d και e) δηλώνουν την ύπαρξη στατιστικής σημαντικών διαφορών. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις είναι η τυπική απόκλιση.

Στο διάγραμμα 11 απεικονίζεται ο μέσος όρος της σκληρότητας των υδρογελών των έξι αμύλων που μελετήθηκαν. Παρατηρούμε ότι η υδρογέλη αμύλου από Αραβόσιτο παρουσιάζει την υψηλότερη σκληρότητα και διαφέρει στατιστικώς σημαντικά από όλες τις υπόλοιπες, σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Ενώ την χαμηλότερη εμφανίζουν οι υδρογέλες των αμύλων της Κασσάβας και του Αραρούτι. Οι Mishra & Rai (2006) μελέτησαν την υφή υδρογελών αμύλων από Αραβόσιτο, Πατάτα και Κασσάβα συγκέντρωσης 20% και παρατήρησαν ότι η υδρογέλη από Κασσάβα είναι μαλακότερη από αυτές του Αραβόσιτου και της Πατάτας. Σε αντίθεση με την παρούσα μελέτη, δεν παρατήρησαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των υδρογελών των αμύλων του Αραβόσιτου και της Πατάτας. Ο Li και οι συνεργάτες του (2014) εξέτασαν την υφή ποικίλων υδρογελών αμύλων συγκέντρωσης 9,21% και παρατήρησαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των υδρογελών των αμύλων Αραβόσιτου, Πατάτας και Κασσάβας, με το άμυλο Πατάτας να δίνει τη σκληρότερη υδρογέλη. Η σκληρότητα των υδρογελών έχει συσχετιστεί θετικά με την περιεκτικότητα των αμύλων σε αμυλόζη και με το μήκος των αλυσίδων της αμυλοπηκτίνης (Mua & Jackson, 1997). Αλλά όπως φαίνεται και στον πίνακα η περιεκτικότητα τους έχει μεγάλο και αλληλοκαλυπτόμενο εύρος,

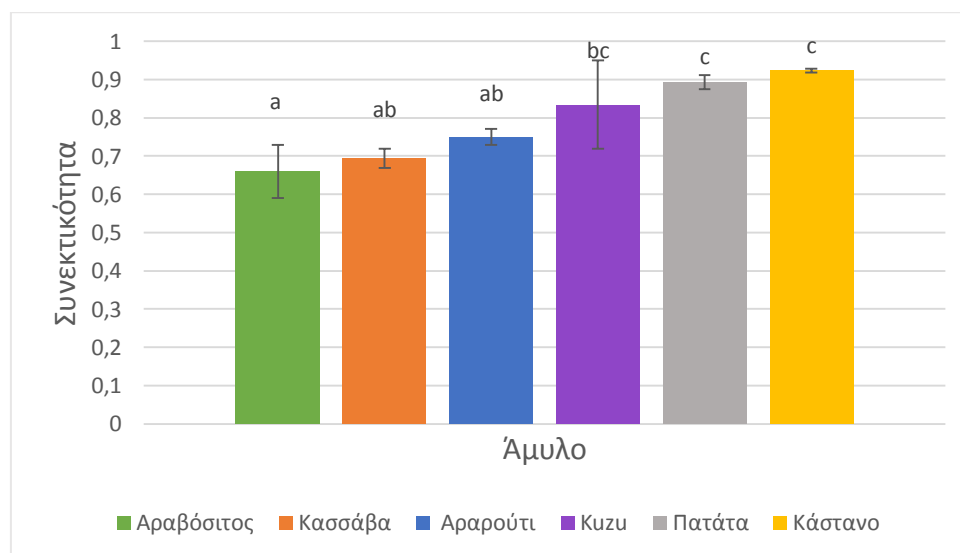
επομένως χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων καθώς και μέτρηση της αμυλόζης στα εξεταζόμενα δείγματα.

Πίνακας 8: Περιεκτικότητα σε αμυλόζη των υπό μελέτη αμύλων

Πηγή αμύλου	Περιεκτικότητα σε αμυλόζη (%)	Βιβλιογραφία
Αραβόσιτος	28	(Eckhoff & Watson, 2009)
Κuzu	19 – 23	(Jóźwiak et al., 2016)
Κάστανο	20 – 30	(Zhu, 2017)
Πατάτα	11,4 - 31,2	(Kringel et al., 2020)
Αραρούτι	16 – 27	(Nogueira et al., 2018)
Κασσάβα	20 – 27	(Kringel et al., 2020)

3.3.2 Συνεκτικότητα

Από την ανάλυση διασποράς (Πίνακας 18, παράρτημα) παρατηρήθηκε ότι υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των 6 υδρογελών του αμύλου ως προς τη συνεκτικότητα, που προκύπτει από την καμπύλη διπλής συμπίεσης, σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.



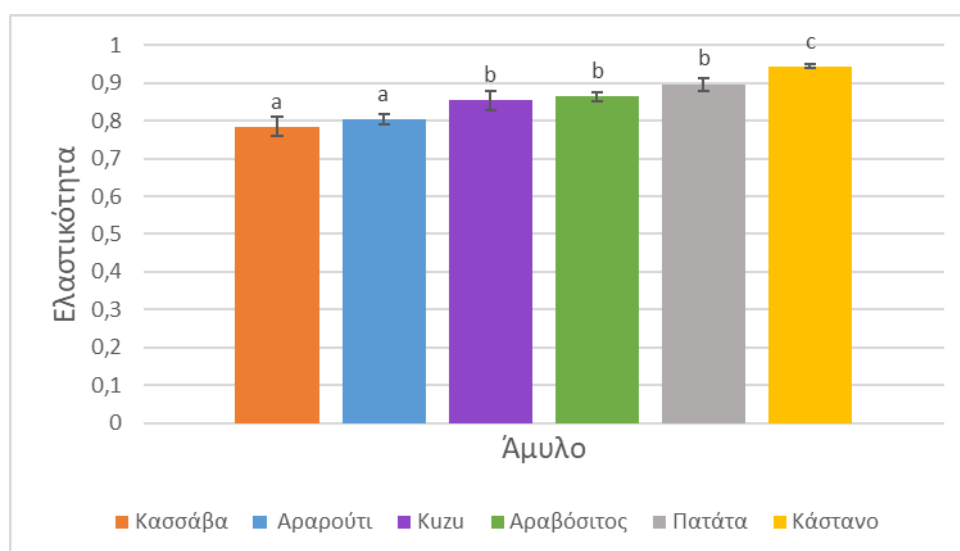
Διάγραμμα 12: Συνεκτικότητα των υδρογελών των αμύλων. Τα διαφορετικά γράμματα (a,b και c) δηλώνουν την ύπαρξη στατιστικώς σημαντικών διαφορών. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις είναι η τυπική απόκλιση.

Στο διάγραμμα απεικονίζεται ο μέσος όρος της συνεκτικότητας των υδρογελών των έξι αμύλων που μελετήθηκαν. Οι Mishra & Rai (2006) δεν παρατήρησαν διάφορες

στη συνεκτικότητα των υδρογελών αμύλων από Αραβόσιτο, Πατάτα και Κασσάβα συγκέντρωσης 20%. Σε αντίθεση ο Li και οι συνεργάτες του (2014) βρήκαν διαφορές ανάμεσα στη συνεκτικότητα της υδρογέλης της Κασσάβας και αυτές των αμύλων της Πατάτας και του Αραβοσίτου, με την Κασσάβα να είναι περισσότερο συνεκτική αλλά δεν προσδιόρισαν που οφείλεται αυτή η διαφορά.

3.3.3 Ελαστικότητα

Από την ανάλυση διασποράς (Πίνακας 20, παράρτημα) της ελαστικότητας, που προκύπτει από την καμπύλη διπλής συμπίεσης, παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις έξι υδρογέλες αμύλου σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.



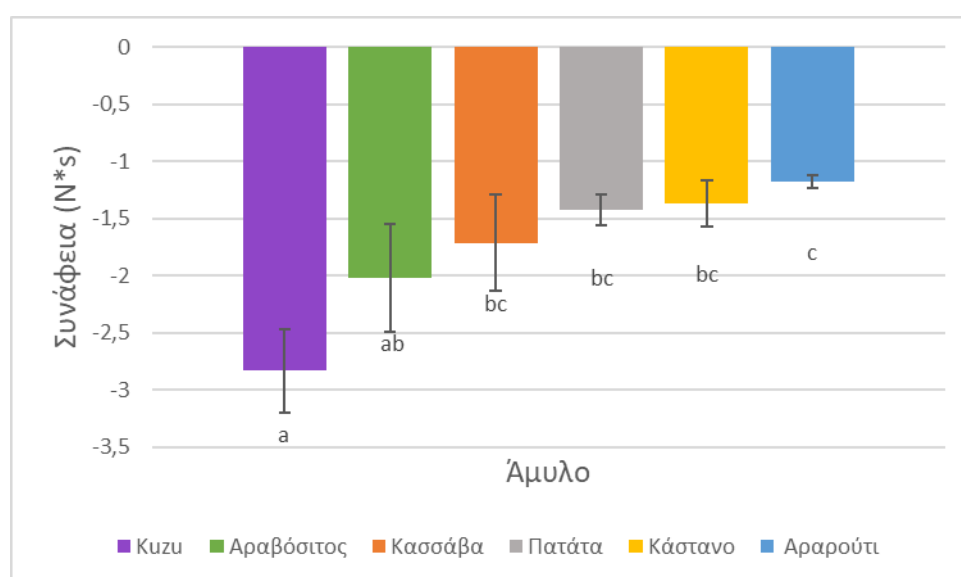
Διάγραμμα 13: Ελαστικότητα των υδρογελών των αμύλων. Τα διαφορετικά γράμματα (a,b και c) δηλώνουν την ύπαρξη στατιστικώς σημαντικών διαφορών. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις είναι η τυπική απόκλιση.

Στο διάγραμμα απεικονίζεται ο μέσος όρος της ελαστικότητας των υδρογελών των έξι αμύλων που μελετήθηκαν. Από την ανάλυση των πολλαπλών συγκρίσεων μέσω των οποίων προκύπτει ότι τα ζεύγη των υδρογελών των αμύλων της ταπιόκας-Αραρούτι, αραβόσιτος- πατάτα -kuzu δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Ενώ την υψηλότερη τιμή ελαστικότητας παρουσιάζει η υδρογέλη από κάστανο. Παρόλο που εμφανίζονται παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, όλα τα άμυλα έχουν υψηλές τιμές ελαστικότητας. Αυτό

μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι κάποιες υδρογέλες, πιθανόν της Κασσάβας και του Αραρούτι, κολλούν στο έμβολο και μέρος έτσι ένα μέρος της επαναφοράς τους να οφείλεται στο ανερχόμενο έμβολο (Peleg, 2019).

3.3.4 Συνάφεια (Adhesiveness)

Από την ανάλυση διασποράς (Πίνακας 22, παράρτημα) της συνάφειας, που προκύπτει από την καμπύλη διπλής συμπίεσης, παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις έξι υδρογέλες αμύλου σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.



Διάγραμμα 14: Συνάφεια των υδρογελών των αμύλων. Τα διαφορετικά γράμματα (a,b και c) δηλώνουν την ύπαρξη στατιστικώς σημαντικών διαφορών. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις είναι η τυπική απόκλιση.

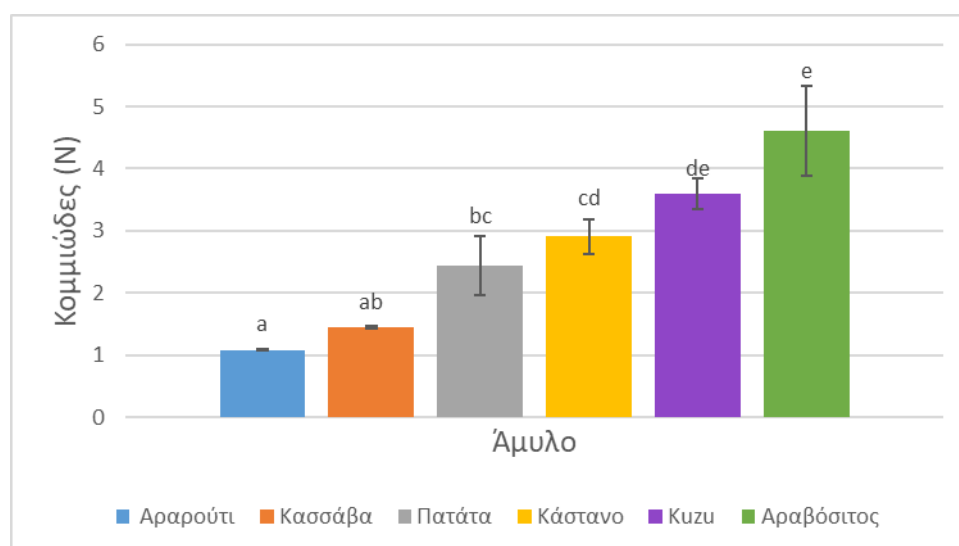
Στο διάγραμμα απεικονίζεται ο μέσος όρος της συνάφειας των υδρογελών των έξι αμύλων που μελετήθηκαν. Από το διάγραμμα παρατηρούμε πως το μεγαλύτερο έργο για την αποκόλληση του εμβόλου από τις υδρογέλες πραγματοποιήθηκε από τα άμυλα του Kuzu και του Αραβόσιτου. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι ορισμένα σκληρά προϊόντα δημιουργείται επιπλέον πίεση ανάμεσα στο προϊόν και το έμβολο και έτσι αυτά να προσκολλώνται περισσότερο στο έμβολο και η μέτρηση που λαμβάνεται να αντιστοιχεί σε μία φαινομενική συνάφεια (Peleg, 2019).

Η συνάφεια ορίζεται ως το έργο που απαιτείται για να αποκολληθεί η υδρογέλη από το έμβολο. Από το διάγραμμα δύναμης- χρόνου υπολογίζεται ως εμβαδόν και

οι μονάδες του είναι N*s. Παρόλο που οι τιμές που υπολογίστηκαν ήταν αρκετά μικρές η τάξη μεγέθους τους ήταν ίδια με αυτή άλλων ερευνητών. Ενδεικτικά αναφέρονται η συνάφεια ζύμης noodles από 3 διαφορετικές ποικιλίες σίτου από -1555 έως -4198 g*s (Liu et al., 2015), του πουρέ πατάτας με -597,47 g*s, της παπάγιας -266,59 g*s, tofu -202.81 g*s, sticky rice cake -198.46 g*s και του καστανού ριζιού -197,39 g*s (Wee et al., 2018). (N*s≈101.97 g*s)

3.3.5 Κομμιώδες (Gumminess)

Από την ανάλυση διασποράς (Πίνακας 24, παράρτημα) του κομμιώδες, που προκύπτει από την καμπύλη διπλής συμπίεσης, παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις έξι υδρογέλες αμύλου σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.



Διάγραμμα 15: Κομμιώδες των υδρογελών των αμύλων. Τα διαφορετικά γράμματα (a,b,c,d και e) δηλώνουν την ύπαρξη στατιστικώς σημαντικών διαφορών. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις είναι η τυπική απόκλιση.

Το Κομμιώδες είναι το γινόμενο της Σκληρότητας και της Συνεκτικότητας.

Οργανοληπτικά είναι η ενέργεια που απαιτείται κατά τη μάσηση μέχρι η τροφή να είναι έτοιμη για κατάποση.

Στον παρακάτω Πίνακα 9 συνοψίζονται οι ιδιότητες τις υφής και τα άμυλα που εμφάνισαν τις υψηλότερες και τις χαμηλότερες τιμές αντίστοιχα.

Πίνακας 9: Σύνοψη αμύλων που εμφάνισαν τις χαμηλότερες και υψηλότερες τιμές ανά ιδιότητα υφής.

	Σκληρότητα	Συνεκτικότητα	Συνάφεια	Ελαστικότητα	Κομμώδες
Κυζυ			↑		↑
Αραβόσιτος	↑	↓	↑		↑
Κασσάβα	↓			↓	↓
Πατάτα		↑			
Κάστανο		↑		↑	
Αραρούτι	↓		↓	↓	↓

3.4 Οργανοληπτική αξιολόγηση

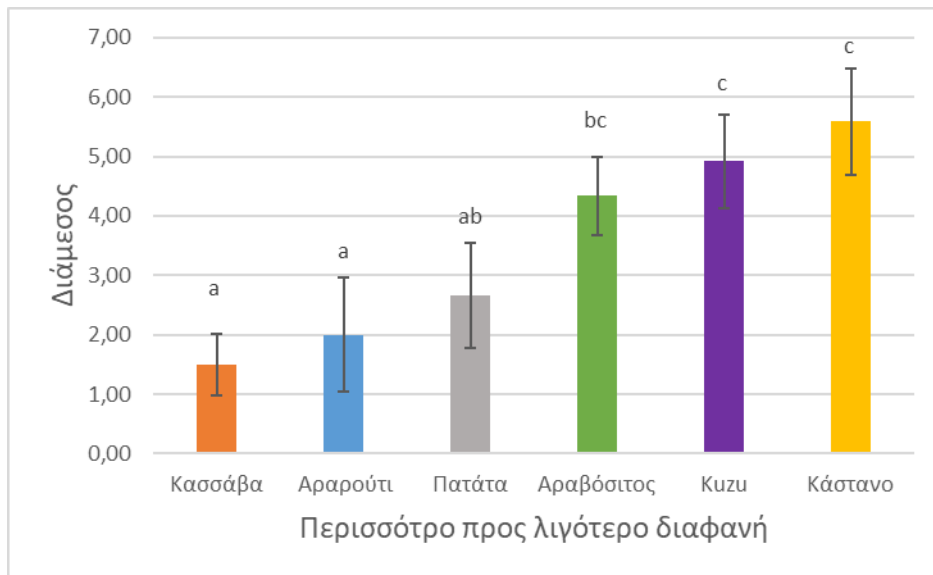
3.4.1 Διαφάνεια

Στο παρακάτω πίνακα 10 παρουσιάζεται η συχνότητα με την οποία βαθμολογήθηκαν, από το σύνολο των δοκιμαστών, οι υδρογέλες αμύλου σε σειρά από το περισσότερο διαφανές προς το λιγότερο διαφανές.

Πίνακας 10: Η βαθμολογία % που έλαβε κάθε άμυλο ανά θέση με σειρά από το περισσότερο διαφανή προς το λιγότερο. (1-6)

Είδος αμύλου	Κλίμακα βαθμολογίας					
	1	2	3	4	5	6
Κασσάβα	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Αραρούτι	33,33	41,67	16,67	8,33	0,00	0,00
Πατάτα	16,67	8,33	66,67	8,33	0,00	0,00
Κυζυ	0,00	0,00	8,33	50,00	41,67	0,00
Αραβόσιτος	0,00	0,00	0,00	33,33	41,67	25,00
Κάστανο	0,00	0,00	8,33	0,00	16,67	75,00

Από την δοκιμή Friedman προκύπτει ότι η διαφάνεια των υδρογελών των αμύλων διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Από τη διαδικασία Bonferroni για την σύγκριση των διάμεσων προκύπτει ότι 8 από τα ζεύγη που συγκρίθηκαν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σε διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Από την στατιστική ανάλυση προκύπτει ότι το άμυλο κάστανου δεν ακολουθεί κανονική κατανομή (stnd skewness< -2, stnd kurtosis>2) και για αυτό επιλέχθηκε η δοκιμή Friedman.



Διάγραμμα 16. Ταξινόμηση των υδρογελών του αμύλου με βάση τη διαφάνεια. Τα διαφορετικά γράμματα (a,b και c) δηλώνουν την ύπαρξη στατιστικώς σημαντικών διαφορών. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις είναι η τυπική απόκλιση.

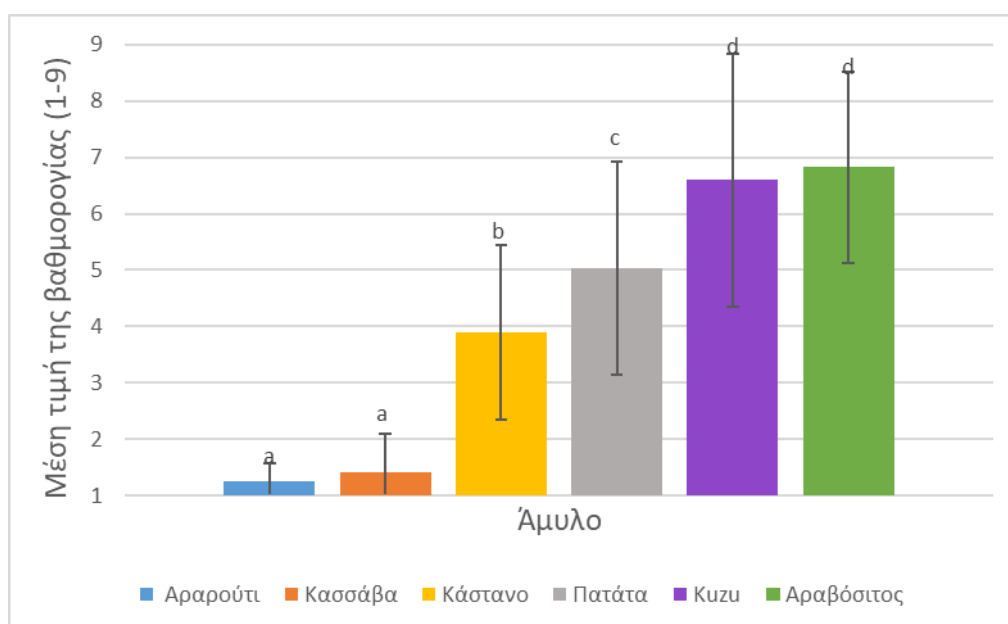
Από την οργανοληπτική αξιολόγηση προκύπτει ότι η υδρογέλη της Κασσάβας του Αραρούτι είναι οι περισσότερο διαφανείς. Τη λιγότερο διαφανή θέση καταλαμβάνει το άμυλο από Κάστανο και το Kuzu. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 38 η τοποθέτηση του αμύλου από κάστανο στη θέση με τη λιγότερη διαφάνεια μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι το άμυλο από κάστανο είχε έναν ελαφρύ καφέ χρωματισμό. Η σειρά κατάταξης είναι παρόμοια με αυτήν που αναφέρει ο Jacobson et al. (1997), που αξιολόγησε την διαφάνεια διαφόρων υδρογελών αμύλων συγκέντρωσης 2%, όπου τα άμυλα της Κασσάβας και της Πατάτας είχαν υψηλή διαφάνεια και ενώ του Αραβοσίτου υψηλή θολότητα. Η θολότητα αυτή οφείλεται στην παρουσία σχετικά κοντών αλυσίδων αμυλόζης και αμυλοπηκτικής, διογκωμένων αμυλοκόκκων και συμπλεγμάτων της αμυλόζης με λιπίδια στα διαλύματα αμύλου. Επιπλέον η διαύγεια των διαλυμάτων αμύλου μειώνεται με την αποθήκευση λόγω των μορίων αμυλόζης και/ή αμυλοπηκτικής. Η διαφάνεια ή μη της πάστας αμύλου δεν αποτελεί μειονέκτημα σε σάλτσες και πουτίγκες. Ωστόσο, τα ζελέ και οι γεμίσεις φρούτων απαιτούν εναιωρήματα αμύλου με μεγάλη διαύγεια (Alcázar-Alay & Meireles, 2015).



Εικόνα 38: Τα 6 δείγματα προς αξιολόγηση

3.4.2 Σκληρότητα

Από την ανάλυση διασποράς (Πίνακας 26, παράρτημα) της οργανοληπτικής σκληρότητας, παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις έξι υδρογέλες αμύλου σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

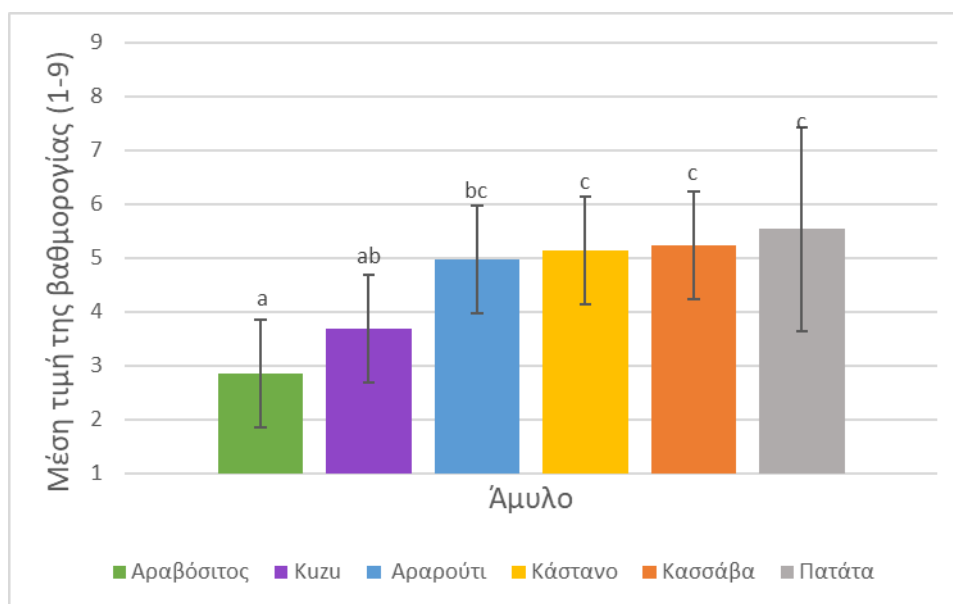


Διάγραμμα 17: Οργανοληπτική σκληρότητα των υδρογελών των αμύλων. Τα διαφορετικά γράμματα (a,b,c και d) δηλώνουν την ύπαρξη στατιστικώς σημαντικών διαφορών. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις είναι η τυπική απόκλιση.

Στο διάγραμμα απεικονίζεται ο μέσος όρος της σκληρότητας των υδρογελών των έξι αμύλων όπως αυτοί προέκυψαν από την οργανοληπτική αξιολόγηση. Από την ανάλυση των πολλαπλών συγκρίσεων μέσω προκύπτει ότι μόνο τα ζεύγη των υδρογελών των αμύλων της ταπιόκας-Αραρούτι και αραβόσιτος -kuzu δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Επιπλέον τα ζεύγη αυτά έδωσαν την χαμηλότερη και υψηλότερη σκληρότητα αντίστοιχα. η υδρογέλη από άμυλο πατάτας και η υδρογέλη από άμυλο κάστανου διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά, σε επίπεδο σημαντικότητας 5%, τόσο μεταξύ τους όσο και με τις υπόλοιπες υδρογέλες.

3.4.3 Συνεκτικότητα

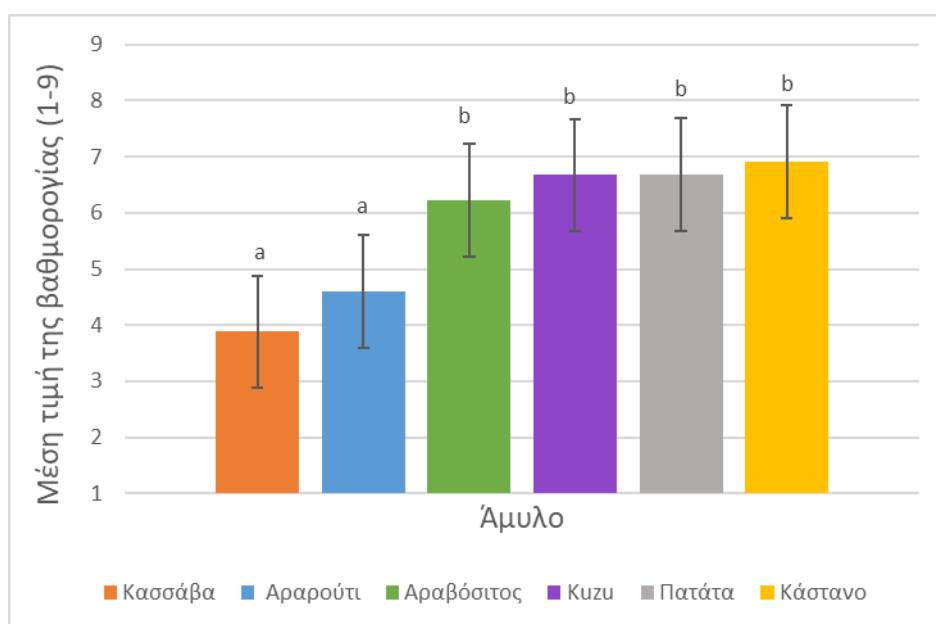
Από την ανάλυση διασποράς (Πίνακας 28, παράρτημα) της συνεκτικότητας, που προκύπτει από την, οργανοληπτική αξιολόγηση παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις έξι υδρογέλες αμύλου σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.



Διάγραμμα 18: Οργανοληπτική συνεκτικότητα των υδρογελών των αμύλων. Τα διαφορετικά γράμματα (a,b και c) δηλώνουν την ύπαρξη στατιστικώς σημαντικών διαφορών. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις είναι η τυπική απόκλιση.

3.4.4 Ελαστικότητα

Από την ανάλυση διασποράς (Πίνακας 30, παράρτημα) της ελαστικότητας, που προκύπτει από την οργανοληπτική αξιολόγηση, παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις έξι υδρογέλες αμύλου σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

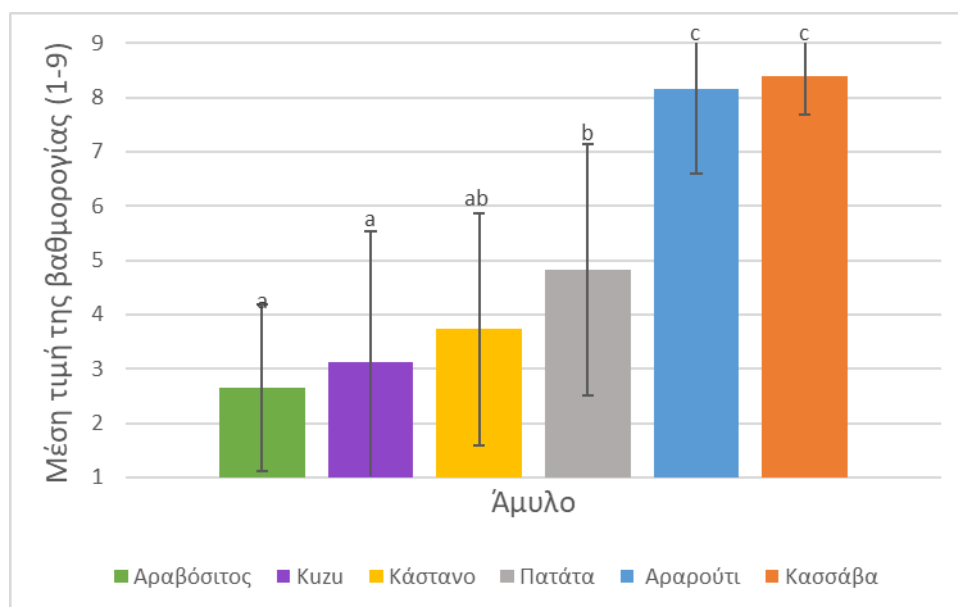


Διάγραμμα 19: Οργανοληπτική ελαστικότητα των υδρογελών των αμύλων. Τα διαφορετικά γράμματα (a και b) δηλώνουν την ύπαρξη στατιστικώς σημαντικών διαφορών. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις είναι η τυπική απόκλιση.

Στο διάγραμμα απεικονίζεται ο μέσος όρος της ελαστικότητας των υδρογελών των έξι αμύλων που μελετήθηκαν. Από την ανάλυση των πολλαπλών συγκρίσεων μέσω προκύπτει ότι στατιστικώς σημαντικές διαφορές, σε επίπεδο σημαντικότητας 5%, εμφανίζεται μεταξύ των ομάδων των υδρογελών Αραρούτι-ταπιόκα και αραβόσιτος-kuzu-κάστανο-πατάτα. Ενώ δεν εμφανίζονται στατιστικώς σημαντικές διαφορές μέσα στις ομάδες αυτές, σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Όπως η ελαστικότητα του TPA μπορεί να λάβει υψηλότερες τιμές λόγω της συνάφειας του δείγματος στο έμβολο, με αντίστοιχο τρόπο μπορεί να εμφανισθούν υψηλότερες βαθμολογίες από τις αναμενόμενες στην οργανοληπτική αξιολόγηση.

3.4.5 Συνάφεια

Από την ανάλυση διασποράς (Πίνακας 32, παράρτημα) της συνάφειας, που προκύπτει από την οργανοληπτική αξιολόγηση, παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις έξι υδρογέλες αμύλου σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.



Διάγραμμα 20: Οργανοληπτική συνάφεια των υδρογελών των αμύλων. Τα διαφορετικά γράμματα (a,b και c) δηλώνουν την ύπαρξη στατιστικώς σημαντικών διαφορών. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις είναι η τυπική απόκλιση.

Στο διάγραμμα απεικονίζεται ο μέσος όρος της συνάφειας, των υδρογελών των έξι αμύλων που μελετήθηκαν. Από την ανάλυση των πολλαπλών συγκρίσεων μέσω των οποίων προκύπτει ότι δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στις υδρογέλες των αμύλων του Αραρούτι και της Ταπιόκας, σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Ομοίως δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις υδρογέλες των αμύλων του Αραβόσιτου, Κάστανου και Kuzu, σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Τέλος, η υδρογέλη του αμύλου της Πατάτας δεν παρουσιάζει στατιστικώς σημαντικές διαφορές με την υδρογέλη προερχόμενη από το άμυλο Κάστανου.

3.5 Συσχέτιση οργανοληπτικών αποτελεσμάτων και TPA

Οι συντελεστές συσχέτισης Pearson σε επίπεδο σημαντικότητα 5%, μεταξύ των οργανοληπτικών ιδιοτήτων της υφής και αυτών που μετρήθηκαν με το Instron (TPA) φαίνονται στον Πίνακα 11. (Ο πλήρης πίνακας (52) με p-values βρίσκεται στο παράρτημα.)

Συσχέτιση μεταξύ οργανοληπτικών ιδιοτήτων της υφής

Η οργανοληπτική σκληρότητα συσχετίστηκε θετικά με την οργανοληπτική ελαστικότητα ($r=0,81$, ενώ με λογαριθμικό μετασχηματισμό $r'=0.89$) υποδηλώνοντας ότι όσο περισσότερο σκληρές είναι οι υδρογέλες αμύλου τότε επανέρχονται σε μεγαλύτερο βαθμό από τη παραμόρφωση που υπέστησαν. Οι (Meullenet et al., 1998) ανέλυσαν τη σχέση της οργανοληπτικής αντιληπτής υφής (μάσηση δείγματος) και της υφής μετρούμενης με TPA σε 21 διαφορετικά τρόφιμα και βρήκαν αρνητική σχέση σκληρότητας και ελαστικότητας ($r=-0,43$, $p<0.05$). Αντίθετα, ο (Montejano et al., 1985) ανέφερε θετική συσχέτιση μεταξύ σκληρότητας (firmness) και ελαστικότητας ($r=0,85$, $p<0.0001$) σε υδρογέλες διαφόρων πρωτεϊνών.

Η οργανοληπτική συνάφεια συσχετίστηκε αρνητικά με την οργανοληπτική σκληρότητα ($r=-0,97$) και την οργανοληπτική ελαστικότητα ($r=-0,91$). Ενώ η συνεκτικότητα έχει στατιστικώς σημαντική συσχέτιση μόνο με την ελαστικότητα αν και αυτή είναι χαμηλή ($r=0.3$).

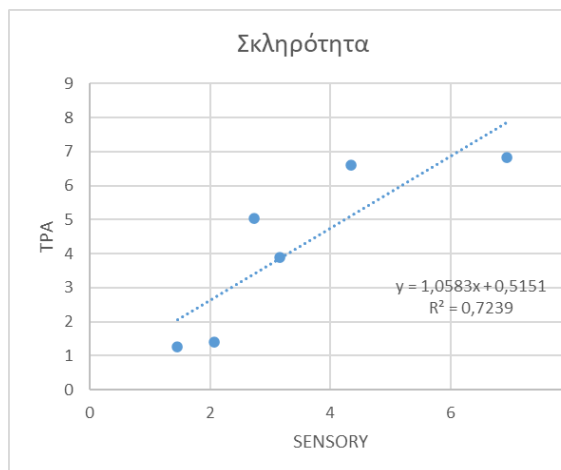
Συσχέτιση μεταξύ TPA ιδιοτήτων της υφής

Η μόνη στατιστικώς σημαντική συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων του TPA είναι αυτή μεταξύ του κομμώδους και της σκληρότητας ($r=0,96$). Αυτή η συσχέτιση είναι αναμενόμενη με βάση τον τρόπο υπολογισμού του κομμώδους (=σκληρότητα x διορθωμένη συνεκτικότητα).

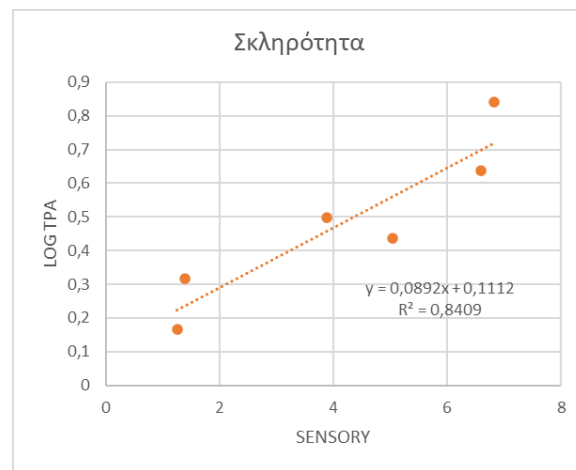
Συσχέτιση μεταξύ TPA και οργανοληπτικών ιδιοτήτων της υφής

Ο συντελεστής συσχέτισης της οργανοληπτικής σκληρότητας και της σκληρότητάς του TPA είναι $r=0.85$ ενώ με λογαριθμικό μετασχηματισμό $r'=0.92$ ενώ της οργανοληπτικής ελαστικότητας και της ελαστικότητας του TPA είναι $r=0,90$. Παρά

την πιθανότητα του επηρεασμού της ελαστικότητας από τη συνάφεια του δείγματος φαίνεται να υπάρχει ισχυρή γραμμική συσχέτιση αναμεσα στην οργανοληπτική ελαστικότητα και την ελαστικότητα του TPA.



Διάγραμμα 21: Απεικόνιση της συσχέτισης ($r=0.85$)



Διάγραμμα 22: Απεικόνιση της συσχέτισης ($r=0.92$)

Η οργανοληπτική συνάφεια δεν εμφάνισε στατιστικώς σημαντική συσχέτιση με την συνάφεια του TPA. Η μη συσχέτισή μπορεί να οφείλεται στη διαφορά του «υλικού» (δάκτυλα και έμβολο) ή και τη θερμοκρασία (36,6°C ανθρωπίνου σώματος και κρύο μέταλλο) που μετράει την συνάφεια (Brenner & Nishinari, 2014). Όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι πιθανό σκληρά προϊόντα να δημιουργούν επιπλέον πίεση ανάμεσα στο προϊόν και το έμβολο και έτσι αυτά να προσκολλώνται περισσότερο στο έμβολο και η μέτρηση που λαμβάνεται να αντιστοιχεί σε μία φαινομενική συνάφεια ή οποία να μην είναι αντιληπτή από τον άνθρωπο. Στις περισσότερες έρευνες η κολλητικότητα από το TPA παραλείπεται ή συνιστάται μέτρηση της ξεχωριστά με διαφορετική μέθοδο (Brenner & Nishinari, 2014).

Επίσης η συνεκτικότητα δεν εμφάνισε καμία στατιστικώς σημαντική συσχέτιση. Όμοια αποτελέσματα αναφέρθηκαν από τους Meullenet et al. (1998) που απέδωσαν την μη συσχέτιση της συνεκτικότητας στο εύρος των διαφορετικών προϊόντων που αξιολογήθηκαν. Επιπλέον, είναι πιθανόν επειδή η συνεκτικότητα είναι υψηλή σε όλα τα δείγματα και για να φανούν διαφορές ή θα έπρεπε το

ποσοστό συμπίεσης να ήταν υψηλότερο, με κίνδυνο θρυμματισμού των δειγμάτων ή να παρακολουθούσε κάποιος τη συνεκτικότητα σε σχέση με την αποθήκευση. Αντίθετα ο (Montejano et al., 1985) ανέφερε υψηλή συσχέτιση συνεκτικότητας όταν αυτή μετρήθηκε με γευστική δοκιμή ($r=0,81$) σε υδρογέλες πρωτεϊνών προερχόμενες από αυγό, ψάρι, γαλοπούλα, μοσχάρι και χοιρινό (μυϊκές).

Η TPA σκληρότητα έχει αρνητική συσχέτιση με την οργανοληπτική συνεκτικότητα ($r=-0,90$) και οργανοληπτική συνάφεια ($r=-0,81$).

Η παράμετρος του κομμώδους όπως αυτή λήφθηκε από το TPA έχει θετική συσχέτιση με την οργανοληπτική σκληρότητα ($r=0,94$), το οποίο ήταν αναμενόμενο λόγω του τρόπου υπολογισμού της, ενώ έχει αρνητική συσχέτιση με την οργανοληπτική συνεκτικότητα ($r=-0,81$) και την οργανοληπτική συνάφεια ($r=-0,94$). Ένα κομμώδες τρόφιμο αναμένεται να κολλάει και να έχει υψηλό ιξώδες (Micha Peleg, 2019). Από τους συντελεστές συσχέτισης όμως φαίνεται η αντίθετη σχέση, δηλαδή όσο αυξάνεται η μέτρηση του κομμώδους τόσο λιγότερο κολλητικό και συνεκτικό αντιλήφθηκαν οι δοκιμαστές το δείγμα. Οι Meullenet et al., (1998) αντιμετώπισαν παρόμοιο πρόβλημα με την ιδιότητα της μασητικότητας ($\text{chewiness} = \text{gumminess} * \text{springiness}$) και το απέδωσαν στη συνεκτικότητα η οποία είναι μέρος του υπολογισμού. Αν και το κομμώδες είναι μία ιδιότητα που γίνεται αντιληπτή μέσω της μάσησης, η συσχέτισή της με ιδιότητες που αντιλαμβανόμαστε με την αφή των χεριών μπορεί να μας προϊδεάσει για το τι να αναμένουμε από ένα τρόφιμο πριν το δοκιμάσουμε.

Πίνακας 11: Τροποποιημένος πίνακας συσχετίσεων Pearsons μεταξύ οργανοληπτικών και TPA ιδιοτήτων της υφής (φαίνονται μόνο οι στατιστικώς σημαντικές συσχετίσεις, $p<0,05$)

	S A	LOG S A	S S	LOG S S	TPA H	LOG TPA H	TPA S	LOG TPA S	TPA G	LOG TPA G
S H	-0,94	-0,95	-	0,81	0,85	0,92	-	-	0,94	0,95
LOG S H	-0,97	-0,95	0,89	0,89	-	0,89	-	-	0,91	0,96
S C	-	-	-	-	-0,90	-0,81	-	-	-0,81	-
LOG S C	-	-	-	-0,30	-0,92	-0,83	-	-	-0,83	-
S A			-0,90	-0,91	-0,81	-0,90	-	-	-0,94	-0,97
LOG S A			-0,84	-0,85	-0,88	-0,94	-	-	-0,97	-0,98
S S					-	-	0,90	0,91	-	-
LOG S S					-	-	0,89	0,90	-	-
TPA H									0,96	0,89
LOG TPA H									0,99	0,97

S H: Οργανοληπτική Σκληρότητα

TPA H: TPA Σκληρότητα

S C: Οργανοληπτική Συνεκτικότητα

TPA C: TPA Συνεκτικότητα

S A: Οργανοληπτική Κολλητικότητα

TPA A: TPA Κολλητικότητα

S S: Οργανοληπτική Ελαστικότητα

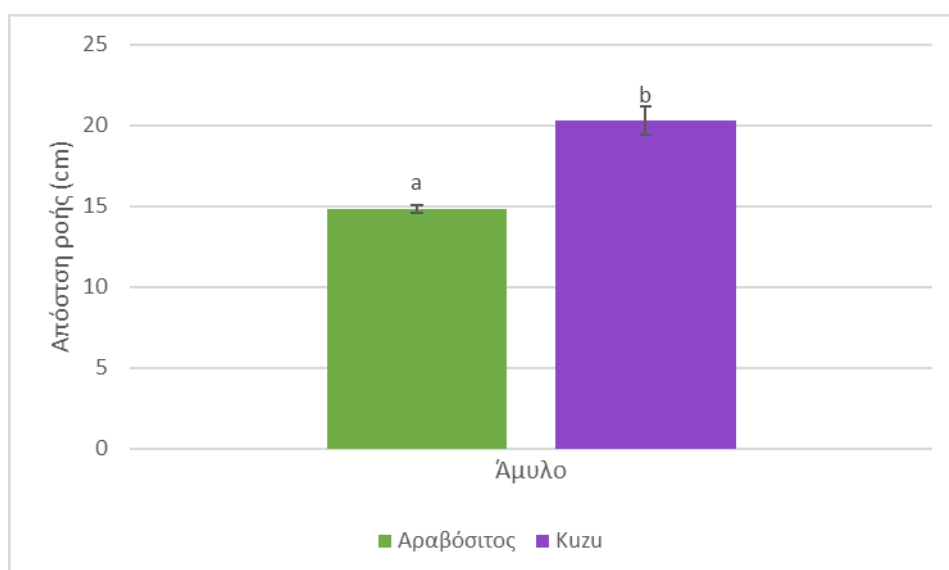
TPA S: TPA Ελαστικότητα

TPA G: TPA Κολλώδες

3.6 Δείκτης συνοχής

3.6.1 Bostwick consistometer

Από την ανάλυση διασποράς (Πίνακας 34, παράρτημα) της απόστασης που διένυσαν οι υδρογέλες αμύλου στο κονσιστόμετρο Bostwick, παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις 2 υδρογέλες αμύλου σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

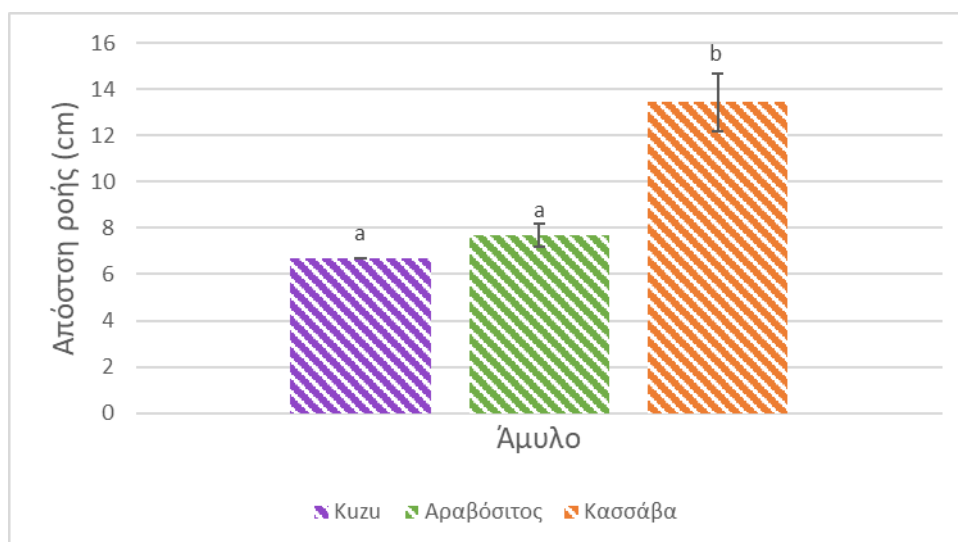


Διάγραμμα 23: Η απόσταση που διένυσε η υδρογέλη αμύλου περιεκτικότητας 5% στη κονσιστόμετρο Bostwick. Τα διαφορετικά γράμματα (a και b) δηλώνουν την

ύπαρξη στατιστικώς σημαντικών διαφορών. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις είναι η τυπική απόκλιση.

Παρατηρούμε ότι οι υδρογέλες των αμύλων του Αραβοσίτου και του Kuzu εμφανίζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ως προς τη συνεκτικότητα τους. Η υδρογέλη της Κασσάβας δεν έδωσε μετρήσιμα αποτελέσματα, σε 3 επαναλήψεις, καθώς διέσχιζε όλο το μήκος της κλίνης του κονσιστόμετρου σε χρόνο 17 sec. Δεδομένου ότι η μεγαλύτερη μέτρηση που λήφθηκε ήταν περίπου 20 cm στα 30 sec μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η μέτρηση της Κασσάβας σε διάστημα 30 sec θα είναι τιμή πολύ μεγαλύτερη των δύο άλλων υδρογελών (>24 cm πού είναι το τέρμα της κλίμακας του κονσιστόμετρου) και θα διαφέρει στατιστικώς σημαντικά μαζί τους.

Από την ανάλυση διασποράς (Πίνακας 36, παράρτημα) της απόστασης που διένυσαν οι κρέμες αμύλου στο κονσιστόμετρο Bostwick, παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις 3 κρέμες αμύλου σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.



Διάγραμμα 24: Η απόσταση που διένυσε η κρέμα αμύλου περιεκτικότητας 5% στη κονσιστόμετρο Bostwick. Τα διαφορετικά γράμματα (a και b) δηλώνουν την ύπαρξη στατιστικώς σημαντικών διαφορών. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις είναι η τυπική απόκλιση.

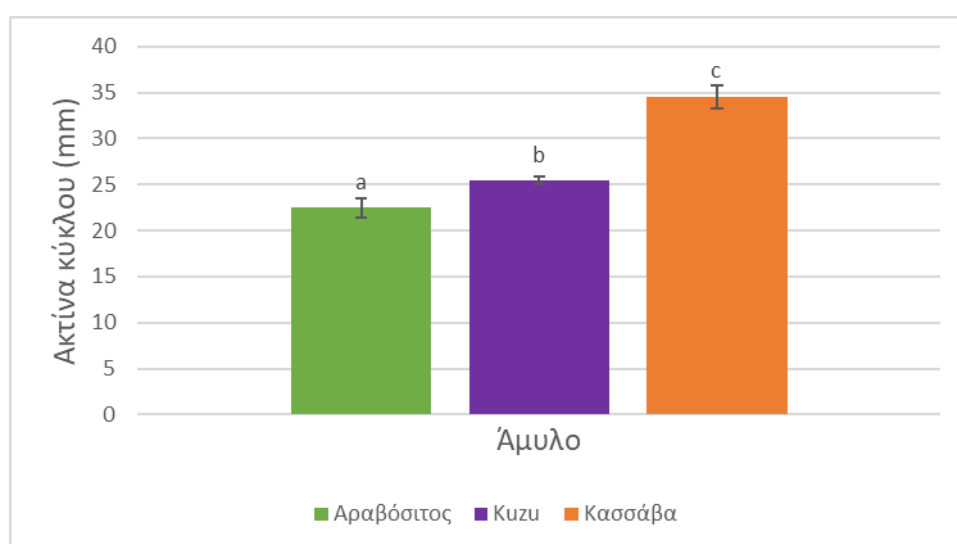
Παρατηρούμε ότι οι κρέμες των αμύλων του Αραβοσίτου και του Kuzu δεν εμφανίζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ως προς τη συνεκτικότητα τους σε αντίθεση με τις αντίστοιχες υδρογέλες. Επιπλέον, η κρέμα του αμύλου της

Κασσάβας διαφέρει στατιστικώς σημαντικά, ως προς τη συνεκτικότητα, με τις κρέμες του Αραβόσιτου και του Kuzu. Η κρέμα με κασσάβα παρουσιάζει το μικρότερο ιξώδες σε σχέση με αυτή με αραβόσιτο ή Kuzu. Το ιξώδες των δύο τελευταίων κρεμών είναι παρόμοιο και θα πρέπει να αναζητηθούν άλλου διαφορές αν είναι να επιλεγεί το ένα άμυλο έναντι του άλλου.

3.6.2 Line Spread test

Λόγω της διαφοράς του μεγέθους του περιέκτη και του όγκου του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε η σύγκριση των αποτελεσμάτων με άλλες μελέτες είναι δύσκολη.

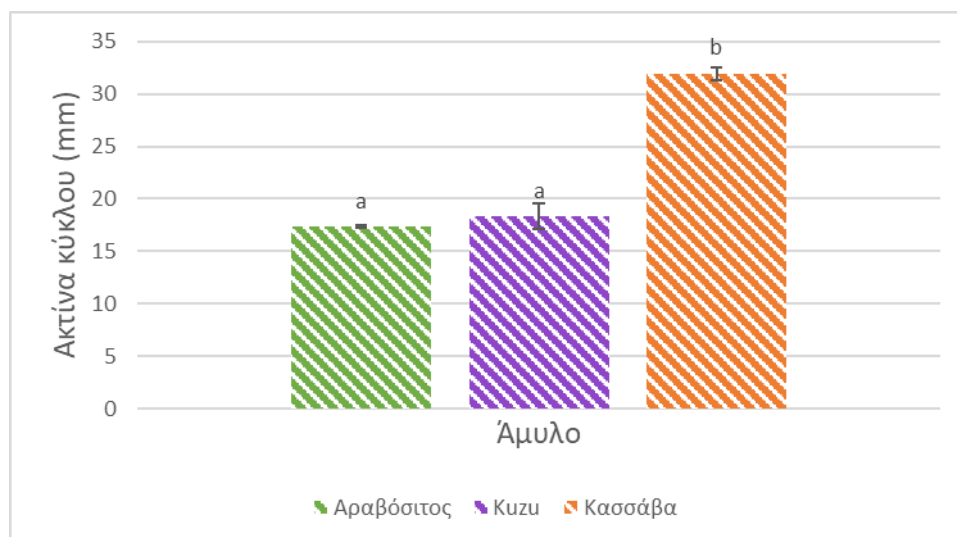
Από την ανάλυση διασποράς (Πίνακας 38, παράρτημα) της ακτίνας του κύκλου που δημιούργησε η υδρογέλη αμύλου, παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις 3 υδρογέλες αμύλου σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.



Διάγραμμα 25 Η ακτίνα του κύκλου που δημιούργησε η υδρογέλη του αμύλου περιεκτικότητας 5%. Τα διαφορετικά γράμματα (a,b και c) δηλώνουν την ύπαρξη στατιστικώς σημαντικών διαφορών. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις είναι η τυπική απόκλιση.

Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι και οι 3 υδρογέλες των αμύλων που μελετήθηκαν διαφέρουν σημαντικά στατιστικώς μεταξύ τους. Ομοίως παρατηρήθηκε και στο Διάγραμμα 23 από την ροή στο Bostwick consistometer.

Από την ανάλυση διασποράς (Πίνακας 40, παράρτημα) της ακτίνας του κύκλου που σχημάτισαν οι κρέμες, παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις 3 υδρογέλες αμύλου σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.



Διάγραμμα 26: Η ακτίνα του κύκλου που δημιουργήσε η κρέμα αμύλου περιεκτικότητας 5%. Τα διαφορετικά γράμματα (a και b) δηλώνουν την ύπαρξη στατιστικώς σημαντικών διαφορών. Οι γραμμές πάνω και κάτω από τις μετρήσεις είναι η τυπική απόκλιση.

Παρατηρούμε ότι οι κρέμες των αμύλων του Αραβοσίτου και του Κuzu δεν εμφανίζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ως προς τη συνεκτικότητα τους σε αντίθεση με τις αντίστοιχες υδρογέλες. Επιπλέον, η κρέμα του αμύλου της Κασσάβας διαφέρει στατιστικώς σημαντικά, ως προς τη συνεκτικότητα, με τις κρέμες του Αραβοσίτου και του Κuzu.

4 Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η αξιολόγηση 6 άμυλων διαφορετικής βοτανικής προέλευσης ως προς τα χαρακτηριστικά των αμυλοκόκκων και την δυνατότητα τους να σχηματίζουν υδρογέλες. Επιπρόσθετα μελετήθηκε η υφή των υδρογελών με τη χρήση οργάνων (Instron και Consistometer) και πραγματοποιήθηκε οργανοληπτική δοκιμή αυτών μέσω της αφής των δακτύλων.

Από την ανάλυση των αμυλοκόκκων προέκυψε ότι το σχήμα και μέγεθος των αμυλοκόκκων διέφερε ανάλογα με την προέλευσή τους. Τη μεγαλύτερη μέση διάμετρο είχαν οι κόκκοι της Πατάτας και τη μικρότερη οι κόκκοι του Kuzu, όπως ισχύει και βιβλιογραφικά. Ενώ από την κατανομή του μεγέθους τους φάνηκε ότι οι αμυλόκοκκοι του Αραρούτι ακολουθούν διπλή κατανομή.

Από τη μέτρηση της υφής (Texture Profile Analysis) προέκυψε ότι:

- Οι υδρογέλες της Κασσάβας και του Αραρούτι καθώς και του Kuzu με του Αραβόσιτου είχαν παρόμοιες ιδιότητες.
- Οι υδρογέλες του Αραρούτι και της Κασσάβας ήταν οι μαλακότερες, οι λιγότερο ελαστικές και οι λιγότερο κομμώδεις.
- Οι υδρογέλες του Κάστανου και της Πατάτας διαφέραν στατιστικώς σημαντικά μόνο ως προς την ελαστικότητα ενώ παρουσίασαν την υψηλότερη συνεκτικότητα.
- Σειρά μειούμενης Σκληρότητας:
Αραβόσιτος > Kuzu > Κάστανο \geq Πατάτα \geq Κασσάβα \geq Αραρούτι
- Σειρά μειούμενης Ελαστικότητας:
Κάστανο > Αραβόσιτος, Kuzu, Πατάτα > Αραρούτι, Κασσάβα

Από την οργανοληπτική αξιολόγηση προέκυψε :

- Η Κασσάβα το Αραρούτι και η Πατάτα είχαν τις περισσότερες διαφανείς υδρογέλες ενώ του Kuzu και του Αραβόσιτου ήταν οι λιγότερες διαφανείς.
Σειρά μειούμενης διαφάνειας:
Κασσάβα, Αραρούτι \geq Πατάτα \geq Αραβόσιτος \geq Kuzu, Κάστανο

- Η υδρογέλη του Κάστανου είχε έναν ελαφρύ καφέ χρωματισμό που πιθανότατα επηρέασε την θέση της στην κατάταξη.
- Από την αξιολόγηση της υφής με την αφή των δακτύλων δεν παρουσιάστηκαν καμία στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ στα ζεύγη των υδρογελών Αραβόσιτου – Kuzu και Κασσάβας- Αραρούτι. Τα δείγματα αυτά ήταν κοντά στην αντίστοιχη κατάταξη σκληρότητας και ελαστικότητας.
- Τη μεγαλύτερη αντίθεση την οργανοληπτική αξιολόγηση παρουσίασαν τα ζεύγη Αραβόσιτος Αραρούτι, Αραβόσιτος -Κασσάβα και Κασσάβα-Kuzu.

Συσχετίσεις:

- Η οργανοληπτική σκληρότητα συσχετίστηκε θετικά με της οργανοληπτική ελαστικότητα ($r=0,81$, ενώ με λογαριθμικό μετασχηματισμό $r'=0.89$)
- Η οργανοληπτική συνάφεια συσχετίστηκε αρνητικά με την οργανοληπτική σκληρότητα ($r=-0,97$) και την οργανοληπτική ελαστικότητα ($r=-0,91$), αν και οι μικρές τιμές συνάφειας των δειγμάτων δεν είναι πάντα αξιόπιστες.
- Η οργανοληπτική σκληρότητα και η σκληρότητα όπως μετρήθηκε από το TPA είναι $r=0.85$ ενώ με λογαριθμικό μετασχηματισμό $r'= 0.92$ ενώ της οργανοληπτικής ελαστικότητας και της ελαστικότητας του TPA είναι $r=0,90$.
- Η TPA συνάφεια δεν συσχετίστηκε με καμία ιδιότητα μετρούμενη από το TPA ή οργανοληπτικά και ίσως το TPA να μην είναι η καταλληλότερη μέθοδος για την εκτίμησή της σε αυτά τα δείγματα.
- Το Κομμιώδες (Gumminess) είχε θετική συσχέτιση με την οργανοληπτική σκληρότητα ($r=0,94$) ενώ έχει αρνητική συσχέτιση με την οργανοληπτική συνεκτικότητα ($r=-0,81$) και την οργανοληπτική συνάφεια ($r=-0,94$).

Σύμφωνα με τη μέτρηση του ιξώδους (Line spread test και στο Bostwick Constistometer) για τις υδρογέλες και την ζαχαροπλαστική κρέμα με χρήση τριών διαφορετικών αμύλων:

- Οι υδρογέλες είχαν διαφορετικό ιξώδες με σειρά κατάταξης:

Αραβόσιτος > kuzu > Κασσάβα

- η κρέμα από άμυλο Κασσάβας είχε μεγαλύτερη ροή (μικρότερο ιξώδες) και στα δύο πειράματα.
- Διαφορές ιξώδους ανάμεσα στην κρέμα Αραβοσίτου και στην κρέμα Kuzu δεν ήταν ξεκάθαρες. Η ομοιότητα Αραβόσιτου και Kuzu παρατηρήθηκε τόσο στα πειράματα προσδιορισμού της υφής με TPA όσο και στην οργανοληπτική αξιολόγηση.
- Σε άμυλα που έχουν παρόμοιες τιμές ιξώδους οι διαφορές δεν είναι ξεκάθαρες στις παραγόμενες κρέμες

Με βάση την παρούσα μεταπτυχιακή εργασία θα μπορούσαν να γίνουν μελλοντικές μελέτες σχετικά με:

- Το ιξώδες των αμύλων.
- Να χρησιμοποιηθούν περισσότερες πηγές αμύλου διαφορετικής βοτανικής προέλευσης. Πιθανές πηγές μπορούν να αποτελέσουν τα όσπρια όπου το άμυλο λαμβάνεται ως παραπροϊόν από την απομόνωση των πρωτεϊνών. Μια ακόμα πηγή μπορεί να αποτελέσει το άμυλο από το σπόρο του αβοκάντο. Ενώ ενδιαφέρον μπορεί να αποτελέσει η απομόνωση αμύλου από τα στερεά απόβλητα βυνοποίησης (κριθάρι).
- Συσχέτιση αντικειμενικών μεθόδων με χρήση οργάνων και υποκειμενικών με αφή και γευστική δοκιμή (Δοκιμές Διάκρισης).
- Παρατήρηση των αλλαγών που συμβαίνουν κατά την αποθήκευση.
- Ενίσχυση δομών με άλλα συστατικά π.χ. πρωτεΐνες ή υδροκολλοειδή.

5 Παράρτημα

5.1 Πίνακες ανάλυσης παραλλακτικότητας και πολλαπλών συγκρίσεων

Πίνακας 12: Ανάλυση παραλλακτικότητας της μέσης διαμέτρου των αμυλοκόκκων.

Type III Sums of Squares					
Πηγή Παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Είδος αμύλου	13836,6	5	2767,32	113,23	0
Επανάληψη	0,361024	1	0,361024	0,01	0,9033
Υπόλοιπο	14493,1	593	24,4403		
Σύνολο διορθωμένο	28330,1	599			

Πίνακας 13: Πολλαπλές συγκρίσεις μέσω της μέσης διαμέτρου των αμυλοκόκκων.

Method: 95,0 percent LSD				
Είδος αμύλου	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Κuzu	100	7,84495	0,494372	a
Κάστανο	100	10,0057	0,494372	b
Κασσάβα	100	10,9266	0,494372	bc
Αραβόσιτος	100	11,6768	0,494372	cd
Αραρούτι	100	12,38	0,494372	d
Πατάτα	100	22,8628	0,494372	e

Πίνακας 14: Ανάλυση παραλλακτικότητας της υγρασίας.

Type III Sums of Squares					
Πηγή Παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Είδος αμύλου	264,403	5	52,8805	6174,52	0
Επανάληψη	0,00158666	1	0,00158666	0,19	0,6752
Υπόλοιπο	0,0942074	11	0,00856431		
Σύνολο διορθωμένο	264,498	17			

Πίνακας 15: Πολλαπλές συγκρίσεις μέσω της υγρασίας.

Method: 95,0 percent LSD				
Είδος αμύλου	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Κάστανο	3	6,86703	0,0534301	a
Αραβόσιτος	3	11,3766	0,0534301	b
Αραρούτι	3	12,2953	0,0534301	c
Κασσάβα	3	12,9349	0,0534301	d
Κuzu	3	14,8384	0,0534301	e
Πατάτα	3	19,6337	0,0534301	f

Πίνακας 16: Ανάλυση παραλλακτικότητας της σκληρότητας του TPA

Type III Sums of Squares					
Πηγή Παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Είδος αμύλου	41,1326	5	8,22652	56,43	0
Επανάληψη	0,192	1	0,192	1,32	0,2843
Υπόλοιπο	1,1663	8	0,145788		
Σύνολο διορθωμένο	42,9005	14			

Πίνακας 17: Πολλαπλές συγκρίσεις μέσω της σκληρότητας του ΤΡΑ

Method: 95,0 percent LSD				
Είδος αμύλου	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Αραρούτι	3	1,46133	0,222201	a
Κασσάβα	2	2,073	0,273209	ab
Πατάτα	3	2,74133	0,222201	bc
Κάστανο	3	3,15467	0,222201	c
Kuzu	2	4,338	0,273209	d
Αραβόσιτος	2	6,933	0,273209	e

Πίνακας 18: Ανάλυση παραλλακτικότητας της συνεκτικότητας του ΤΡΑ

Type III Sums of Squares					
Πηγή Παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Είδος αμύλου	0,136999	5	0,0273998	5,48	0,0175
Επανάληψη	1,33333E-05	1	1,33333E-05	0	0,9601
Υπόλοιπο	0,04002	8	0,0050025		
Σύνολο διορθωμένο	0,182573	14			

Πίνακας 19: Πολλαπλές συγκρίσεις μέσω της συνεκτικότητας του ΤΡΑ

Method: 95,0 percent LSD				
Είδος αμύλου	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Αραβόσιτος	2	0,6596	0,0506091	a
Κασσάβα	2	0,6946	0,0506091	ab
Αραρούτι	3	0,750267	0,0411604	ab
Kuzu	2	0,8346	0,0506091	bc
Πατάτα	3	0,8936	0,0411604	c
Κάστανο	3	0,9236	0,0411604	c

Πίνακας 20: Ανάλυση παραλλακτικότητας της ελαστικότητας του ΤΡΑ

Type III Sums of Squares					
Πηγή Παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Είδος αμύλου	0,0453444	5	0,00906889	18,88	0,0002
Επανάληψη	4,44444E-05	1	4,44444E-05	0,09	0,7679
Υπόλοιπο	0,00432222	9	0,000480247		
Σύνολο διορθωμένο	0,0501	15			

Πίνακας 21: Πολλαπλές συγκρίσεις μέσω της ελαστικότητας του ΤΡΑ

Method: 95,0 percent LSD				
Είδος αμύλου	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Κασσάβα	2	0,784167	0,0157362	a
Αραρούτι	3	0,803611	0,0126853	a
Kuzu	2	0,854167	0,0157362	b
Αραβόσιτος	3	0,863611	0,0126853	b
Πατάτα	3	0,896944	0,0126853	b
Κάστανο	3	0,943611	0,0126853	c

Πίνακας 22: Ανάλυση παραλλακτικότητας της συνάφειας του ΤΡΑ

Type III Sums of Squares					
Πηγή Παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Είδος αμύλου	3,85263	5	0,770526	5,44	0,0178
Επανάληψη	0,116563	1	0,116563	0,82	0,3907
Υπόλοιπο	1,13225	8	0,141532		
Σύνολο διορθωμένο	5,01609	14			

Πίνακας 23: Πολλαπλές συγκρίσεις μέσω της συνάφειας του ΤΡΑ

Method: 95,0 percent LSD				
type	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Kuzu	2	-2,8324	0,269192	a
Αραβόσιτος	2	-2,0224	0,269192	ab
Κασσάβα	2	-1,7124	0,269192	bc
Πατάτα	3	-1,42507	0,218934	bc
Κάστανο	3	-1,3684	0,218934	bc
Αραρούτι	3	-1,17507	0,218934	c

Πίνακας 24: Ανάλυση παραλλακτικότητας του κομμώδους του ΤΡΑ

Type III Sums of Squares					
Πηγή Παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Είδος αμύλου	19,4436	5	3,88872	16,37	0,0005
Επανάληψη	0,15987	1	0,15987	0,67	0,4357
Υπόλοιπο	1,90008	8	0,23751		
Σύνολο διορθωμένο	21,4014	14			

Πίνακας 25: Πολλαπλές συγκρίσεις μέσω του κομμώδους του ΤΡΑ

Method: 95,0 percent LSD				
Είδος αμύλου	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Αραρούτι	3	1,08747	0,283614	a
Κασσάβα	2	1,4488	0,348719	ab
Πατάτα	3	2,44747	0,283614	bc
Κάστανο	3	2,90747	0,283614	cd
Kuzu	2	3,5888	0,348719	de
Αραβόσιτος	2	4,6088	0,348719	e

Πίνακας 26: Ανάλυση παραλλακτικότητας της σκληρότητας της οργανοληπτικής αξιολόγησης

Type III Sums of Squares					
Πηγή Παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Είδος αμύλου	718,896	5	143,779	58,22	0
Επανάληψη	7,70004	1	7,70004	3,12	0,0797
Υπόλοιπο	338,344	137	2,46967		
Σύνολο διορθωμένο	1064,94	143			

Πίνακας 27: Πολλαπλές συγκρίσεις μέσω της σκληρότητας της οργανοληπτικής αξιολόγησης

Method: 95,0 percent LSD				
Είδος αμύλου	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Αραρούτι	24	1,25417	0,320785	a
Κασσάβα	24	1,4	0,320785	a
Κάστανο	24	3,8875	0,320785	b
Πατάτα	24	5,03333	0,320785	c
Kuzu	24	6,6	0,320785	d
Αραβόσιτος	24	6,825	0,320785	d

Πίνακας 28: Ανάλυση παραλλακτικότητας της συνεκτικότητας της οργανοληπτικής αξιολόγησης

Type III Sums of Squares					
Πηγή Παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Είδος αμύλου	133,452	5	26,6905	4,49	0,0008
Επανάληψη	14,4353	1	14,4353	2,43	0,1216
Υπόλοιπο	815,01	137	5,94898		
Σύνολο διορθωμένο	962,898	143			

Πίνακας 29: Πολλαπλές συγκρίσεις μέσω της συνεκτικότητας της οργανοληπτικής αξιολόγησης

Method: 95,0 percent LSD				
Είδος αμύλου	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Αραβόσιτος	24	2,85417	0,497869	a
Kuzu	24	3,675	0,497869	ab
Αραρούτι	24	4,9625	0,497869	bc
Κάστανο	24	5,12917	0,497869	c
Κασσάβα	24	5,225	0,497869	c
Πατάτα	24	5,52917	0,497869	c

Πίνακας 30: Ανάλυση παραλλακτικότητας της ελαστικότητας της οργανοληπτικής αξιολόγησης

Type III Sums of Squares					
Πηγή Παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Είδος αμύλου	193,696	5	38,7393	7,13	0
Επανάληψη	0,904493	1	0,904493	0,17	0,6838
Υπόλοιπο	744,092	137	5,43133		
Σύνολο διορθωμένο	938,693	143			

Πίνακας 31: Πολλαπλές συγκρίσεις μέσω της ελαστικότητας της οργανοληπτικής αξιολόγησης

Method: 95,0 percent LSD				
Είδος αμύλου	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Κασσάβα	24	3,88333	0,475716	a
Αραρούτι	24	4,60417	0,475716	a
Αραβόσιτος	24	6,22917	0,475716	b
Kuzu	24	6,67917	0,475716	b
Πατάτα	24	6,6875	0,475716	b
Κάστανο	24	6,90833	0,475716	b

Πίνακας 32: Ανάλυση παραλλακτικότητας της συνάφειας της οργανοληπτικής αξιολόγησης

Type III Sums of Squares					
Πηγή Παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Είδος αμύλου	769,357	5	153,871	41,69	0
Επανάληψη	0,680036	1	0,680036	0,18	0,6684
Υπόλοιπο	505,642	137	3,69081		
Σύνολο διορθωμένο	1275,68	143			

Πίνακας 33: Πολλαπλές συγκρίσεις μέσω της συνάφειας της οργανοληπτικής αξιολόγησης

Method: 95,0 percent LSD				
Είδος αμύλου	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Αραβόσιτος	24	2,65417	0,392153	a
Kuzu	24	3,12083	0,392153	a
Κάστανο	24	3,72917	0,392153	ab
Πατάτα	24	4,825	0,392153	b
Αραρούτι	24	8,15833	0,392153	c
Κασσάβα	24	8,39583	0,392153	c

Πίνακας 34: Ανάλυση παραλλακτικότητας των υδρογελών με Bostwick consistometer

Type III Sums of Squares					
Πηγή Παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Είδος αμύλου	31,6298	1	31,6298	30,61	0,0312
Επανάληψη	0,225	1	0,225	0,22	0,6867
Υπόλοιπο	2,06667	2	1,03333		
Σύνολο διορθωμένο	39,7	4			

Πίνακας 35: Πολλαπλές συγκρίσεις μέσω των υδρογελών με Bostwick consistometer

Method: 95,0 percent LSD				
Είδος αμύλου	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Αραβόσιτος	2	14,84	0,25	a
Kuzu	3	20,2733	0,84983659	b

Πίνακας 36: Ανάλυση παραλλακτικότητας των κρεμών με Bostwick consistometer

Type III Sums of Squares					
Πηγή Παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Είδος αμύλου	59,5938	2	29,7969	28,99	0,0109
Επανάληψη	2,08333	1	2,08333	2,03	0,2497
Υπόλοιπο	3,08333	3	1,02778		
Σύνολο διορθωμένο	82,3571	6			

Πίνακας 37: Πολλαπλές συγκρίσεις μέσω των κρεμών με Bostwick consistometer

Method: 95,0 percent LSD				
Είδος αμύλου	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Kuzu	2	6,67857	0,72775	a
Αραβόσιτος	2	7,67857	0,72775	a
Κασσάβα	3	13,4286	0,608736	b

Πίνακας 38: Ανάλυση παραλλακτικότητας των υδρογελών με line spread test

Type III Sums of Squares					
Πηγή Παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Είδος αμύλου	238,542	2	119,271	104,66	0,0001
Επανάληψη	1,26042	1	1,26042	1,11	0,3411
Υπόλοιπο	5,69792	5	1,13958		
Σύνολο διορθωμένο	245,5	8			

Πίνακας 39: Πολλαπλές συγκρίσεις μέσω των υδρογελών με line spread test

Method: 95,0 percent LSD				
Είδος αμύλου	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Kuzu starch	3	22,5	0,616329	a
Αραβόσιτος	3	25,4167	0,616329	b
Κασσάβα starch	3	34,5833	0,616329	c

Πίνακας 40: Ανάλυση παραλλακτικότητας των κρεμών με line spread test

Type III Sums of Squares					
Πηγή Παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Είδος αμύλου	276,427	2	138,214	106,43	0,0003
Επανάληψη	0,170139	1	0,170139	0,13	0,7357
Υπόλοιπο	5,19444	4	1,29861		
Σύνολο διορθωμένο	300,625	7			

Πίνακας 41: Πολλαπλές συγκρίσεις μέσω των κρεμών με line spread test

Method: 95,0 percent LSD				
Είδος αμύλου	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Αραβόσιτος	3	17,3924	0,661347	a
Kuzu	3	18,309	0,661347	a
Κασσάβα	2	31,9479	0,830594	b

Πίνακας 42: Ανάλυση παραλλακτικότητας σκληρότητα του ΤΡΑ αμούλου και ζελατίνης

Type III Sums of Squares					
Πηγή Παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Είδος αμούλου	265,632	11	24,1484	174,88	0
Επανάληψη	0,128133	1	0,128133	0,93	0,3507
Υπόλοιπο	2,07127	15	0,138084		
Σύνολο διορθωμένο	276,967	27			

Πίνακας 43: Πολλαπλές συγκρίσεις μέσων της σκληρότητας του ΤΡΑ αμούλου και ζελατίνης

Method: 95,0 percent LSD				
Είδος αμούλου	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
2	3	0,88	0,21672	a
Αραρούτι	3	1,46	0,21672	ab
Κάσσαβα	2	2,05	0,263762	bc
4	2	2,56	0,263762	cd
Πατάτα	3	2,74	0,21672	cd
Κάστανο	3	3,16	0,21672	d
6	2	3,35	0,263762	d
Κuzu	2	4,31	0,263762	e
8	2	5,41	0,263762	f
Αραβόσιτος	2	6,91	0,263762	g
10	2	9,46	0,263762	h
12	2	12,05	0,263762	i

Πίνακας 44: Ανάλυση παραλλακτικότητας της συνεκτικότητας του ΤΡΑ αμούλου και ζελατίνης

Type III Sums of Squares					
Πηγή Παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Είδος αμούλου	0,33194	11	0,0301763	4,61	0,0037
Επανάληψη	0,00991875	1	0,00991875	1,51	0,2374
Υπόλοιπο	0,0982312	15	0,00654875		
Σύνολο διορθωμένο	0,449243	27			

Πίνακας 45: Πολλαπλές συγκρίσεις μέσω της συνεκτικότητας του ΤΡΑ αμύλου και ζελατίνης

Method: 95,0 percent LSD				
Είδος αμύλου	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Αραβόσιτος	2	0,653839	0,0574407	a
2	3	0,664881	0,047196	a
Κάσσαβα	2	0,688839	0,0574407	ab
Αραρούτι	3	0,758214	0,047196	abc
Kuzu	2	0,828839	0,0574407	bcd
4	2	0,898839	0,0574407	cd
Πατάτα	3	0,901548	0,047196	d
6	2	0,923839	0,0574407	d
10	2	0,923839	0,0574407	d
Κάστανο	3	0,931548	0,047196	d
12	2	0,933839	0,0574407	d
8	2	0,933839	0,0574407	d

Πίνακας 46: Ανάλυση παραλλακτικότητας της ελαστικότητας του ΤΡΑ αμύλου και ζελατίνης

Type III Sums of Squares					
Πηγή Παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Είδος αμύλου	0,0730814	11	0,00664376	18,82	0
Επανάληψη	0,000135	1	0,000135	0,38	0,545
Υπόλοιπο	0,00564833	16	0,000353021		
Σύνολο διορθωμένο	0,078731	28			

Πίνακας 47: Πολλαπλές συγκρίσεις μέσω της ελαστικότητας του ΤΡΑ αμύλου και ζελατίνης

Method: 95,0 percent LSD				
Είδος αμύλου	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Κάσσαβα	2	0,78	0,0134493	a
Αραρούτι	3	0,80	0,0108529	a
2	2	0,82	0,0135694	ab
Kuzu	2	0,85	0,0134493	bc
Αραβόσιτος	3	0,86	0,0108529	c
4	2	0,88	0,0134493	cd
8	2	0,89	0,0132899	cde
Πατάτα	3	0,90	0,0108529	def
6	2	0,92	0,0135694	defg
12	2	0,92	0,0134493	efg
10	3	0,93	0,0108529	fg
Κάστανο	3	0,94	0,0108529	g

Πίνακας 48: Ανάλυση παραλλακτικότητας της συνάφειας του ΤΡΑ αμύλου και ζελατίνης

Type III Sums of Squares					
Πηγή Παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Είδος αμύλου	13,1386	11	1,19442	10	0
Επανάληψη	0,00563984	1	0,00563984	0,05	0,8309
Υπόλοιπο	1,79214	15	0,119476		
Σύνολο διορθωμένο	15,702	27			

Πίνακας 49: Πολλαπλές συγκρίσεις μέσω της συνάφειας του ΤΡΑ αμύλου και ζελατίνης

Method: 95,0 percent LSD				
Είδος αμύλου	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
8	2	-3,13	0,245347	a
12	2	-2,85	0,245347	a
Kuzu	2	-2,80	0,245347	a
10	2	-2,54	0,245347	ab
Αραβόσιτος	2	-1,99	0,245347	bc
4	2	-1,76	0,245347	cd
Κάσσαβα	2	-1,68	0,245347	cd
Πατάτα	3	-1,44	0,201589	cde
Κάστανο	3	-1,39	0,201589	cde
6	2	-1,31	0,245347	cde
Αραρούτι	3	-1,19	0,201589	de
2	3	-0,86	0,201589	e

Πίνακας 50: Friedman Test για την διαφάνεια των υδρογελών του αμύλου.

Friedman Test	
N	12
Chi-Square	47,952
df	5
ρ	<0,001

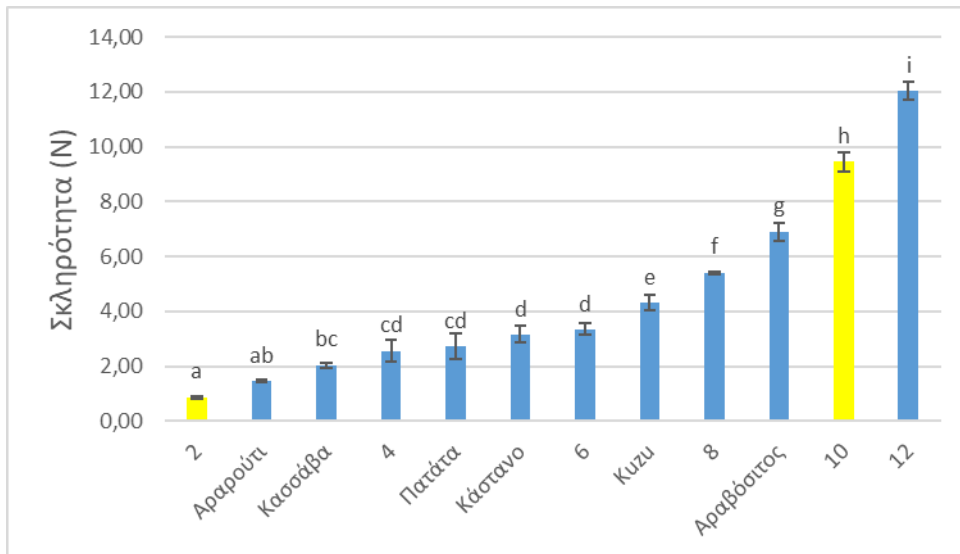
Πίνακας 51: Ανάλυση κανονικότητας δεδομένων διαφάνειας

	Count	Average	Standard deviation	Coeff. of variatio	Minimum	Maximum	Range	Std. skewnes	Std. kurtosis
Κάσσαβα	12	1,5	0,522233	0,34816	1	2	1	0	-1,7285
Αραρούτι	12	2	0,953463	0,47673	1	4	3	1,06793	0,11408
Πατάτα	12	2,66667	0,887625	0,33286	1	4	3	-1,5197	0,53849
Αραβόσιτος	12	4,91667	0,792961	0,16128	4	6	2	0,22777	-0,8915
Kuzu	12	4,33333	0,651339	0,15031	3	5	2	-0,6204	-0,2381
Κάστατο	12	5,58333	0,900337	0,16125	3	6	3	-3,5907	4,78552
Total	72	3,5	1,71981	0,49137	1	6	5	0	-2,2051

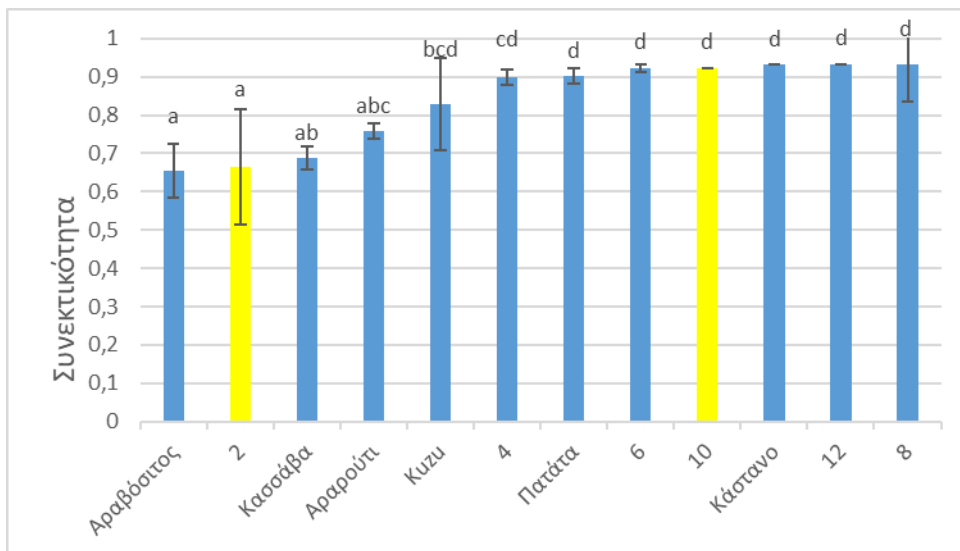
Πίνακας 52: Συντελεστής συσχέτισης Pearson

	S H	LOG S H	S C	LOG S C	S A	LOG S A	S S	LOG S S	TPA H	LOG TPA H
S H		0,9829	-0,6989	-0,7092	-0,9423	-0,9451	0,8056	0,8132	0,8509	0,917
# samples		-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value		0,0004	0,1224	0,1145	0,0049	0,0044	0,053	0,0491	0,0317	0,01
LOG S H	0,9829		-0,5775	-0,5906	-0,9663	-0,9488	0,8862	0,8877	0,7907	0,8874
# samples	-6		-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,0004		0,2301	0,2171	0,0017	0,0039	0,0187	0,0182	0,0611	0,0183
S C	-0,6989	-0,5775		0,9973	0,6216	0,7152	-0,265	-0,2911	-0,8962	-0,8132
# samples	-6	-6		-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,1224	0,2301		0	0,1877	0,1101	0,6117	0,5757	0,0156	0,0491
LOG S C	-0,7092	-0,5906	0,9973		0,6291	0,722	-0,27	-0,2964	-0,9177	-0,831
# samples	-6	-6	-6		-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,1145	0,2171	0		0,1808	0,1052	0,6048	0,5684	0,0099	0,0404
S A	-0,9423	-0,9663	0,6216	0,6291		0,9913	-0,9037	-0,9066	-0,8147	-0,9001
# samples	-6	-6	-6	-6		-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,0049	0,0017	0,1877	0,1808		0,0001	0,0135	0,0127	0,0483	0,0145
LOG S A	-0,9451	-0,9488	0,7152	0,722	0,9913		-0,8421	-0,8477	-0,8755	-0,9388
# samples	-6	-6	-6	-6	-6		-6	-6	-6	-6
p value	0,0044	0,0039	0,1101	0,1052	0,0001		0,0354	0,033	0,0223	0,0055
S S	0,8056	0,8862	-0,265	-0,27	-0,9037	-0,8421		0,9984	0,5069	0,6393
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6		-6	-6	-6
p value	0,053	0,0187	0,6117	0,6048	0,0135	0,0354		0	0,3047	0,1717
LOG S S	0,8132	0,8877	-0,2911	-0,2964	-0,9066	-0,8477	0,9984		0,5218	0,6436
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6		-6	-6
p value	0,0491	0,0182	0,5757	0,5684	0,0127	0,033	0		0,2883	0,1679
TPA H	0,8509	0,7907	-0,8962	-0,9177	-0,8147	-0,8755	0,5069	0,5218		0,9707
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6		-6
p value	0,0317	0,0611	0,0156	0,0099	0,0483	0,0223	0,3047	0,2883		0,0013
LOG TPA H	0,917	0,8874	-0,8132	-0,831	-0,9001	-0,9388	0,6393	0,6436	0,9707	
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	
p value	0,01	0,0183	0,0491	0,0404	0,0145	0,0055	0,1717	0,1679	0,0013	
TPA C	0,1469	0,2969	0,492	0,5071	-0,3058	-0,1865	0,6611	0,6392	-0,2987	-0,1075
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,7812	0,5678	0,3215	0,3045	0,5557	0,7235	0,1528	0,1717	0,5653	0,8394
LOG TPA C	0,1331	0,2796	0,4989	0,5161	-0,2855	-0,1663	0,645	0,6237	-0,3207	-0,1305
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,8016	0,5915	0,3138	0,2946	0,5834	0,7528	0,1666	0,1857	0,5355	0,8054
TPA A	-0,6704	-0,5822	0,6934	0,6625	0,5329	0,5817	-0,2904	-0,286	-0,5795	-0,6424
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,1451	0,2254	0,1266	0,1516	0,2763	0,2259	0,5766	0,5828	0,2281	0,1689
LOG TPA A	0,686	0,6	-0,7081	-0,6847	-0,5449	-0,5976	0,2757	0,2688	0,6309	0,6924
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,1324	0,208	0,1153	0,1335	0,2636	0,2103	0,597	0,6065	0,1793	0,1274
TPA S	0,5253	0,6625	0,03	0,014	-0,7302	-0,6504	0,8968	0,8851	0,2991	0,4375
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,2846	0,1516	0,955	0,979	0,0994	0,162	0,0154	0,019	0,5648	0,3856
LOG TPA S	0,5467	0,681	0,0106	-0,0055	-0,7452	-0,6662	0,9081	0,8974	0,3167	0,4539
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,2616	0,1364	0,9841	0,9917	0,0891	0,1486	0,0123	0,0153	0,5408	0,3659
TPA G	0,9363	0,9122	-0,8122	-0,8268	-0,9395	-0,9717	0,7083	0,716	0,9618	0,9914
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,006	0,0112	0,0496	0,0424	0,0054	0,0012	0,1152	0,1095	0,0022	0,0001
LOG TPA G	0,9497	0,9567	-0,6894	-0,7036	-0,9705	-0,9799	0,797	0,7958	0,8942	0,9704
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,0037	0,0028	0,1297	0,1187	0,0013	0,0006	0,0576	0,0583	0,0162	0,0013

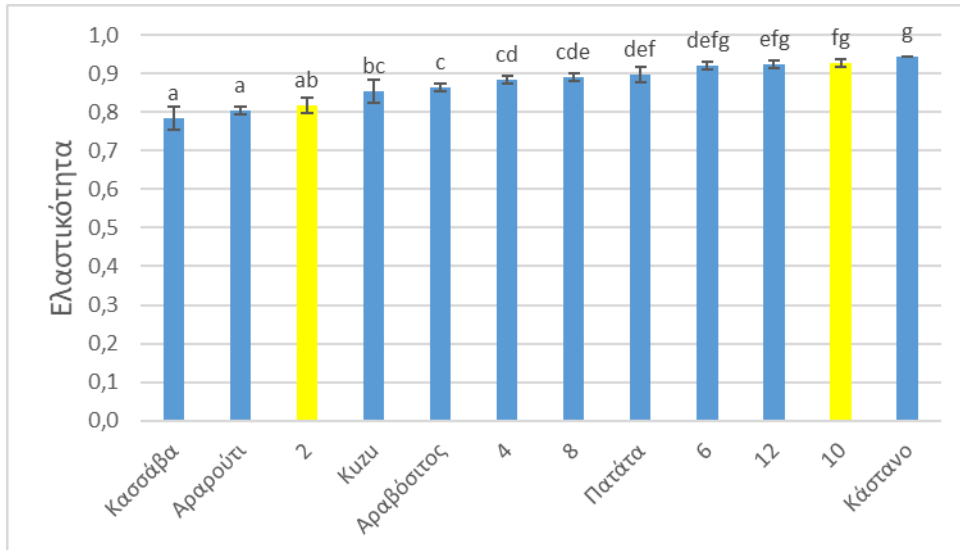
	TPA C	LOG TPA C	TPA A	LOG TPA A	TPA S	LOG TPA S	TPA G	LOG TPA G
S H	0,1469	0,1331	-0,6704	0,686	0,5253	0,5467	0,9363	0,9497
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,7812	0,8016	0,1451	0,1324	0,2846	0,2616	0,006	0,0037
LOG S H	0,2969	0,2796	-0,5822	0,6	0,6625	0,681	0,9122	0,9567
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,5678	0,5915	0,2254	0,208	0,1516	0,1364	0,0112	0,0028
S C	0,492	0,4989	0,6934	-0,7081	0,03	0,0106	-0,8122	-0,6894
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,3215	0,3138	0,1266	0,1153	0,955	0,9841	0,0496	0,1297
LOG S C	0,5071	0,5161	0,6625	-0,6847	0,014	-0,0055	-0,8268	-0,7036
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,3045	0,2946	0,1516	0,1335	0,979	0,9917	0,0424	0,1187
S A	-0,3058	-0,2855	0,5329	-0,5449	-0,7302	-0,7452	-0,9395	-0,9705
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,5557	0,5834	0,2763	0,2636	0,0994	0,0891	0,0054	0,0013
LOG S A	-0,1865	-0,1663	0,5817	-0,5976	-0,6504	-0,6662	-0,9717	-0,9799
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,7235	0,7528	0,2259	0,2103	0,162	0,1486	0,0012	0,0006
S S	0,6611	0,645	-0,2904	0,2757	0,8968	0,9081	0,7083	0,797
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,1528	0,1666	0,5766	0,597	0,0154	0,0123	0,1152	0,0576
LOG S S	0,6392	0,6237	-0,286	0,2688	0,8851	0,8974	0,716	0,7958
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,1717	0,1857	0,5828	0,6065	0,019	0,0153	0,1095	0,0583
TPA H	-0,2987	-0,3207	-0,5795	0,6309	0,2991	0,3167	0,9618	0,8942
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,5653	0,5355	0,2281	0,1793	0,5648	0,5408	0,0022	0,0162
LOG TPA H	-0,1075	-0,1305	-0,6424	0,6924	0,4375	0,4539	0,9914	0,9704
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,8394	0,8054	0,1689	0,1274	0,3856	0,3659	0,0001	0,0013
TPA C		0,9991	0,1396	-0,1924	0,7493	0,7441	-0,0337	0,1358
# samples		-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value		0	0,7919	0,715	0,0864	0,0899	0,9495	0,7976
LOG TPA C	0,9991		0,1317	-0,1886	0,7244	0,7193	-0,0557	0,1127
# samples	-6		-6	-6	-6	-6	-6	-6
p value	0		0,8035	0,7205	0,1035	0,1071	0,9165	0,8317
TPA A	0,1396	0,1317		-0,9916	0,0781	0,0612	-0,6165	-0,6074
# samples	-6	-6		-6	-6	-6	-6	-6
p value	0,7919	0,8035		0,0001	0,8831	0,9083	0,1924	0,201
LOG TPA A	-0,1924	-0,1886	-0,9916		-0,0739	-0,0575	0,6537	0,6446
# samples	-6	-6	-6		-6	-6	-6	-6
p value	0,715	0,7205	0,0001		0,8894	0,9138	0,1592	0,167
TPA S	0,7493	0,7244	0,0781	-0,0739		0,9996	0,5032	0,6171
# samples	-6	-6	-6	-6		-6	-6	-6
p value	0,0864	0,1035	0,8831	0,8894		0	0,3089	0,1918
LOG TPA S	0,7441	0,7193	0,0612	-0,0575	0,9996		0,5202	0,6321
# samples	-6	-6	-6	-6	-6		-6	-6
p value	0,0899	0,1071	0,9083	0,9138	0		0,2901	0,1781
TPA G	-0,0337	-0,0557	-0,6165	0,6537	0,5032	0,5202		0,9792
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6		-6
p value	0,9495	0,9165	0,1924	0,1592	0,3089	0,2901		0,0006
LOG TPA G	0,1358	0,1127	-0,6074	0,6446	0,6171	0,6321	0,9792	
# samples	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	
p value	0,7976	0,8317	0,201	0,167	0,1918	0,1781	0,0006	



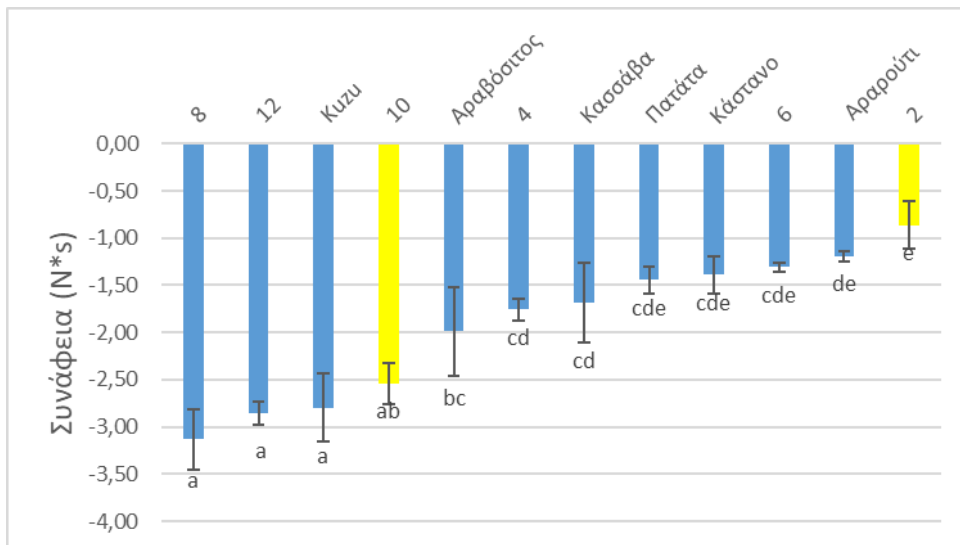
Διάγραμμα 27: Σκληρότητα για τη δημιουργία των δειγμάτων αναφοράς της οργανοληπτικής αξιολόγησης



Διάγραμμα 28: Συνεκτικότητα για τη δημιουργία των δειγμάτων αναφοράς της οργανοληπτικής αξιολόγησης



Διάγραμμα 29: Ελαστικότητα για τη δημιουργία των δειγμάτων αναφοράς της οργανοληπτικής αξιολόγησης



Διάγραμμα 30: Συνάφεια για τη δημιουργία των δειγμάτων αναφοράς της οργανοληπτικής αξιολόγησης

5.2 Ερωτηματολόγιο διαλογής δοκιμαστών

* Required

1. Πώς ονομάζεστε; *

2. Ποιός είναι ο κωδικός σας στο panel; *

3. Φύλο: *

Mark only one oval.

Γυναίκα

Άνδρας

4. Ποία είναι η ηλικία σας; *

Mark only one oval.

18-25

25-35

35-45

45-55

55-65

5. Ποίο είναι το "καλό" σας χέρι: *

Mark only one oval.

Δεξί

Αριστερό

6. Μήπως υπάρχει κάποιος τραυματισμός στα χέρια- δάχτυλα σας που επηρεάζει την αίσθηση της αφής (κόψιμο, κάψιμο, μελανιά ή άλλο); *

Mark only one oval.

Ναι

Όχι

5.3 Ερωτηματολόγιο οργανοληπτικής αξιολόγησης

- Συγκρίνεται τα δείγματα της πρώτης σειράς μεταξύ τους και σημειώστε τους κωδικούς τους με σειρά από το περισσότερο διαφανή προς το λιγότερο διαφανή.
- ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ
Ορισμός: Η δύναμη που απαιτείται για την πίεση του δείγματος.
Οδηγίες: Συμπιέστε το προϊόν μεταξύ του αντίχειρα και του δείκτη σας.
- ΣΥΝΑΦΕΙΑ:
Ορισμός: Η ποσότητα του δείγματος που κολλάει στα δάχτυλα σας κατά την εφαρμογή απαλής πίεσης ανάμεσα στον αντίχειρα και το δείκτη όταν μετράτε τη σκληρότητα.
Οδηγίες: Συμπιέστε το προϊόν μεταξύ του αντίχειρα και του δείκτη.
- ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ:
Ορισμός: Η ταχύτητα ανάκτησης από την παραμόρφωση του προϊόν μετά την αφαίρεση της δύναμης παραμόρφωσης.
Οδηγίες: Πόσο το δείγμα επανέρχεται στο αρχικό του ύψος κατά την αφαίρεση της πίεσης που ασκούν τα δάχτυλά σας .
- ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ:
Ορισμός: Ο βαθμός στον οποίο μια ουσία μπορεί να παραμορφωθεί πριν σπάσει.
Οδηγίες: Τραβήξτε το δείγμα για να διαχωριστεί εντελώς.
(Nagarabha & Bhattacharya, 2015)

6 Βιβλιογραφία

- Alcázar-Alay, S. C., & Meireles, M. A. A. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. In *Food Science and Technology* (Vol. 35). scielo .
- Andersson, Y., Drake, B., Granquist, A., Halldin, L., Johansson, B., Pangborn, R. M., & Åkesson, C. (1973). Fracture Force, Hardness And Brittleness In Crisp Bread, With A Generalized Regression Analysis Approach To Instrumental-Sensory Comparisons. *Journal of Texture Studies*, 4(1), 119–144.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1973.tb00658.x>
- AOAC. (2007). *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL (22) 18th Ed., AOAC INTERNATIONAL, Gaithersburg, MD, USA, Official Method 925.10.*
- ASTM. (2021). *ASTM Volume 14.03: Sensory Evaluation; Temperature Measurement; Language Services And Products* (pp. 1142–1158).
- Batchelor, S. E., Booth, E. J., Entwistle, G., Walker, K. C., Morrison, I., Mackay, G., Rees, T. A., & Hacking, A. (1996). Industrial Markets for UK-grown Starch. *Outlook on Agriculture*, 25(1), 43–48.
<https://doi.org/10.1177/003072709602500108>
- BeMiller, J. N. (2019). *6 - Starches: Molecular and Granular Structures and Properties* (J. N. B. T.-C. C. for F. S. (Third E. BeMiller (ed.); pp. 159–189). AACC International Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812069-9.00006-6>
- BeMiller, J. N., & Whistler, R. L. (2009). Chapter 20: Starch Use in Foods. In *Starch: chemistry and technology* (3rd ed., p. 749). Academic Press.
- Bertoft, E., & Blennow, A. (2016). *Chapter 3 - Structure of Potato Starch* (J. Singh & L. B. T.-A. in P. C. and T. (Second E. Kaur (eds.); pp. 57–73). Academic Press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800002-1.00003-0>
- Biduski, B., Silva, W. M. F. da, Colussi, R., Halal, S. L. de M. El, Lim, L.-T., Dias, Á. R. G., & Zavareze, E. da R. (2018). Starch hydrogels: The influence of the amylose content and gelatinization method. *International Journal of Biological Macromolecules*, 113, 443–449.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.02.144>

- Borges, O., Gonçalves, B., de Carvalho, J. L. S., Correia, P., & Silva, A. P. (2008). Nutritional quality of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) cultivars from Portugal. *Food Chemistry*, *106*(3), 976–984. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.011>
- Bourne, M. C. (2002a). Body-Texture Interactions. *Food Texture and Viscosity*, 33–57. <https://doi.org/10.1016/b978-012119062-0/50002-4>
- Bourne, M. C. (2002b). Chapter 4 - Principles of Objective Texture Measurement. In M. C. B. T.-F. T. and V. (Second E. Bourne (Ed.), *Food Science and Technology* (pp. 107–188). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012119062-0/50004-8>
- Bourne, M. C. (2002c). Practice of Objective Texture Measurement. *Food Texture and Viscosity, 1961*, 189–233. <https://doi.org/10.1016/b978-012119062-0/50005-x>
- Bourne, M. C. (2002d). Practice of Objective Texture Measurement. In *Food Texture and Viscosity* (pp. 189–233). <https://doi.org/10.1016/b978-012119062-0/50005-x>
- Bourne, M. C. (2002e). Sensory Methods of Texture and Viscosity Measurement. In *Food Texture and Viscosity* (pp. 257–291). <https://doi.org/10.1016/b978-012119062-0/50007-3>
- Bourne, M. C. (1968). Texture Profile of Ripening Pears. *Journal of Food Science*, *33*(2), 223–226. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1968.tb01354.x>
- Brenner, T., & Nishinari, K. (2014). A Note on Instrumental Measures of Adhesiveness and Their Correlation with Sensory Perception. *Journal of Texture Studies*, *45*(1), 74–79. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jtxs.12050>
- Breuninger, W. F., Piyachomkwan, K., & Sriroth, K. (2009). Tapioca/Cassava Starch: Production and Use. In *Starch* (Third Edit). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00012-4>
- Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., & Tang, M. (2009). Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*, *23*, 1527–1534. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.09.016>
- Corbishley, D. a, & Miller, W. (1984). Chapter Xiii - Tapioca, Arrowroot, And Sago Starches: Production. In R. O. Y. L. Whistler, J. N. Bemiller, & E. F. B. T.-S. C. and

- T. (Second E. Paschall (Eds.), *Food Science and Technology* (pp. 469–478). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746270-7.50019-7>
- Cornejo, Y., Martínez-Cruz, O., Toro-Sánchez, C., Wong Corral, F., Borboa-Flores, J., & Cinco-Moroyoqui, F. (2018). The structural characteristics of starches and their functional properties. *CyTA - Journal of Food*, *16*, 1003–1017. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1518343>
- Correia, P., & Beirão-da-Costa, M. L. (2012). Effect of drying temperatures on starch-related functional and thermal properties of chestnut flours. *Food and Bioproducts Processing*, *90*(2), 284–294. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.06.008>
- Correia, P. R., & Beirão-da-Costa, M. L. (2010). Chestnut and acorn starch properties affected by isolation methods. *Starch - Stärke*, *62*(8), 421–428. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/star.201000003>
- Correia, P. R., & Beirão-da-Costa, M. L. (2012). Starch isolation from chestnut and acorn flours through alkaline and enzymatic methods. *Food and Bioproducts Processing*, *90*(2), 309–316. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.06.005>
- Côté, C., Germain, I., Dufresne, T., & Gagnon, C. (2019). Comparison of two methods to categorize thickened liquids for dysphagia management in a clinical care setting context: The Bostwick consistometer and the IDDSI Flow Test. Are we talking about the same concept? *Journal of Texture Studies*, *50*(2), 95–103. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12377>
- Cruz, B. R., Abraão, A. S., Lemos, A. M., & Nunes, F. M. (2013). Chemical composition and functional properties of native chestnut starch (*Castanea sativa* Mill). *Carbohydrate Polymers*, *94*(1), 594–602. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.12.060>
- Drake, M. A., Gerard, P. D., & Civille, G. V. (1999). Ability Of Hand Evaluation Versus Mouth Evaluation To Differentiate Texture Of Cheese. *Journal of Sensory Studies*, *14*(4), 425–441. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.1999.tb00126.x>
- Du, X., Jia, J., Xu, S., & Zhou, Y. (2007). Molecular Structure of Starch from *Pueraria*

- lobata (Willd.) Ohwi Relative to Kuzu Starch. *Starch - Stärke*, 59(12), 609–613.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/star.200700604>
- Eckhoff, S. R., & Watson, S. A. (2009). Corn and Sorghum Starches: Production. In *Starch* (Third Edit). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00009-4>
- El Halal, S. L. M., Kringel, D. H., Zavareze, E. da R., & Dias, A. R. G. (2019). Methods for Extracting Cereal Starches from Different Sources: A Review. *Starch - Stärke*, 71(11–12), 1900128. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/star.201900128>
- Erdman, M. D., & Erdman, B. A. (1984). Arrowroot (*Maranta arundinacea*), food, feed, fuel, and fiber resource. *Economic Botany*, 38(3), 332–341.
<https://doi.org/10.1007/BF02859011>
- Gould Wilbur A. (1983). *Tomato Production Processing and Quality Evaluation* (2nd ed). VI Pub. Co., Westport, Conn.
- Grawemeyer, E. A., & Pfund, M. C. (1943). Line-Spread As An Objective Test For Consistency. *Journal of Food Science*, 8(2), 105–108.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1943.tb16550.x>
- Grommers, H. E., & van der Krogt, D. A. (2009a). Chapter 11 - Potato Starch: Production, Modifications and Uses. In J. BeMiller & R. B. T.-S. (Third E. Whistler (Eds.), *Food Science and Technology* (pp. 511–539). Academic Press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00011-2>
- Grommers, H. E., & van der Krogt, D. A. (2009b). *Potato Starch: Production, Modifications and Uses*.
- Ismail, H., Irani, M., & Ahmad, Z. (2013). Starch-Based Hydrogels: Present Status and Applications. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 62, 411–420. <https://doi.org/10.1080/00914037.2012.719141>
- Jacobson, M. R., Obanni, M., & Bemiller, J. N. (1997). Retrogradation of Starches from Different Botanical Sources. *Cereal Chemistry*, 74(5), 511–518.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1094/CCHEM.1997.74.5.511>
- Jane, M. G., Edgar, C., & Kelsey, C. (2018). Visualizing the Consistency of Thickened Liquids With Simple Tools: Implications for Clinical Practice. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 27(1), 270–277.
https://doi.org/10.1044/2017_AJSLP-16-0160

- Jóźwiak, B., Orczykowska, M., & Dziubiński, M. (2016). Rheological behavior of kuzu starch pastes. *Starch/Staerke*, *68*(1–2), 119–130.
<https://doi.org/10.1002/star.201500196>
- Keung, W. M., & Vallee, B. L. (1998). Kudzu root: An ancient chinese source of modern antidipsotropic agents. *Phytochemistry*, *47*(4), 499–506.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(97\)00723-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0031-9422(97)00723-1)
- Kringel, D. H., El Halal, S. L. M., Zavareze, E. da R., & Dias, A. R. G. (2020). Methods for the Extraction of Roots, Tubers, Pulses, Pseudocereals, and Other Unconventional Starches Sources: A Review. *Starch - Stärke*, *72*(11–12), 1900234. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/star.201900234>
- Lawless, H., & Heymann, H. (2010). Descriptive Analysis. In *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices* (pp. 227–257). https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5_10
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010a). *Color and Appearance BT - Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices* (H. T. Lawless & H. Heymann (eds.); pp. 283–301). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5_12
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010b). *Introduction BT - Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices* (H. T. Lawless & H. Heymann (eds.); pp. 1–18). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5_1
- Li, S., Zhang, Y., Wei, Y., Zhang, W., & Zhang, B. (2014). Thermal, pasting and gel textural properties of commercial starches from different botanical sources. *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*, *4*(4), 1. <https://doi.org/10.4172/2155-9821.1000161>
- Lindeboom, N., Chang, P. R., & Tyler, R. T. (2004). Analytical, Biochemical and Physicochemical Aspects of Starch Granule Size, with Emphasis on Small Granule Starches: A Review. *Starch - Stärke*, *56*(3–4), 89–99.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/star.200300218>
- Liu, R., Xing, Y., Zhang, Y., Zhang, B., Jiang, X., & Wei, Y. (2015). Effect of mixing time on the structural characteristics of noodle dough under vacuum. *Food Chemistry*, *188*, 328–336.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.045>

- Mandala, I. G. (2012). Viscoelastic properties of starch and non-starch thickeners in simple mixtures or model food. *Viscoelasticity: From Theory to Biological Applications*. InTech. England. Pp, 217–236.
- Mangelsdorf, P. C., Macneish, R. S., & Galinat, W. C. (1964). Domestication of Corn. *Science (New York, N.Y.)*, 143(3606), 538–545.
<https://doi.org/10.1126/science.143.3606.538>
- Mason, W. R. (2009). Starch Use in Foods. In *Starch* (Third Edit). Elsevier Inc.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00020-3>
- Mccarthy, K. L., & Seymour, J. D. (1993). A Fundamental Approach For The Relationship Between The Bostwick Measurement And Newtonian Fluid Viscosity. *Journal of Texture Studies*, 24(1), 1–10.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1993.tb01273.x>
- Meullenet, J., LYON, B. G., Carpenter, J., & LYON, C. E. (1998). Relation between sensory and instrumental texture profile attributes. *Journal of Sensory Studies*, 13. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.1998.tb00076.x>
- Mishra, S., & Rai, T. (2006). Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food Hydrocolloids*, 20(5), 557–566.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.01.001>
- Mitich, L. W. (2000). Kudzu [*Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi]. *Weed Technology*, 14(1), 231–235. [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2000\)014\[0231:KPLWO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2000)014[0231:KPLWO]2.0.CO;2)
- Montejano, J. G., Hamann, D. D., & Lanier, T. C. (1985). Comparison Of Two Instrumental Methods With Sensory Texture Of Protein Gels2. *Journal of Texture Studies*, 16(4), 403–424.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1985.tb00705.x>
- Moorthy, S. N. (2002). Physicochemical and Functional Properties of Tropical Tuber Starches: A Review. *Starch - Stärke*, 54(12), 559–592.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1002/1521-379X\(200212\)54:12<559::AID-STAR2222559>3.0.CO;2-F](https://doi.org/https://doi.org/10.1002/1521-379X(200212)54:12<559::AID-STAR2222559>3.0.CO;2-F)
- Mua, J. P., & Jackson, D. S. (1997). Relationships between Functional Attributes and Molecular Structures of Amylose and Amylopectin Fractions from Corn Starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(10), 3848–3854.
<https://doi.org/10.1021/jf9608783>

- Nagaprabha, P., & Bhattacharya, S. (2015). Effect of Concentration and Cations on Texture of Green Gram (*Vigna radiata* L.) Gels. *International Journal of Food Properties*, *18*(9), 1865–1875. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.877027>
- Nogueira, G. F., Fakhouri, F. M., & de Oliveira, R. A. (2018). Extraction and characterization of arrowroot (*Maranta arundinaceae* L.) starch and its application in edible films. *Carbohydrate Polymers*, *186*, 64–72. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.024>
- Odeku, O. A. (2013). Potentials of tropical starches as pharmaceutical excipients: A review. *Starch - Stärke*, *65*(1–2), 89–106. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/star.201200076>
- Peleg, M. (1976). Texture Profile Analysis Parameters Obtained By An Instron Universal Testing Machine. *Journal of Food Science*, *41*(3), 721–722. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1976.tb00710_41_3.x
- Peleg, M. (1980). A Note On The Sensitivity Of Fingers, Tongue And Jaws As Mechanical Testing Instruments. *Journal of Texture Studies*, *10*(3), 245–251. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1980.tb00250.x>
- Peleg, Micha. (2019). The instrumental texture profile analysis revisited. *Journal of Texture Studies*, *50*(5), 362–368. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jtxs.12392>
- Reiner, M., & Scott Blair, G. W. (1967). *Chapter 9 - Rheological Terminology* (F. R. B. T.-R. EIRICH (ed.); pp. 461–488). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-4832-2941-6.50015-5>
- Remsen, C. H., & Clark, J. P. (1978). A Viscosity Model For A Cooking Dough¹. *Journal of Food Process Engineering*, *2*(1), 39–64. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.1978.tb00194.x>
- Roby, J. F. (1998). *Polysaccharides I BT - Essentials of Carbohydrate Chemistry* (J. F. Roby (ed.); pp. 157–227). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1622-3_6
- Roby, J. F. (2008). *Starch: Structure, Properties, Chemistry, and Enzymology BT - Glycoscience: Chemistry and Chemical Biology* (B. O. Fraser-Reid, K. Tatsuta, & J. Thiem (eds.); pp. 1437–1472). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-30429-6_35

- Röper, H., Anthony, K. R. M., Meadley, J., & Röbbelen, G. (1993). Industrial products from starch, recent developments, potential applications and future perspectives. *New Crops for Temperate Regions.* Eds Antony KRM, Meadley J and Röbbelen, Chapman and Hall, London, 157–167.
- Schiffman, S. (1977). Food recognition by the elderly. *Journal of Gerontology*, 32(5), 586–592. <https://doi.org/10.1093/geronj/32.5.586>
- Schmiele, M., Sampaio, U. M., & Pedrosa Silva Clerici, M. T. (2019). *Chapter 1 - Basic Principles: Composition and Properties of Starch* (M. T. P. Silva Clerici & M. B. T.-S. for F. A. Schmiele (eds.); pp. 1–22). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809440-2.00001-0>
- Stone, H., & Sidel, J. L. (2004). 1 - Introduction to Sensory Evaluation. In H. Stone & J. L. B. T.-S. E. P. (Third E. Sidel (Eds.), *Food Science and Technology* (pp. 1–19). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012672690-9/50005-6>
- Szczesniak, A. S. (1972). Consumer Awareness Of And Attitudes To Food Texture II. Children and Teenagers. *Journal of Texture Studies*, 3(2), 206–217. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1972.tb00624.x>
- Szczesniak, Alina S, & Kahn, E. L. (1971). Consumer Awareness Of And Attitudes To Food Texture: I: Adults. *Journal of Texture Studies*, 2(3), 280–295. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1971.tb01005.x>
- Szczesniak, Alina Surmacka. (1973). *Instrumental Methods of Texture Measurements BT - Texture Measurements of Foods: Psychophysical Fundamentals: Sensory, Mechanical, and Chemical Procedures, and their Interrelationships* (A. Kramer & A. S. Szczesniak (eds.); pp. 71–108). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-010-2562-1_6
- Szczesniak, Alina Surmacka. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4), 215–225. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00039-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8)
- Taggart, P., & Eliasson, A. C. (2004). 12 – *Starch as an ingredient: manufacture and applications.*
- Van Hung, P., & Morita, N. (2007). Chemical compositions, fine structure and physicochemical properties of kudzu (*Pueraria lobata*) starches from different

- regions. *Food Chemistry*, 105(2), 749–755.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.023>
- Voisey, P. W., & Cr ete, R. (1973). A Technique For Establishing Instrumental Conditions For Measuring Food Firmness To Simulate Consumer Evaluations*. *Journal of Texture Studies*, 4(3), 371–377.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1973.tb00849.x>
- Weatherwax, P. (1935). The Phylogeny of Zea Mays. *The American Midland Naturalist*, 16(1), 1–71. <https://doi.org/10.2307/2419876>
- Wee, M. S. M., Goh, A. T., Stieger, M., & Forde, C. G. (2018). Correlation of instrumental texture properties from textural profile analysis (TPA) with eating behaviours and macronutrient composition for a wide range of solid foods. *Food & Function*, 9(10), 5301–5312. <https://doi.org/10.1039/C8FO00791H>
- Willard, M. (1993). Potato processing: Past, present and future. *American Potato Journal*, 70(5), 405–418. <https://doi.org/10.1007/BF02849120>
- Yoo, S.-H., & Jane, J.-L. (2002). Structural and physical properties of waxy and other wheat starches. *Carbohydrate Polymers*, 49, 297–305.
[https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(01\)00338-1](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00338-1)
- Zhao, Y., Zhu, X., & Fang, Y. (2021). Structure, properties and applications of kudzu starch. *Food Hydrocolloids*, 119, 106817.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106817>
- Zhu, F. (2017). Properties and Food Uses of Chestnut Flour and Starch. *Food and Bioprocess Technology*, 10(7), 1173–1191. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1909-0>
- Θεριός, Ι.Ν. και Δημάση-Θεριού, Κ. (2013). *Ειδική Δενδροκομία: Φυλλοβόλα Οπωροφόρα Δένδρα*. Εκδ. Άγιος-Σάββας Δ. Γαρτάνης.
- Καραμάνος, Α. Ι. (1999). *Τα σιτηρά των θερμών κλιμάτων: αραβόσιτος, σόργο, ρύζι, κεχρί*. Παπαζήσης.
- Ολύμπιος, Χ. Μ. (2015). *Η τεχνική της καλλιέργειας των υπαίθριων κηπευτικών* (Α. Σταμούλης (ed.)). Αθ.Σταμούλης.
- Σαρλής, Γ. Π. (1999). *Συστηματική βοτανική: εφαρμογές κορμοφύτων* (Σταμούλης, Σ. Αθ., Σ. Α. Δ., & Α. Σταμούλης (eds.)). Αθ. Σταμούλης. <http://www.stamoulis.gr>