



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

**«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΚΟΛΛΟΕΙΔΩΝ ΣΤΗ ΣΤΟΜΑΤΙΚΗ
ΑΙΣΘΗΣΗ ΤΟΥ ΠΑΧΥΡΕΥΣΤΟΥ»**

ΘΕΟΧΑΡΙΔΟΥ ΑΘΗΝΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΤΗΣ: ΡΙΤΖΟΥΛΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2019

Ευχαριστίες

Η παρούσα έρευνα αποτελεί διπλωματική εργασία στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος «Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας και Οργάνωσης Παραγωγής στη Βιομηχανία Τροφίμων». Με την ολοκλήρωση της θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνηση της.

Αρχικά, ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Χρήστο Ριτζούλη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου το θέμα της παρούσας εργασίας και για την πολύτιμη βοήθεια του σε κάθε στάδιο της εκπόνησης της. Επιπλέον, θέλω να ευχαριστήσω τον κύριο Δημήτριο Πετρίδη που μου παρείχε τα απαραίτητα εφόδια τόσο στα μαθήματα του όσο και στη συνέχεια για να πραγματοποιηθεί σωστά η οργανοληπτική δοκιμή και η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων και τον κύριο Mehraj Ahmad του τμήματος School of Food Science and Biotechnology του πανεπιστημίου Zhejiang Gongshang University, στην Κίνα για την εκπόνηση και παροχή των ρεολογικών αποτελεσμάτων για το κόμμι γκουάρ. Στη συνέχεια, θέλω να ευχαριστήσω την προπτυχιακή φοιτήτρια Αμπού Χάντας Βασιλική για την βοήθεια της κατά την προετοιμασία των οργανοληπτικών δοκιμών.

Τέλος, τις ευχαριστίες μου εκφράζω και στον κύριο Αθανάσιο Γούλα ο οποίος μαζί με τον κύριο Δημήτριο Πετρίδη δέχτηκαν να είναι μέλη της τριμελούς επιτροπής αξιολόγησης της μεταπτυχιακής εργασίας.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	2
Περίληψη	6
Abstract.....	7
Εισαγωγή	8
1. Πυκνωτικά μέσα και σταθεροποιητές.....	10
1.1 Τα υδροκολλοειδή ως πυκνωτικά μέσα	10
1.1.1 Κόμμι Γκουάρ.....	10
1.1.2 Άμυλο.....	12
1.2 Χρήση μονογλυκεριδίων ως επιφανειοδραστική ουσία.....	13
2. Ρεολογία διαλυμάτων	14
2.1 Τύποι ρεολογικής συμπεριφοράς	14
2.2 Ρεολογία διασπορών πολυσακχαριτών	17
2.3 Μέτρηση ιξώδους.....	18
2.3.1 Ιξωδόμετρο Brookfield	18
2.4 Τύποι ροής στη στοματική κοιλότητα.....	18
3. Οργανοληπτικός έλεγχος	20
3.1 Οργάνωση και υλοποίηση οργανοληπτικού ελέγχου.....	20
3.2 Επιλογή καταλληλότερης μεθόδου	22
4. Σκοπός.....	25
5. Υλικά και μέθοδοι.....	26
5.1 Ρεολογική δοκιμή.....	26
5.2 Οργανοληπτική δοκιμή	28
5.3 Στατιστική επεξεργασία	31
6. Αποτελέσματα και συζήτηση.....	32
6.1 Διαλύματα τροποποιημένου αμύλου.....	32

6.2 Διαλύματα κόμμεος γκουάρ.....	37
Συμπεράσματα	47
Βιβλιογραφία	48
Παράρτημα.....	51

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1: Χημική δομή μορίου κόμμεος γκουάρ.....	11
Εικόνα 2: ροή ανάμεσα σε δύο πλάκες.....	15
Εικόνα 3: Παράγοντες επιλογής μεθόδου.....	23
Εικόνα 4: Επίδραση της συγκέντρωσης τροποποιημένου αμύλου στην αίσθηση του παχύρευστου και στην ευκολία κατάποσης. Οι κάθετες ευθείες παριστούν τα 95% όρια εμπιστοσύνης των μέσων όρων με βάση υπολογισμού το σφάλμα EMS της ανάλυσης διακύμανσης.....	33
Εικόνα 5: Μονοδιάσταση κλίμακα μεταβολής παχύρευστου διαλυμάτων αμύλου παρουσία και απουσία μονογλυκεριδίων	34
Εικόνα 6: Κατανομή του τυπικού βαθμού αξιολόγησης του παχύρευστου ανά διάλυμα αμύλου διαφορετικής συγκέντρωσης παρουσία και απουσία μονογλυκεριδίων.....	35
Εικόνα 7: Ποσοστιαία κατανομή των αποκρίσεων B-W των δοκιμαστών ως προς το παχύρευστο των διαλυμάτων αμύλου	35
Εικόνα 8: Διάγραμμα διατμητικού ιξώδους διαλυμάτων αμύλου 3 g dL ⁻¹	36
Εικόνα 9: Διάγραμμα διατμητικού ιξώδους διαλυμάτων αμύλου 6 g dL ⁻¹	36
Εικόνα 10: Επίδραση της συγκέντρωσης κόμμεος γκουάρ στην αίσθηση του παχύρευστου και στην ευκολία κατάποσης. Οι κάθετες ευθείες παριστούν τα 95% όρια εμπιστοσύνης των μέσων όρων με βάση υπολογισμού το σφάλμα EMS της ανάλυσης διακύμανσης.....	38
Εικόνα 11: Μονοδιάσταση κλίμακα μεταβολής παχύρευστου διαλυμάτων κόμμεος γκουάρ παρουσία και απουσία μονογλυκεριδίων	39
Εικόνα 12: Κατανομή του τυπικού βαθμού αξιολόγησης του παχύρευστου ανά διάλυμα κόμμεος γκουάρ διαφορετικής συγκέντρωσης παρουσία και απουσία μονογλυκεριδίων.....	40
Εικόνα 13: Ποσοστιαία κατανομή των αποκρίσεων B-W των δοκιμαστών ως προς το παχύρευστο των διαλυμάτων κόμμεος γκουάρ.....	40
Εικόνα 14: Διάγραμμα διατμητικού ιξώδους διαλυμάτων κόμμεος γκουάρ σε 20, 60 και 120 λεπτά	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

Εικόνα 15: Διάγραμμα μεταβολής του ιξώδους διαλυμάτων διαφορετικής συγκέντρωσης κόμμεος γκουάρ σε συνάρτηση με τη διατμητική τάση.....	41
Εικόνα 16: Διάγραμμα μεταβολής του ιξώδους διαλυμάτων κόμμεος γκουάρ συναρτήσει της συγκέντρωσης.....	42
Εικόνα 17: Τυποποιημένες καμπύλες ροής διαλυμάτων κόμμεος γκουάρ διαφορετικής συγκέντρωσης.....	43
Εικόνα 18: Διάγραμμα μεταβολής του μέγιστου εκτατικού και διατμητικού ιξώδους σε διατμητική τάση $50s^{-1}$ ενάντια στην συγκέντρωση διαλυμάτων κόμμεος γκουάρ	44
Εικόνα 19: Διάγραμμα τιμών σχέσης Trouton και ρυθμού επιμήκυνσης σε διαλύματα κόμμεος γκουάρ.....	45

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1: Ταξινόμηση τροποποιημένων αμύλων.....	13
Πίνακας 2: Κατάταξη ρευστών ως ειδικές περιπτώσεις του μοντέλου Herschel-Bulkley	15
Πίνακας 3: Δείγματα οργανοληπτικού ελέγχου.....	28
Πίνακας 4: Οργανοληπτικό σχέδιο μεταχειρίσεων κόμμεος γκουάρ	29
Πίνακας 5: Επαναληπτικό οργανοληπτικό σχέδιο μεταχειρίσεων κόμμεος γκουάρ.....	29
Πίνακας 6: Οργανοληπτικό σχέδιο μεταχειρίσεων αμύλου	30
Πίνακας 7: Επαναληπτικό οργανοληπτικό σχέδιο μεταχειρίσεων αμύλου	30
Πίνακας 8: Αξιολόγηση διαλυμάτων αμύλου ως προς το παχύρευστο	34
Πίνακας 9: Αξιολόγηση διαλυμάτων κόμμεος γκουάρ ως προς το παχύρευστο.....	39

Περίληψη

Η παρούσα εργασία μελετά τη επιρροή της προσθήκης τασιενεργών στο διατμητικό ιξώδες, την οργανοληπτική αίσθηση του παχύρευστου στο στόμα και την ευκολία κατάποσης διασπορών κόμμεος γκουάρ και τροποποιημένου αμύλου και στη συνέχεια, συσχετίζει τα οργανοληπτικά δεδομένα του κόμμεος γκουάρ με τις διατμητικές και εκτατικές ρεολογικές ιδιότητές του. Η αίσθηση του παχύρευστου στο στόμα αυξάνει με τον δεκαδικό λογάριθμο του εκτατικού ιξώδους. Η ευκολία κατάποσης συνδέεται με την αναλογία Trouton και αυξάνεται με τον λογάριθμο του εκτατικού ιξώδους όμως σε υψηλές συγκεντρώσεις εξαρτάται κυρίως από το διατμητικό ιξώδες. Η μετάβαση του συστήματος του πολυμερούς σε ημι-αραιό προκαλεί σημαντική αλλαγή στον λόγο Trouton ο οποίος πάνω από το c^* παίρνει τιμές κοντά στο 1 που συνεπάγεται την εξίσωση μεταξύ διατμητικού και εκτατικού ιξώδους. Η μελέτη αυτή καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η προσθήκη μονογλυκεριδίων δεν επηρεάζει το ιξώδες των διαλυμάτων. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις, το εκτατικό ιξώδες είναι υπεύθυνο για την αντίληψη του παχύρευστου στο στόμα και επηρεάζει την ευκολία της κατάποσης. Ωστόσο, σε υψηλότερες συγκεντρώσεις και τα 2 ιξώδη παίζουν σημαντικό ρόλο στην ρύθμιση της ροής του πολυσακχαρίτη στο στόμα και τον φάρυγγα.

Abstract

This work studies the possible affection of monoglycerides addition into dispersions of Guar Gum or Modified Starch. Specifically, shear and extensional rheology and sensory perceived thickness of the solutions were measured. Furthermore, the connection between the easiness to swallow and the orally perceived thickness with the shear and extensional rheology of the Guar Gum dispersions was studied. The oral perception of thickness which is concentration dependent, scales with the decimal logarithm of extensional viscosity while the ease of swallowing is connected with the Trouton ratio and scales with the extensional viscosity, although in high concentrations the shear viscosity is dominant. The transition of the dispersion to the semi-dilute regime leads to a significant change of Trouton's ratio which, above c^* closes to unity. The conclusion of this study is that Monoglycerides do not change the rheological properties of the dispersions. In addition, in lower concentrations extensional viscosity is responsible for the sensory perception of thickness and swallowing however in higher concentrations the oral polysaccharide flow is affected from both extensional and shear viscosity.

Εισαγωγή

Τα μαλακά τρόφιμα είναι μια κατηγορία εμπορευμάτων που χαρακτηρίζεται από συνεκτική δομή και εύκολη κατάποση έπειτα από ελάχιστη ή καθόλου μάσηση. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν διάφορες σος, μαγιονέζες, τζελ και πάστες καθώς και διάφορα άλλα τρόφιμα. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τις χημικές τους ιδιότητες, είναι κολλοειδείς διασπορές ρευστών, ημί-ρευστων ή στερεών σωματιδίων ή μακρομοριακές ενώσεις σε εδώδιμα ρευστά όπως το νερό ή το λάδι. Μηχανικά, χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές ιξώδους ή από μια ισχυρή ισότητα μεταξύ του μέτρου αποθήκευσης (G') και του μέτρου απώλειας (G''). Η χρήση τους στην παρασκευή τροφίμων είναι συσχετισμένη με την υφή, μια ιδιότητα που βασίζεται αποκλειστικά στο ιξώδες τους. Τα τελευταία χρόνια, οι καταναλωτές αποζητούν την αφαίρεση των λιπαρών από τα τρόφιμα. Η χρήση πολυσακχαριτών σε μαλακά τρόφιμα σαν αντικαταστάτες του λίπους και ρυθμιστές της υφής είναι όλο και πιο συχνή διότι επηρεάζουν την υφή των μαλακών τροφίμων άνευ λιπαρών, έχουν χαμηλό κόστος και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ρυθμιστές της γεύσης. Τα συνηθέστερα υδροκολλοειδή που χρησιμοποιούνται είναι διάφορα κόμμεα όπως το κόμμι γκουάρ και το αραβικό κόμμι καθώς το άμυλο. Εκτός των υδροκολλοειδών, τασιενεργές ουσίες προστίθενται σε διάφορα προϊόντα λόγω της ικανότητας τους να δημιουργούν σταθερά γαλακτώματα.

Παρ' όλη την έρευνα που έχει γίνει τα τελευταία χρόνια στην ρεολογία διαλυμάτων πολυσακχαριτών, δινόταν έμφαση στην διατμητική ρεολογία ενώ οι εκτατικές τους ιδιότητες είναι εξίσου σημαντικές και ανεξάρτητες. Έχουν γίνει κάποιες έρευνες όσον αφορά το εκτατικό ιξώδες διαλυμάτων κόμμεος γκουάρ (Szopinski, Handge, Kulicke, Abetz, & Luinstra, 2016) και ξανθάνης (Hadde, Nicholson, & Cichero, 2019) όμως, ο συνδυασμός εκτατικής και διατμητικής ρεολογικής συμπεριφοράς βρίσκεται ακόμα σε πρώιμα στάδια. Πιο συγκεκριμένα, έρευνες έχουν γίνει για το κόμμι γκουάρ (Martín-Alfonso, Cuadri, Berta, Stading, 2018), το okra gum (Zhu & Mizunuma, 2017; Yuan, Ritzoulis, & Chen, 2018), την β-γλυκάνη (Yuan, Ritzoulis & Chen, 2019), το κόμμι ξανθάνης το άμυλο και το τροποποιημένο άμυλο (Hadde & Chen, 2019). Όμως, οι έρευνες αυτές αφορούν μόνο σε τιμές ιξώδους που προέρχονται από μηχανικές μετρήσεις και δεν λαμβάνουν υπ' όψιν την συμπεριφορά των διαλυμάτων αυτών κατά την επεξεργασία στο στόμα και την κατάποση με ελάχιστες μόνο εξαιρέσεις π.χ. (Murayama, Ichikawa, & Kawabata 1995).

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η γνώση που κατέχουμε για το διατμητικό ιξώδες διαλυμάτων αμύλου και κόμμεος γκουάρ είναι μεγάλη. Όμως, υπάρχει ένα κενό στην κατανόηση των σχέσεων μεταξύ του εκτατικού και του διατμητικού ιξώδους, στην επιρροή της σχέσης αυτής στην αίσθηση

του παχύρευστου στο στόμα και την διαδικασία της κατάποσης. Γεγονός που είναι σημαντικό διότι η ζήτηση της χρήσης παχυρευστοποιητών είναι όλο και πιο έντονη για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω καθώς και για την αξιοποίηση τους ως λιπαντικές ουσίες στο στόμα για ανθρώπους που υποφέρουν από ξηροστομία.

Στο πρώτο κομμάτι της έρευνας αυτής μελετάται η επίδραση της προσθήκης μονογλυκεριδίων στο ιξώδες διαλυμάτων τροποποιημένου αμύλου και κόμμεος γκουάρ. Για να υπάρξει πλήρης εικόνα του μελετώμενου ιξώδους, μετρήθηκε τόσο μηχανικά όσο και οργανοληπτικά με χρήση εκπαιδευμένου πάνελ. Στη συνέχεια, μετρήθηκε το εκτατικό ιξώδες των διαλυμάτων γκουάρ, δόθηκε μια πλήρης περιγραφή της ρεολογίας των κολλοειδών αυτών συστημάτων και έγινε προσπάθεια διασύνδεσης του μετρούμενου ιξώδους (διαμητικό και εκτατικό) με την αίσθηση του παχύρευστου κατά την διαδικασία της κατάποσης.

1. Πυκνωτικά μέσα και σταθεροποιητές

1.1 Τα υδροκολλοειδή ως πυκνωτικά μέσα

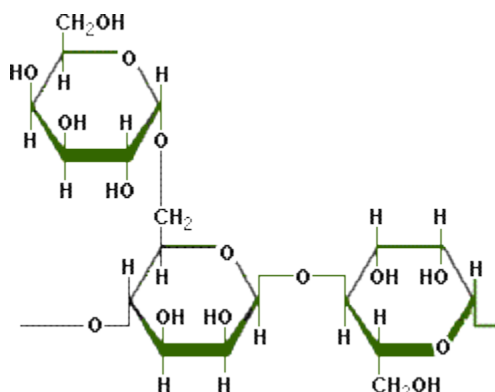
Τα υδροκολλοειδή είναι μια ετερογενής ομάδα πολυμερών μακράς αλυσίδας (πρωτεΐνες και πολυσακχαρίτες) που χαρακτηρίζονται από την ιδιότητα τους να δημιουργούν ιξώδη διαλύματα και πηκτές όταν διασκορπίζονται σε νερό. Η παρουσία μεγάλου αριθμού υδροξυλικών ομάδων αυξάνει τη συγγένεια τους με τα μόρια του νερού γεγονός που τα καθιστά υδρόφιλες ενώσεις. Επιπλέον, η διασπορά που δημιουργούν είναι μεταξύ πραγματικού διαλύματος και εναιωρήματος και παρουσιάζει ιδιότητες κολλοειδούς. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τις δύο αυτές ιδιότητες ονομάζονται υδρόφιλα κολλοειδή ή υδροκολλοειδή (Dirjyoti & Suwendu, 2010). Τα υδροκολλοειδή έχουν ένα ευρύ φάσμα λειτουργικών χρήσεων σε τρόφιμα. Για παράδειγμα αύξηση του ιξώδους, γαλακτωματοποίηση και σταθεροποίηση, αν και οι βασικές ιδιότητες για τις οποίες βρίσκουν εκτεταμένη χρήση είναι η αύξηση του ιξώδους και η ζελατινοποίηση. Τα υδροκολλοειδή διασκορπίζονται σε νερό για να δώσουν παχύρευστο αποτέλεσμα. Η έκταση της ιδιότητας αυτής ποικίλει ανάλογα με τον τύπο και τη φύση τους καθώς υπάρχουν αυτά που δίνουν χαμηλά ιξώδη σε αρκετά υψηλή συγκέντρωση και άλλα που δίνουν υψηλά ιξώδη σε συγκεντρώσεις κάτω από 1% (Glicksman, 1982).

Τα κυριότερα υδροκολλοειδή που χρησιμοποιούνται ως παράγοντες πήξης είναι το άμυλο, το τροποποιημένο άμυλο, η ξανθάνη, οι γαλακτομαννάνες όπως το κόμμι γκουάρ και το αραβικό κόμμι και άλλα. Η ικανότητα πήξης εξαρτάται από τον τύπο του υδροκολλοειδούς, τον τύπο του τροφίμου, τη συγκέντρωση, το pH και τη θερμοκρασία. (Dirjyoti et al, 2010).

1.1.1 Κόμμι Γκουάρ

Το κόμμι γκουάρ παράγεται από ένα μονοετές φυτό, ανθεκτικό στην ξηρασία που ονομάζεται *Cyamopsis tetragonoloba* και ανήκει στην οικογένεια των κυαμωειδών. Καλλιεργούταν επί χρόνια στο Πακιστάν και την Ινδία ως λαχανικό ή χρησιμοποιούταν ως ζωοτροφή. Το φυτό γκουάρ έχει ύψος περίπου 0,6 m. και μοιάζει με το φυτό σόγιας σε γενική εμφάνιση και στη χαρακτηριστική τοποθέτηση των λοβών κατά μήκος του κάθετου στελέχους. Οι λοβοί έχουν μήκος 5-12,5 cm και περιέχουν κατά μέσο όρο 5-6 στρογγυλούς, καφέ σπόρους. Κατά την επεξεργασία, οι καφέ σπόροι, μετά την απομάκρυνση τους από τους λοβούς, περνούν γρήγορα μέσα από μια φλόγα ώστε να ανοίξουν. Τα σκληρά κελύφη των σπόρων απομακρύνονται, το αποφλοιωμένο υαλοειδές

ενδροσπέρμιο διαχωρίζεται από τη φύτρα του και τα προκύπτοντα "σχισίματα" κατόπιν αλέθονται στο απαιτούμενο μέγεθος. (Chudikowski,1971).



Εικόνα 1: Χημική δομή μορίου κόμμεος γκουάρ

Το κόμμι γκουάρ είναι ένα από τα πιο οικονομικά και αποδοτικά φυσικά υδροκolloειδή λόγω της μεγάλης διαθεσιμότητάς του και της ευκολίας παραλαβής του με εκχύλιση (Cunha, de Paula, & Feitosa, 2007). Αυτός ο μακράς αλυσίδας βιοπολυμερής πολυσακχαρίτης, παρουσιάζει ημι-εύκαμπτη τυχαία σπειροειδή διαμόρφωση που αποτελείται από μια γραμμική αλυσίδα μαννάνης που φέρει πλευρικές αλυσίδες από μονά τμήματα γαλακτόζης (Imeson, 2010). Τα υδατικά του διαλύματα χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία των τροφίμων σε διάφορες συγκεντρώσεις είτε για αύξηση του ιξώδους είτε ως σταθεροποιητές. (Bourbon et al., 2010). Σε αντίθεση με τα συνθετικά πολυμερή το κόμμι γκουάρ μπορεί να δημιουργήσει διαλύματα πολύ υψηλού ιξώδους σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις (<1%) τα οποία δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε αλλαγές pH, προσθήκη ηλεκτρολυτών ή θέρμανση. Επιπλέον, ενυδατώνεται σχετικά γρήγορα σε κρύο νερό δίνοντας παχύρευστα ψευδοπλαστικά διαλύματα (Sittikijyothin et al., 2005). Η ιδιότητά του να δημιουργεί κolloειδή διαλύματα υψηλού ιξώδους οφείλεται στην ικανότητα του να σχηματίζει υπερδομές λόγω της ανάπτυξης ισχυρών διαμοριακών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των δομικών του μονάδων διότι, σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου. Η προϋπόθεση για το σχηματισμό των κolloειδών διαλυμάτων είναι η αποτελεσματική διασπορά των σωματιδίων του στο νερό. Όπως και στα περισσότερα άλλα υδροκolloειδή, τα έντονα διεσπαρμένα μόρια τείνουν να ενθυλακώνονται σε ενυδατωμένο στρώμα που εμποδίζει την περαιτέρω διεύθυνση νερού (Chudikowski,1971).

Οι γαλακτομαννάνες είναι αδιάλυτες σε υδρογονάνθρακες, λίπη, αλκοόλες, εστέρες, κετόνες και σε οργανικούς διαλύτες γενικά με ελάχιστες εξαιρέσεις. Ο μόνος σημαντικός τους διαλύτης είναι το νερό, με το οποίο - λόγω της δομής του μορίου τους - έχουν συγγένεια. Όταν τα μόρια της γαλακτομαννάνης διασκορπίζονται σε νερό, ζεστό ή κρύο, ενυδατώνονται γρήγορα για να σχηματίσουν κolloειδή διαλύματα, χαρακτηριστικού ασυνήθιστα υψηλού ιξώδους ακόμη και σε

πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις το κόμμα Γκούαρ τείνει να συμπεριφέρεται ως κροκιδωτικό τόσο σε οργανικά όσο και ανόργανα συστήματα.

1.1.2 Άμυλο

Το άμυλο είναι ένας πολυσακχαρίτης που αποτελείται από δύο μακρομόρια, την αμυλόζη και την αμυλοπηκτίνη. Η αμυλόζη είναι ένα γραμμικό πολυμερές που αποτελείται από πολλά μόρια γλυκόζης συνδεδεμένα με γλυκοζιτικό δεσμό ενώ η αμυλοπηκτίνη είναι ένα διακλαδισμένο πολυμερές. Κάθε διακλάδωση περιέχει 15-25 μόρια γλυκόζης (Μπόσκου, 2004). Είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο υδροκολλοειδές για αύξηση του ιξώδους διότι είναι σχετικά φθινό, άφθονο και δεν προσδίδει κάποια γεύση στο προϊόν σε χαμηλή συγκέντρωση (2-5%).

Το άμυλο παράγεται από όλα τα πράσινα φυτά ως αποθήκη ενέργειας τους και είναι σημαντική πηγή ενέργειας για τον άνθρωπο. Έχει βρεθεί στις πατάτες, στο ρύζι, στο σιτάρι και σε άλλα τρόφιμα και διαφέρει σε εμφάνιση ανάλογα με την προέλευση. Στην βασική τους μορφή, τα άμυλα έχουν περιορισμένη χρήση στην βιομηχανία των τροφίμων διότι παράγουν ασταθείς, ελαστικές πάστες όταν ζεσταθούν και ανεπιθύμητες πηκτές όταν κρυώσουν (Adzahan, 2002). Για τον λόγο αυτό, οι εταιρίες τροφίμων προτιμούν τα τροποποιημένα άμυλα, που είναι εδώδιμα άμυλα στα οποία έχουν μεταβληθεί ορισμένα χαρακτηριστικά (Μπόσκου, 2004). Είναι λευκές ή υπόλευκες σκόνες χωρίς γεύση που βρίσκουν πολλές εφαρμογές ως σταθεροποιητές ή παχυρευστοποιητές. Προκειμένου να επιλεγεί το κατάλληλα τροποποιημένο άμυλο πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν η αγορά και η παραγωγή. Όσον αφορά στην αγορά, οι ιδιότητες που σχετίζονται είναι τροποποίηση δομής, αισθητικά χαρακτηριστικά, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, σταθερότητα στο ράφι κ.α. Ενώ οι ιδιότητες που αφορούν την παραγωγή είναι παράμετροι όπως το ιξώδες, η αντίσταση στη ροή, το χαμηλό pH ή η υψηλή θερμοκρασία (Sajilata & Singhal, 2004).

Η τροποποίηση του αμύλου μπορεί να είναι χημική, ενζυμική ή φυσική. Τα ενζυμικώς τροποποιημένα άμυλα παράγονται με υδρόλυση του αμύλου σε ενώσεις χαμηλού μοριακού βάρους όπως η μαλτοδεξτρίνη ή η δεξτρίνη χρησιμοποιώντας αμυλολυτικά ένζυμα (Miyazaki et al., 2006). Θεωρούνται φυσικά προϊόντα και χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα λίπους σε light προϊόντα γιατί προσδίδουν υφή παρόμοια με αυτή του λίπους. (Μπόσκου, 2004)

Η φυσική τροποποίηση περιλαμβάνει προ-ζελατινοποίηση του αμύλου, θερμική επεξεργασία κ.λπ. Τα προζελατινοποιημένα άμυλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πυκνωτικά μέσα σε κρύο νερό

(Abbas, Khalil & Meor Hussin, 2010). Με την θερμική επεξεργασία παρέχεται ενέργεια που διασπά τους δεσμούς μεταξύ των κρυσταλλικών μικκυλίων κι έτσι ο κόκκος του αμύλου ενυδατώνεται και εξογκώνεται (Μπόσκου, 2004). Η χημική τροποποίηση του αμύλου ήταν η πλέον χρησιμοποιούμενη τεχνική τον προηγούμενο αιώνα. Περιλαμβάνει κατεργασία εν θερμό παρουσία οξέων ή αλκαλίων, προσθήκη φωσφορικού οξέος κ.α. (Μπόσκου, 2004)

Πίνακας 1: Ταξινόμηση τροποποιημένων αμύλων

Τύπος τροποποίησης		Προϊόντα
Χημική	Σταυροειδείς σύνδεση	Διφωσφορυλιωμένο άμυλο κ.α.
	Υποκατάσταση	Εστέρες: φωσφορυλιωμένο άμυλο, ακετυλιωμένο άμυλο κ.α.
		Αιθέρες: υδροξυπροπυλιωμένο άμυλο, καρβοξυμεθυλιωμένο άμυλο κ.α.
	Μετατροπή	Οξειδωμένο άμυλο, λευκασμένο άμυλο κ.α.
Φυσική	Προ-ζελατινοποίηση	Προζελατινοποιημένο άμυλο
	Θερμική επεξεργασία	Ανηγμένο άμυλο
Ενζυμική		Μαλτοδεξτρίνες, κυκλοδεξτρίνες, αμυλόζη κ.α.

Πηγή: (Miyazaki *et al.*, 2006)

Οι κυριότερες χρήσεις του τροποποιημένου αμύλων είναι:

1. Υποκατάστατο του λίπους, σε προϊόντα χαμηλών λιπαρών
2. Βελτιστοποίηση της υφής, μπορεί να προσδώσει τραγανότητα, να βελτιστοποιήσει την ελαστικότητα και να βελτιώσει την ποιότητα εξωθημένων τροφίμων
3. Αύξηση της διατροφικής αξίας
4. Σταθεροποιητής σε συνθήκες υψηλής διάτμησης ή θερμοκρασίας,
5. Ενθυλάκωση αρωματικών ελαίων

(Abbas, Khalil & Meor Hussin, 2010)

1.2 Χρήση μονογλυκεριδίων ως επιφανειοδραστική ουσία

Επιδανειοδραστικές ή τασιενεργές ουσίες λέγονται οι ουσίες εκείνες που έχουν την ικανότητα να προσροφώνται στην επιφάνεια διαχωρισμού μειώνοντας την επιφανειακή τάση και την ελεύθερη επιφανειακή ενέργεια. Χαρακτηρίζονται από την παρουσία μιας πολικής και μιας μη πολικής μονάδας στο ίδιο μόριο. Η πολική ομάδα μπορεί να φέρει θετικό ή αρνητικό φορτίο δημιουργώντας ανιονικά ή κατιονικά επιφανειοδραστικά ή μπορεί να περιέχει αλυσίδες οξιρανίου (ethylene oxide) ή σάκχαρα όπως στην περίπτωση των μη ιοντικών επιφανειοδραστικών ουσιών. (Kunjaru 1999,

Goddard και Anathapadmanabhan 1993). Οι αντιδράσεις μεταξύ πολυμερών-τασιενεργών μοιάζουν πολύ με αυτές των πρωτεϊνών με τις τασιενεργές ουσίες και έχουν προκαλέσει το ενδιαφέρον πολλών ερευνών εξαιτίας των βιομηχανικών τους εφαρμογών όπως π.χ. σε χρώματα, επικαλύψεις, καλλυντικά όσο και σε βιολογικά συστήματα. (Saito 1987, Goddard and Anathapadmanabhan 1993). Οι αντιδράσεις μεταξύ πολυμερών και επιφανειοδραστικών ουσιών έχουν μελετηθεί με πολλές μεθόδους. Οι έρευνες έχουν δείξει ότι τα πολυμερή αντιδρούν με τις επιφανειοδραστικές ουσίες προκαλώντας μικκυλίωση των ουσιών αυτών στην αλυσίδα του πολυμερούς μέχρι ενός σημείου όπου υπάρχει κορεσμός ενώ οι επιφανειοδραστικές ουσίες σχηματίζουν ελεύθερα μικκύλια (Biggs κ.ά., 1992). Τα δεσμευμένα μικκύλια έχουν υψηλότερη διαλυτική ικανότητα και κατά συνέπεια προκαλούν εντονότερη αύξηση του ιξώδους σε σχέση με τα ανεξάρτητα πολυμερή ή μικκύλια (Saito, 1987 & oblonsek, 2003).

Τα μονογλυκερίδια όπως και οι λεκιθίνες χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία γαλακτωμάτων και το πιο διαδεδομένο μονογλυκερίδιο είναι ο μονοστεατικός εστέρας της γλυκερόλης (GMS). Παρασκευάζονται είτε με εστεροποίηση της γλυκερόλης είτε με καταλυτική μετεστεροποίηση φυσικών λιπιδίων σε περίσσεια γλυκερόλης (Μπόσκου, 2004). Τα μονογλυκερίδια είναι από τις πιο διαδεδομένες τασιενεργές ουσίες, έχουν την ικανότητα να αλληλεπιδρούν με το νερό σχηματίζοντας μεσομορφικές φάσεις και διασπορές. Χρησιμοποιούνται στην παραγωγή διάφορων προϊόντων στα οποία είναι σημαντικές οι αλληλεπιδράσεις με υδροδιαλυτά συστατικά (π.χ. συστατικά αμύλου) (Chen L., 2015).

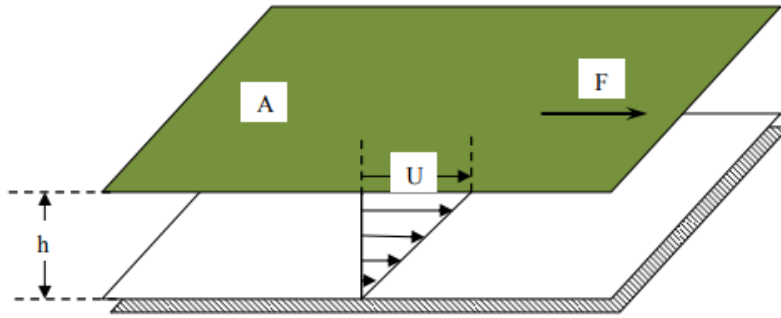
2. Ρεολογία διαλυμάτων

2.1 Τύποι ρεολογικής συμπεριφοράς

Ρεολογία είναι η μελέτη παραμόρφωσης της ύλης, ο κύριος νόμος που ορίζει την ροή ενός ρευστού είναι αυτός του Νεύτωνα και για τον λόγο αυτό τα υγρά που τον ακολουθούν ορίζονται ως Νευτώνεια.

$$\sigma = \mu \frac{d\gamma}{dt} = \eta \dot{\gamma}$$

όπου, σ : διατμητική τάση, η : ιξώδες του ρευστού, $\dot{\gamma}$: διατμητική παραμόρφωση



Εικόνα 2: Ροή ανάμεσα σε δύο πλάκες

Ο νόμος αυτός έχει προέλθει κατά τη ροή ενός υγρού ανάμεσα σε δύο πλάκες όπως φαίνεται στο Σχήμα (εικόνα 2). Όπου η κάτω παραμένει ακίνητη ενώ η πάνω κινείται με σταθερή ταχύτητα U , η οποία προέρχεται από την εφαρμογή σταθερής διατμητικής τάσης $\sigma = F/A$ πάνω στην επιφάνεια της πλάκας A , με h συμβολίζεται η απόσταση μεταξύ των δύο πλακών. Η προκαλούμενη παραμόρφωση είναι: $\gamma = dx/dy$ ενώ ο ρυθμός παραμόρφωσης $\dot{\gamma} = dv/dy$. Η σχέση μεταξύ της διατμητικής τάσης και του ρυθμού παραμόρφωσης για τα Νευτώνεια ρευστά είναι ευθέως ανάλογη του $\dot{\gamma}$ με σταθερά αναλογίας η (συντελεστής δυναμικού ιξώδους ή απλά ιξώδες). Οι μονάδες του ιξώδους είναι $\text{dyne} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-2}$. Για τα συστήματα αυτά, η αναλογία της διατμητικής τάσης προς τον ρυθμό παραμόρφωσης παραμένει σταθερή κι έτσι το ιξώδες είναι ανεξάρτητο του ρυθμού παραμόρφωσης.

Όλα τα συστήματα που δεν παρουσιάζουν αυτή τη συμπεριφορά ονομάζονται μη-Νευτώνεια. Μια γενική σχέση που διέπει όλα τα μη Νευτώνεια υγρά είναι αυτή των Herschel-Bulkley

$$\sigma = K(\dot{\gamma})^n + \sigma_0$$

όπου K είναι ο δείκτης συνεκτικότητας, n ο δείκτης συμπεριφοράς στην ροή και σ_0 η οριακή τάση διαρροής (Steffe, 1992).

Πίνακας 2: Κατάταξη ρευστών ως ειδικές περιπτώσεις του μοντέλου Herschel-Bulkley

Υγρό	K	n	σ_0	Τυπικά παραδείγματα
Herschel-Bulkley	>0	$0 < n < \infty$	>0	
Νευτώνειο	>0	1	0	νερό, χυμοί, γάλα, μέλι, λάδι
Ψευδοπλαστικό	>0	$0 < n < 1$	0	πουρές μπανάνα, χυμός πορτοκάλι, κολλοειδή

				συστήματα πολυσακχαριτών
Διασταλτικό	>0	$1 < n < \infty$	0	υδατικά διαλύματα αμυλόκολλων με μεγάλη συγκέντρωση στερεών
Πλαστικό κατά Bingham	>0	1	>0	οδοντόκρεμα, τοματοπολτός

Πηγή: Steffe, 1992

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των υγρών Herschel-Buckley και των πλαστικών κατά Bingham είναι η οριακή τάση διαρροής (σ_y) που αντιπροσωπεύει την τάση που πρέπει να εφαρμοσθεί προκειμένου να επιτευχθεί ροή. Κάτω από το σ_y , το υλικό παρουσιάζει χαρακτηριστικά στερεού: Σε μικρή τάση αποθηκεύουν ενέργεια και δεν εξισορροπούνται υπό την επίδραση της βαρύτητας για να σχηματίσουν επίπεδες επιφάνειες. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι πολύ σημαντικό για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση της ποιότητας υλικών όπως το βούτυρο, το γιαούρτι και το τυρί (Steffe, 1992).

Την πιο κοινή μη Νευτώνεια συμπεριφορά εμφανίζουν τα ψευδοπλαστικά ρευστά, σε αυτά το φαινομενικό ιξώδες μειώνεται με την αύξηση του ρυθμού παραμόρφωσης. Έχουν δύο περιοχές, σε πολύ μικρές και σε πολύ μεγάλες τιμές $\dot{\gamma}$, όπου το ιξώδες είναι ανεξάρτητο του ρυθμού παραμόρφωσης (Νευτώνειες). Η συμπεριφορά αυτή παρατηρείται διότι σε ηρεμία τα σωματίδια σχηματίζουν συζεύγματα και δημιουργείται ένα τρισδιάστατο πλέγμα. Με την εφαρμογή χαμηλής διατμητικής τάσης συμβαίνει μερική αποσύνδεση των σωματιδίων και σχηματισμός νέων συζευγμάτων, που έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση σταθερού ιξώδους. Όμως, με την αύξηση του ρυθμού παραμόρφωσης, καταστρέφονται τα συζεύγματα και τα σωματίδια τείνουν να κινηθούν παράλληλα με τις στοιβάδες ροής του υγρού, με αποτέλεσμα την μείωση του ιξώδους στο σύστημα. Σε πολύ υψηλές τιμές του ρυθμού παραμόρφωσης συμβαίνει πλήρης αποικοδόμηση της εσωτερικής δομής και όλα τα σωματίδια προσανατολίζονται παράλληλα με το επίπεδο της εφαρμοζόμενης τάσης, έτσι το ιξώδες παρουσιάζει την χαμηλότερη τιμή και παραμένει σταθερό.

Αντίθετα, στα διασταλτικά ρευστά, παρατηρείται αύξηση του ιξώδους με την αύξηση του ρυθμού παραμόρφωσης. Τα σωματίδια των διασταλτικών υγρών σε ηρεμία βρίσκονται σε διασπορά και το μέσο διασποράς είναι οριακά αρκετό για να συμπληρώσει τα μεταξύ τους κενά, ενώ με αύξηση του ρυθμού παραμόρφωσης τα κενά αυτά μεγεθύνονται και ο διαλύτης τείνει να τα γεμίσει. Έτσι τα σωματίδια περιβάλλονται από μικρότερη ποσότητα διαλύτη και το ιξώδες μεγαλώνει.

Επιπλέον, υπάρχει μια ακόμα κατηγορία ροής που ονομάζεται χρονικά εξαρτώμενη για τα ρευστά στα οποία σε σταθερό ρυθμό παραμόρφωσης η διατμητική τάση μεταβάλλεται με τον χρόνο. Σε αυτά ανήκουν διάφορες κρέμες, σούπες, μαγιονέζες κ.α. Διακρίνονται τρεις τύποι χρονικά εξαρτημένων ρευστών. Τα θιξοτροπα, τα ρεοκαταστρεφόμενα και τα ρεοπηκτικά (Μπιλιαδέρης, 1998).

Κατά την εφαρμογή κάποιας εξωτερικής δύναμης σε ένα σώμα, διακρίνονται τρία είδη παραμορφώσεων, εφελκυσμού (strain), συμπίεσης (compression) και διάτμησης (shear). Οι τάσεις εφελκυσμού και συμπίεσης ενεργούν κάθετα στο επίπεδο εφαρμογής ενώ οι διατμητικές τάσεις ενεργούν εφαπτομενικά σε αυτό (Μπιλιαδέρης, 1998).

2.2 Ρεολογία διασπορών πολυσακχαριτών

Το ιξώδες των διασπορών πολυσακχαριτών προκύπτει κυρίως από την εμπλοκή τυχαία διαμορφωμένων πολυμερικών αλυσίδων. Σε αραιή διασπορά, τα μεμονωμένα μόρια υδροκολλοειδών μπορούν να κινούνται ελεύθερα κι έτσι, δεν παρουσιάζουν αύξηση του ιξώδους. Όταν αυξάνεται η συγκέντρωση τα μόρια αρχίζουν να έρχονται σε επαφή και η κίνηση τους περιορίζεται. Σε περιπτώσεις που δεν παρατηρούνται ενθαλπικές αλληλεπιδράσεις πολυμερών, η αύξηση του ιξώδους σχετίζεται με το μοριακό βάρος και τη συγκέντρωση του υδροκολλοειδούς (Sworn, 2004). Μια σημαντική παράμετρος σύγκρισης του ιξώδους σε διασπορές υδροκολλοειδών είναι το εσωτερικό ιξώδες (η) το οποίο σχετίζεται άμεσα με το μοριακό βάρος του υδροκολλοειδούς και δίνεται από την εξίσωση Mak-Houwink $[\eta] = K \cdot M^a$, όπου: M είναι το μοριακό βάρος ενώ K και a είναι παράμετροι της εξίσωσης.

Συμπερασματικά, όσο μεγαλύτερο είναι το μοριακό βάρος του πολυμερούς, τόσο υψηλότερο θα είναι και το εσωτερικό ιξώδες που θα παραχθεί στο υδατικό μέσο. Η συγκέντρωση του πολυσακχαρίτη στην οποία παρατηρείται έντονη αλλαγή ιξώδους αναφέρεται ως κρίσιμη συγκέντρωση επικάλυψης c^* . Η έναρξη της εμπλοκής για ένα μεγάλο φάσμα από ουδέτερους ή φορτισμένους πολυσακχαρίτες βρέθηκε ότι προκύπτει όταν $C[\eta] \approx 4$. Με άλλα λόγια, όσο υψηλότερο το μοριακό βάρος του πολυσακχαρίτη, τόσο χαμηλότερη η συγκέντρωση στην οποία παρατηρείται το c^* . Σε συγκέντρωση κάτω από c^* , το διάλυμα παρουσιάζει Νευτώνεια ροή ενώ η αύξηση του ιξώδους στη διασπορά είναι ανάλογη των μορίων που υπάρχουν σε αυτή. Πάνω από το c^* , τα περιπλεγμένα δίκτυα της διασποράς (entanglement dispersion networks) παρουσιάζουν ψευδοπλαστική συμπεριφορά, που σημαίνει ότι το φαινομενικό ιξώδες μειώνεται με την αύξηση της διατμητικής τάσης.

Σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης, ο βαθμός διάσπασης των συμπλοκών είναι χαμηλότερος ή ίσος με το σχηματισμό νέων συμπλοκών γι αυτό παρουσιάζεται Νευτώνεια ροή. Το ιξώδες σε όλο αυτό το χρόνο είναι γνωστό ως ιξώδες μηδενικής διάτμησης (zero-shear viscosity). Γενικά το ιξώδες μηδενικής διάτμησης εξαρτάται διαφορετικά από το μέσο μοριακό βάρος του πολυμερούς (και μάλιστα το κατά βάρος, M_w) σε σχέση με το αν αυτό είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο από το κρίσιμο μοριακό βάρος, όπου συμβαίνουν διασυνδέσεις c^* . Όσο ο ρυθμός διάτμησης αυξάνεται, ο βαθμός της διάσπασης επίσης αυξάνεται και υπερβαίνει αυτόν του σχηματισμού. Σε αυτό το σημείο, το ιξώδες αρχίζει να μειώνεται απότομα συναρτηθεί του βαθμού διάτμησης. Σε πολύ υψηλές τιμές του ρυθμού διάτμησης δεν συμβαίνει περαιτέρω διάσπαση και το σύστημα παρουσιάζει εκ νέου Νευτώνεια ροή (Sworn, 2004). Το ιξώδες των υδροκολλοειδών διασπορών επηρεάζεται επίσης από τον υδροδυναμικό όγκο του πολυμερούς, αυξάνεται με την μοριακή μάζα, την ακαμψία της αλυσίδας και την τάση του ηλεκτροστατικού φορτίου. Επίσης, είναι υψηλότερο σε πολυσακχαρίτες με ευθεία αλυσίδα από ότι με διακλαδώσεις.

2.3 Μέτρηση ιξώδους

Προκειμένου να χαρακτηριστεί ο τύπος της ροής ενός ρευστού χρησιμοποιούνται ιξωδόμετρα. Υπάρχουν πολλοί τύποι ιξωδομέτρων, από απλά που χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό Νευτώνειας ροής έως και πολυπλοκότερα για τα μη- Νευτώνεια ρευστά. Τα ιξωδόμετρα λειτουργούν με έναν μηχανισμό πρόκλησης ροής και έναν μέτρησης της εφαρμοζόμενης δύναμης, έχουν συγκεκριμένη και γνωστή γεωμετρία που βοηθά στη μετατροπή της δύναμης και της ροής σε τάση και ρυθμό παραμόρφωσης. Τα πιο γνωστά ιξωδόμετρα είναι:

1. Ιξωδόμετρο τριχοειδούς σωλήνα με εξαναγκασμένη ροή
2. Γυάλινο τριχοειδές ιξωδόμετρο
3. Ιξωδόμετρα σωληνωτού τύπου
4. Περιστροφικά ιξωδόμετρα

2.3.1 Ιξωδόμετρο Brookfield

Το ιξωδόμετρο Brookfield ανήκει στα περιστροφικά ιξωδόμετρα μεγάλου διάκενου. Το όργανο αποτελείται από έναν κύλινδρο που περιστρέφεται μέσα στη μάζα του υγρού και έναν μεταδότη ροπής στρέψης που μετρά την αντίσταση του ρευστού στην περιστροφή αυτή. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, ο χειριστής επιλέγει τον κατάλληλο κύλινδρο και στη συνέχεια μεταβάλλει το ρυθμό περιστροφής και το όργανο δείχνει την τιμή του φαινομενικού ιξώδους (Λαζαρίδης, 2007).

2.4 Τύποι ροής στη στοματική κοιλότητα

Παρ' όλο που οι αναλυτικές μέθοδοι μέτρησης είναι επωφελείς για την αναπαραγωγιμότητα και την αντικειμενικότητα των αποτελεσμάτων, δεν μπορούν να συσχετιστούν πλήρως με τις ανθρώπινες αισθήσεις εξαιτίας τις δυσκολίας αναπαράστασης των συνθηκών που επικρατούν κατά την διάρκεια της στοματικής επεξεργασίας. Οι συνθήκες στο στόμα επηρεάζονται από εξαιρετικά πολύπλοκους και δυναμικούς συντελεστές, συμπεριλαμβανομένης της υγρασίας και της θερμοκρασίας (Nakuma et al., 2011).

Κατά την διάρκεια της κατάποσης, το υγρό εισέρχεται το στόμα και αυτό κλείνει. Το καταναλισκόμενο υγρό αναμειγνύεται με τα υγρά του στόματος και η γλώσσα συλλέγει το υγρό γύρω από το στόμα, σχηματίζοντας μαζί με την υπερώα και τα μάγουλα τον βλωμό. Το υγρό συσσωρεύεται στην άκρη της γλώσσας που ακολουθείται από ανύψωση της ώστε να ακουμπήσει στον ουρανίσκο και εν συνεχεία συστολή της για να φτάσει το υπόλοιπο σώμα της γλώσσας. Η γλώσσα κινείται ανοδικά και κινεί τον βλωμό προς τον φάρυγγα όπου ακολουθεί το φαρυγγικό στάδιο (Ferguson, 2006).

Το υγρό που καταναλώνεται, αλληλεπιδρά με το σάλιο και παρουσιάζει οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, τόσο χημικά (π.χ. γεύση) όσο και μηχανικά (π.χ. υφή). Η στοματική επεξεργασία προκαλεί τόσο διατμητική όσο και εκτατική παραμόρφωση στα υγρά. Όμως, το όριο ανίχνευσης των εκτατικών παραμορφώσεων στον άνθρωπο είναι μικρότερο, γεγονός που υποδεικνύει ότι είναι ευκολότερο να αντιληφθεί το εκτατικό ιξώδες (Bo Yuan et. al., 2018). Για να περιγραφεί πλήρως η συμπεριφορά της ροής ενός υγρού στο στόμα πρέπει να μελετηθεί τόσο το διατμητικό όσο και το εκτατικό ιξώδες του και να συνδεθούν τα μηχανικά με τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά.

Η εκτατική παραμόρφωση διαφέρει σημαντικά από τη διατμητική. Κατά τη διατμητική παραμόρφωση τα σωματίδια εντός του υγρού κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση και ολισθαίνουν το ένα πάνω στο άλλο, ενώ κατά τη διάρκεια της ελαστικής παραμόρφωσης καθώς το υλικό τεντώνεται ή συμπιέζεται τα σωματίδια είτε απομακρύνονται είτε κινούνται το ένα προς το άλλο (Chan et al., 2007). Οι πιο συνηθισμένες μελέτες εκτατικού ιξώδους πραγματοποιούνται σύμφωνα με μια πειραματική διάταξη, στην οποία τοποθετείται δείγμα υλικού, ανάμεσα σε δύο ομοαξονικούς δίσκους που καλύπτει αρχικά το διάκενο ανάμεσα τους σχηματίζοντας ένα λεπτού πάχους κυλινδρικό δίσκο. Στη συνέχεια ο άνω δίσκος μετακινείται προς τα επάνω υποβάλλοντας το δείγμα σε έκταση. Η εφελκυστική κίνηση προκαλεί τη δημιουργία ενός ρευστού νήματος.

Η συμβατική ρεομετρία ανιχνεύει την αντίδραση του υλικού ενάντια σε διατμητικές δυνάμεις, κατά τη στοματική επεξεργασία όμως, τα προϊόντα υποβάλλονται κυρίως σε εκτατικές παραμορφώσεις. Η κατανόηση της συμπεριφοράς των υλικών υπό παρατεταμένες παραμορφώσεις μπορεί να προσθέσει

μια νέα, σε μεγάλο βαθμό ανεξερεύνητη διάσταση στην περιγραφή της μηχανικής της στοματικής επεξεργασίας υγρών (Bo Yuan et.al, 2018).

3. Οργανοληπτικός έλεγχος

Ως οργανοληπτικός έλεγχος ορίζεται η αξιολόγηση των ιδιοτήτων κάθε καταναλισκόμενου προϊόντος. Αξιολογεί τα ερεθίσματα που γίνονται αντιληπτά κατά την διάρκεια της κατανάλωσης ενός προϊόντος και είναι η πιο ισχυρή μέθοδος ποσοτικοποίησης της ανθρώπινης αντίληψης (Varela and Ares, 2012). Υπάρχουν διάφορα οργανοληπτικά τεστ τα οποία χωρίζονται σε αναλυτικές και συναισθηματικές δοκιμές ανάλογα με το αν αναφέρονται στις ιδιότητες των τροφίμων ή στα συναισθήματα που αυτά δημιουργούν. Οι αναλυτικές μέθοδοι μπορεί να είναι είτε δοκιμές διάκρισης π.χ. Δοκιμή κατάταξης είτε περιγραφικές όπως η Ποσοτική περιγραφική ανάλυση ή το Προφίλ ελεύθερης επιλογής. Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από τον στόχο της έρευνας (Γρηγοράκης, Τσακνής, 2014).

3.1 Οργάνωση και υλοποίηση οργανοληπτικού ελέγχου

Όταν πραγματοποιείται ένας οργανοληπτικός έλεγχος πολλές μεταβλητές πρέπει να ελέγχονται, όπως για παράδειγμα ο έλεγχος καταλληλότητας του πάνελ. Επίσης, κρίνεται απαραίτητος ο καθορισμός συγκεκριμένων συνθηκών προετοιμασίας, παρουσίασης και δοκιμής του δείγματος για να διασφαλιστεί ότι οι ιδιότητες που εξετάζονται κατά την διάρκεια του ελέγχου είναι ίδιες με τις οργανοληπτικές ιδιότητες του δείγματος.

Για τον οργανοληπτικό έλεγχο είναι επιθυμητό να υπάρχουν θάλαμοι, αλλά δεν έχουν όλες οι εταιρείες την δυνατότητα να παρέχουν θαλάμους δοκιμής. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται διαχωρισμένοι πάγκοι σε απομονωμένες περιοχές της εταιρείας. Οι θάλαμοι μπορεί να είναι είτε πλάι-πλάι είτε σε σχήμα L είτε με δύο σειρές τριών έως τεσσάρων θαλάμων αντικριστά σε όλη την περιοχή που χρησιμοποιείται. Τα διαχωριστικά μεταξύ των θαλάμων θα πρέπει να εκτείνονται 50 εκατοστά πάνω από τους πάγκους ώστε να παρέχουν ιδιωτικό χώρο στον κάθε συμμετέχοντα. Ένας μικρός νεροχύτης ανοξείδωτου χάλυβα μπορεί να συμπεριληφθεί για το ξέπλυμα του στόματος. Ωστόσο, πολλοί επιστήμονες είναι ενάντια σε αυτή την τακτική και παρέχουν μόνο νερό σε κούπες για πόση και έξτρα κούπες για ξέπλυμα και απόχρεμψη εάν είναι απαραίτητο. Ένα σύστημα σήματος χρησιμοποιείται για να επιτρέπει στους διοργανωτές να γνωρίζουν πότε το μέλος του πάνελ είναι έτοιμο και πότε έχει κάποια ερώτηση. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μιας μορφής διακόπτη σε κάθε πάγκο που θα ενεργοποιεί ένα φωτεινό σήμα (Meilgaard et al., 1991). Οι θάλαμοι και η γύρω περιοχή θα πρέπει να είναι άοσμοι και να καθαρίζονται εύκολα.

Ο φωτισμός και τα χρώματα στον χώρο δοκιμής θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να επιτρέπουν την επαρκή προβολή του δείγματος αλλά και να μην αποσπούν τους δοκιμαστές. Οι τοίχοι θα πρέπει να έχουν υπόλευκο χρώμα. Η απουσία αποχρώσεων οποιουδήποτε χρώματος θα αποτρέψει την ανεπιθύμητη διαφορά στην εμφάνιση. Πολλές καμπίνες πάνελ έχουν χρωματιστό φωτισμό (κόκκινο, πράσινο, μπλε) σε χαμηλή ένταση που επιτυγχάνεται με την χρήση έγχρωμων λαμπτήρων ή ειδικών φίλτρων. Αυτά τα φώτα χρησιμοποιούνται για να κρύψουν τις ατομικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων σε τεστ στα οποία θα πρέπει με την γεύση να προσδιοριστούν ίδια δείγματα (Meilgaard et al .1991).

Όσον αφορά στην εκπαίδευση του πάνελ, συνίστανται, συνήθως μεγάλες αίθουσες (τύπου συνεδριάσεων) με αρκετά τραπέζια τα οποία μπορούν να οργανωθούν καλά ανάλογα με τον στόχο και το μέγεθος της ομάδας. Η παρουσία οπτικοακουστικού υλικού μπορεί να φανεί χρήσιμη καθώς και η ύπαρξη διαφορετικών εγκαταστάσεων για την δημιουργία των δειγμάτων.

Ο χώρος προετοιμασίας πρέπει να επιτρέπει την παρασκευή όλων των δειγμάτων δοκιμής, οποιουδήποτε είδους. Το εργαστήριο θα πρέπει να είναι εφοδιασμένο με τον απαραίτητο εξοπλισμό που θα καλύψει τις ανάγκες των δοκιμών που εκτελούνται (Coggins, 2007).

Η επιλογή της μεθόδου παρασκευής του δείγματος και το μέγεθος θα πρέπει να καθορίζονται με βάση τους στόχους του πρότζεκτ. Είναι κρίσιμο ότι κάθε μέλος του πάνελ πρέπει να λαμβάνει μια συγκεκριμένη ποσότητα από το κάθε δείγμα. Η τυποποίηση των δειγμάτων θα πρέπει να γίνεται, όχι μόνο ως προς το βάρος και τις διαστάσεις αλλά και την θερμοκρασία. Το μέγεθος των δειγμάτων ποικίλει ανάλογα με τους δοκιμαστές και το σκοπό του οργανοληπτικού ελέγχου.

Κάθε δείγμα πρέπει να σερβίρεται σε συγκεκριμένη θέση ισάριθμες φορές προκειμένου να μειωθούν οι προκαταλήψεις που σχετίζονται με τη θέση του δείγματος. Επίσης, κάθε δείγμα πρέπει να σερβίρεται πριν και μετά από κάποιο άλλο δείγμα ισάριθμες φορές ώστε να επαλειφθούν τυχόν προκαταλήψεις που σχετίζονται με φαινόμενα μεταφοράς. Όμως σε μελέτες με μεγάλο αριθμό δειγμάτων η επιβολή της παραπάνω ισορροπίας μπορεί να μην είναι εφικτή γι' αυτό χρησιμοποιείται μια γεννήτρια παραγωγής τυχαίων τριψήφιων αριθμών και η σειρά των δειγμάτων αναλύεται ως τυχαία. Στα εκπαιδευμένα, περιγραφικά πάνελ μπορεί να υπάρξει προκατάληψη σχετικά με το πρώτο δείγμα που παρουσιάζεται σε κάθε συνεδρία όταν πραγματοποιούνται σε διαφορετικές μέρες. Γι' αυτό, προτείνεται η χρησιμοποίηση ενός συγκεκριμένου δείγματος για προθέρμανση στην αρχή

κάθε συνεδρία. Το “δείγμα προθέρμανσης” θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό του προϊόντος που μελετάται, να σερβίρεται στους δοκιμαστές και να δημιουργείται μια συζήτηση με σκοπό την τυποποίηση της αξιολόγησης των δοκιμαστών και την αύξηση της συγκέντρωσης τους (AMSA, 2016).

Ο αριθμός των δειγμάτων που σερβίρονται κατά τη διάρκεια μια συνεδρίας εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Χαρακτηριστικά του προϊόντος
- Εμπειρία των δοκιμαστών
- Ψυχική κόπωση και κορεσμός των αισθήσεων
- Αριθμός των χαρακτηριστικών που πρέπει να αναλυθούν ανά δείγμα

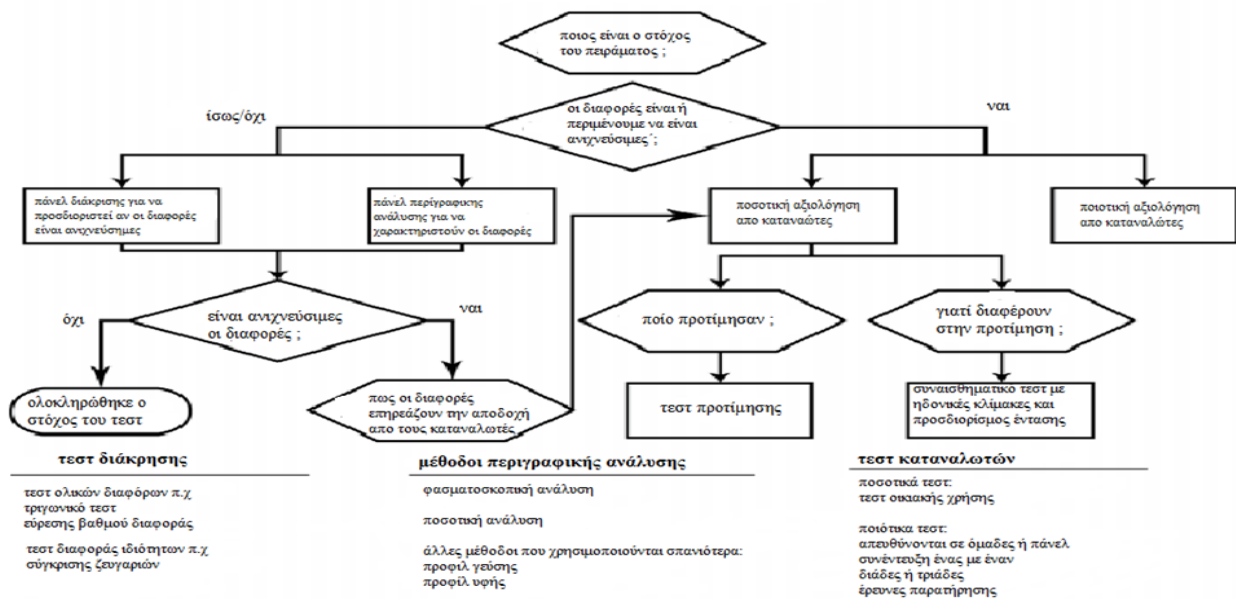
Ο καθορισμός του αριθμού δειγμάτων που σερβίρονται στους καταναλωτές πρέπει να πραγματοποιείται με μεγάλη προσοχή. Επειδή οι προτιμήσεις των καταναλωτών στα τρόφιμα παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά είναι η μεγαλύτερη πηγή σφάλματος στο στατιστικό μοντέλο. Είναι, ως εκ τούτου, καλύτερο όλοι οι δοκιμαστές να αξιολογήσουν όλα τα προϊόντα. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η κόπωση στη γέυση και η απώλεια ενδιαφέροντος ή συγκέντρωσης μεταξύ των δοκιμαστών πρέπει, ο αριθμός των δειγμάτων που βαθμολογούνται ανά συνεδρία να περιορίζεται ανάλογα με τον τύπο του προϊόντος και τον αριθμό των ερωτήσεων. Επίσης ανάμεσα στα δείγματα πρέπει να χρησιμοποιούνται προϊόντα για καθαρισμό της γευστικής παλέτας των δοκιμαστών (AMSA, 2016).

3.2 Επιλογή καταλληλότερης μεθόδου

Για την οργάνωση και ομαλή διεξαγωγή του ελέγχου είναι βασικό να επιλέγονται τα κατάλληλα πάνελ και τεστ ώστε να υπάρξουν τα επιθυμητά αποτελέσματα ώστε να ληφθούν πληροφορίες σχετικά με το προϊόν που μελετάται.

Οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την επιλογή της οργανοληπτικής μεθόδου είναι οι εξής:

- Ποια είναι η υπόθεση σας;
- Ποιές ερωτήσεις προσπαθείτε να απαντήσετε; (στόχοι δοκιμής)
- Πώς θα χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα;
- Πόσο μεγάλη διαφορά προσπαθείτε να εντοπίσετε;
- Πόση μεταβλητότητα υπάρχει μεταξύ των δειγμάτων;



Εικόνα 3: Παράγοντες επιλογής μεθόδου

Πηγή: AMSA (2016)

Γενικά, οι δοκιμές διάκρισης χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση πιθανών μικρών διαφορών στα χαρακτηριστικά των προϊόντων. Δημιουργείται ένας συγκεκριμένος τρόπος παρουσίασης που αναγκάζει τον δοκιμαστή να δώσει μια απάντηση- να επιλέξει ένα δείγμα (Γρηγοράκης, Τσακνής, 2014). Στις μεθόδους διάκρισης μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε εκπαιδευμένοι δοκιμαστές είτε ανεκπαιδευτοι, ανάλογα με τους στόχους της δοκιμής. Εάν ο στόχος της δοκιμής είναι να καθοριστεί με υψηλό βαθμό βεβαιότητας ή αν οι οργανοληπτικές διαφορές των δειγμάτων είναι σημαντικές, προτείνεται η χρήση εκπαιδευμένου πάνελ. Οι εκπαιδευμένοι δοκιμαστές πρέπει να επιλέγονται προσεκτικά, να γίνεται εξειδικευμένη εκπαίδευση και να έχουν καλύτερη κριτική ικανότητα σε σύγκριση με το μέσο καταναλωτή. Όταν χρησιμοποιούνται καταναλωτές για δοκιμές διάκρισης, δεν έχουν μεγάλη δυνατότητα κρίσης και δεν μπορούν να ανιχνεύσουν μικρές διαφορές. Παρόλο που οι δοκιμές αυτές χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση διαφορών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μέτρηση του αντιληπτού ιξώδους σε πυκνά υγρά. Τα αποτελέσματα θα πρέπει να ερμηνεύονται με βάση τον αριθμό δοκιμαστών που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη. Τα τεστ διάκρισης ταξινομούνται σε δυο μεγάλες κατηγορίες :

1. έλεγχος για τη συνολική διαφορά
2. τεστ διάκρισης διαφορών για συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.

Οι δοκιμές διαβάθμισης, επιλέγονται προκειμένου να ποσοτικοποιηθούν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και να γίνει στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Οι τρόποι βαθμολόγησης ποικίλουν, μπορεί να γίνει τοποθέτηση δειγμάτων σε σειρά, βαθμολόγηση της έντασης συγκεκριμένων χαρακτηριστικών ή απλή κατηγοριοποίηση. (Γρηγοράκης, Τσακλής, 2014). Για τον προσδιορισμό διαφοράς στο ιξώδες μεταξύ παχύρευστων υγρών συνήθως χρησιμοποιείται η εκτίμηση έντασης ενός συστατικού (magnitude estimation scaling) (Kokini et al. 1977; Christensen 1979; Ferry, Hort, et al. 2006; Smith et al. 2006). Σε αυτή τη μέθοδο, παρουσιάζονται στους δοκιμαστές διάφορα δείγματα, δίνεται ένα δείγμα αναφοράς που αντιπροσωπεύει έναν αριθμό έντασης του ιξώδους και καλούνται να βαθμολογήσουν τα επακόλουθα δείγματα αναλογικά προς το δείγμα αναφοράς.

Μια άλλη μεγάλη κατηγορία δοκιμών είναι οι *συναισθηματικές* (*affective tests*) οι οποίες διακρίνονται σε δοκιμές προτίμησης και δοκιμές αποδοχής. Στις δοκιμές προτίμησης ο δοκιμαστής καλείται να διαλέξει ένα προϊόν ανάμεσα στα υπόλοιπα ενώ στις δοκιμές αποδοχής πρέπει να βαθμολογήσει τα προϊόντα που του αρέσουν. Τα πάνελ που χρησιμοποιούνται για τις συναισθηματικές δοκιμές είναι συνήθως καταναλωτές (Γρηγοράκης, Τσακλής, 2014). Το 2003 οι Macqueen et al. απέδειξαν ότι το πυκνωτικό μέσο επηρεάζει την αποδοχή του προϊόντος και όχι το μέσο πάχυνσης. (Ong, 2017)

Η πιο αποτελεσματική μέθοδος αξιολόγησης είναι η *περιγραφική ανάλυση* με εκπαιδευμένο πάνελ διότι μπορεί να εξηγήσει το είδος όσο και την ένταση των χαρακτηριστικών του προϊόντος σε συνδυασμό με την προτίμηση των δοκιμαστών. Γι αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται για τη συσχέτιση οργανοληπτικών δοκιμών με τα ευρήματα αναλυτικών μεθόδων και τις προτιμήσεις των καταναλωτών. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι περιγραφικής ανάλυσης, συμπεριλαμβανομένης της μεθόδου προφίλ γεύσης ή υφής, ποσοτικής περιγραφικής ανάλυσης, ποσοτικού προσδιορισμού γεύσης, προφίλ ελεύθερης επιλογής κ.α (Murray et al., 2001). Ωστόσο, πιο συχνά χρησιμοποιείται, η γενική περιγραφική ανάλυση η οποία συνδυάζει αρχές και τεχνικές από τις προαναφερθείσες μεθόδους (Murray et al., 2001).

4. Σκοπός

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν υδατικά διαλύματα υδροκολλοειδών και συγκεκριμένα κόμμεος γκουάρ και τροποποιημένου αμύλου στα οποία προστέθηκαν μονογλυκερίδια. Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη επιρροής της προσθήκης τασενεργού ουσίας στην οργανοληπτική αίσθηση του παχύρευστου των διαλυμάτων υδροκολλοειδών. Καθώς και η διασύνδεση του εκτατικού και διατμητικού ιξώδους των διαλυμάτων κόμμεος γκουάρ με την οργανοληπτική αίσθηση του παχύρευστου και την ευκολία κατάποσης. Τα αποτελέσματα αναμένεται να παρέχουν συνολική εικόνα για τον ρόλο του κόμμεος γκουάρ στην συμπεριφορά των μαλακών τροφίμων στο στόμα και το ρόλο του ως λιπαντική ουσία.

5. Υλικά και μέθοδοι

5.1 Ρεολογική δοκιμή

Αρχικά μελετήθηκε το ιξώδες, υδατικών διαλυμάτων κόμμεος γκουάρ παρουσία και απουσία μονογλυκεριδίων. Στην δεύτερη σειρά πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε το τροποποιημένο άμυλο ως πηκτική ουσία και παρασκευάστηκαν διαλύματα περιεκτικότητας 3g dL^{-1} ν και 6g dL^{-1} τα οποία επίσης μελετήθηκαν τόσο παρουσία όσο και απουσία μονογλυκεριδίων.

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας υπερκάθαρο νερό τύπου 1 από συσκευή Millipore Direct-Q % UV. Ρυθμιστής Tris-HCl αγοράστηκε από το AMRESSO (Solon, OH, USA) ενώ κόμμι γκουάρ και τροποποιημένο άμυλο κατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση αποκτήθηκαν από την εταιρία Παπαδημητρίου Α.Β.Ε.Ε. (Σίνδος, Ελλάδα). Όλα τα υπόλοιπα αντιδραστήρια για τις αναλύσεις αποκτήθηκαν από την εταιρία Merck (Darmstadt, Germany).

Στα διαλύματα κόμμεος γκουάρ πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις διατμητικού και εκτατικού ιξώδους. Τα δεδομένα διατμητικού ιξώδους των διασπορών λήφθηκαν από ένα ιξωδόμετρο ελεγχόμενου ρυθμού διάτμησης (Discovery HR-2, TA, New Castle, DE), χρησιμοποιώντας γεωμετρία κώνου πλάκας 40 mm (2.008°) που περιστρεφόταν ενάντια μιας λείας θερμοστατικής αλουμινένιας επιφάνειας Peltier. Η θερμοκρασία των ρευστών ήταν στους 25°C διότι κατά τη διάρκεια της στοματικής επεξεργασίας η θερμοκρασία ποικίλει από $5\text{-}55^\circ\text{C}$ (Lawson, Janyavula, Cakir, & Burgess, 2013). Τα πειράματα επαναλήφθηκαν 3 φορές.

Οι δοκιμές εκτατικού ιξώδους στα διαλύματα κόμμεος γκουάρ λήφθηκαν με χρήση μιας συσκευής (Haake CaBER, Thermo Electron, Karlsruhe, Germany) η οποία μετράει την κινητική διάσπασης του νήματος που σχηματίζεται από την μελετώμενη διασπορά. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν μεταξύ λείων μεταλλικών επιφανειών διαμέτρου 4mm. Μετά την τοποθέτηση των διαλυμάτων ανάμεσα στις επιφάνειες, μετακινήθηκαν γρήγορα σε απόσταση 3mm κι έπειτα στην τελική τους θέση με απόσταση 6mm μέσα σε 50 ms. Η διάμετρος του νήματος στο μέσο καταγραφόταν καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Χρονικά εξαρτώμενες αλλαγές στη διάμετρο του νήματος που δημιουργούνται από την τριχοειδή πίεση, εξουδετερώνονται από την τάση επέκτασης του υγρού. Το εκτατικό ιξώδες η_e μπορεί να υπολογισθεί από την εξίσωση (1):

$$\eta_e = \frac{-(2x-1)}{3 \frac{dD}{dt}} \sigma$$

όπου: x είναι ο συντελεστής διόρθωσης του σχήματος του νήματος με μια τιμή 0.7127 που είναι ικανοποιητική για διασπορές κόμμεος γκουάρ (Torres, Hallmark, & Wilson, 2014), σ είναι η επιφανειακή τάση και D η διάμετρος που καταγράφηκε σε χρόνο t .

Μαθηματικά μοντέλα προσαρμοσμένα στα δεδομένα παραμόρφωσης- χρόνου χρησιμοποιήθηκαν για να αποκτηθούν περεταίρω δεδομένα όπως η ελαστική παραμόρφωση και οι χρόνοι χαλάρωσης. Τα καλύτερα αποτελέσματα για όλες τις συγκεντρώσεις δίνει η εξίσωση Maxwell (2) που δίνεται:

$$\frac{D}{D_o} = \left(\frac{GD_o}{\sigma} \right)^{\frac{1}{3}} e^{-\frac{t}{3\lambda}}$$

όπου: D_o είναι η αρχική διάμετρος του νήματος, G είναι ο εκτατικός ελαστικός συντελεστής, λ είναι ο χρόνος χαλάρωσης του συστήματος των συστατικών που περιέχονται. Όλες οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν τουλάχιστον 5 φορές. Η επιφανειακή τάση ισορροπίας (equilibrium surface tension) χρησιμοποιούμενη ως ξεχωριστή μεταβλητή στις εξισώσεις (1) και (2) μετρήθηκε σε ανεξάρτητα πείραμα χρησιμοποιώντας μια πλάκα Wilhemy εξοπλισμένη με τενσιόμετρο DWK (Harke, Beijing, China). Η θερμοκρασία των δειγμάτων ρυθμίστηκε στους 25°C

Στα διαλύματα που περιείχαν τροποποιημένο άμυλο πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μόνο για το διατμητικό ιξώδες χρησιμοποιώντας ένα ιξωδόμετρο Brookfield.

5.2 Οργανοληπτική δοκιμή

Στην οργανοληπτική δοκιμή δημιουργήθηκαν διαλύματα κόμμεος γκουάρ περιεκτικότητας 0g dL^{-1} , $0,25\text{g dL}^{-1}$, $0,5\text{g dL}^{-1}$, 1g dL^{-1} και $1,5\text{g dL}^{-1}$ στα οποία προστέθηκαν μονογλυκερίδια και αντίστοιχα διαλύματα τροποποιημένου αμύλου σε συγκεντρώσεις 0g dL^{-1} , $1,5\text{g dL}^{-1}$, 3g dL^{-1} , $4,5\text{g dL}^{-1}$ και 6g dL^{-1} . Τα οποία παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3: Δείγματα οργανοληπτικού ελέγχου

Δείγμα	Guar Gum (g dL^{-1})	Μονογλυκερίδια (g dL^{-1})
1	1,5	0
2	1	0
3	0,5	0
4	0,25	0
5	0	0
6	1,5	0,01
7	1	0,01
8	0,5	0,01
9	0,25	0,01
10	0	0,01

Δείγμα	Άμυλο (g dL^{-1})	Μονογλυκερίδια (g dL^{-1})
1	6	0
2	4,5	0
3	3	0
4	1,5	0
5	0	0
6	6	0,01
7	4,5	0,01
8	3	0,01
9	1,5	0,01
10	0	0,01

Η οργανοληπτική δοκιμή πραγματοποιήθηκε με τη συμμετοχή ενός πάνελ 15 εκπαιδευμένων ατόμων από το ακαδημαϊκό προσωπικό του τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων του Διεθνούς Πανεπιστημίου Ελλάδος. Οι μεταβλητές που μελετήθηκαν αφορούσαν στο παχύρευστο και την ευκολία κατάποσης των δειγμάτων. Πριν την έναρξη της οργανοληπτικής δοκιμής εξηγήθηκαν οι όροι αυτοί στους δοκιμαστές όπως αναφέρονται παρακάτω:

- Το παχύρευστο ως ο βαθμός αντίστασης του διαλύματος στη ροή στο στόμα κατά τη διάρκεια των κινήσεων της γλώσσας.
- Η ευκολία κατάποσης ως ο βαθμός δυσκολίας να περάσουν τα δείγματα από το στόμα στον φάρυγγα.

Η ένταση των μεταβλητών καταγράφηκε σε αδιαβάθμητες κλίμακες 15 cm ώστε να εκτιμηθεί ο βαθμός του παχύρευστου και η ευκολία κατάποσης των δειγμάτων κατά την στοματική επεξεργασία. Οι δοκιμαστές κλίθηκαν να σχηματίσουν μια κάθετη γραμμή για κάθε δείγμα στην κλίμακα στο σημείο που αντιπροσώπευε καλύτερα την αίσθησή τους για το μέγεθος της κάθε μεταβλητής.

Στο πειραματικό σχέδιο επιλέχθηκε η εφαρμογή της κλίμακας μέγιστου–ελάχιστου με τη συμμετοχή 15 δοκιμαστών και σύμφωνα με τις ιδιότητες του ισορροπημένου ατελώς ομαδοποιημένου σχεδίου: $t=10$ μεταχειρίσεις, $k=4$ περιορισμένες μεταχειρίσεις, $b=15$ δοκιμαστές, $n=6$ εμφανίσεις κάθε

μεταχείρισης και $\lambda=2$ συνευρέσεις κάθε ζεύγους μεταχειρίσεων. Τα πειράματα επαναλήφθηκαν 2 φορές προς μεγιστοποίηση της αξιοπιστίας.

Οι μονάδες δοκιμής τυχαιοποιήθηκαν με χρήση στατιστικού προγράμματος Minitab® 18.1(© 2017 Minitab Inc) για να οριστεί η σειρά αξιολόγησης τους στην οργανοληπτική δοκιμή, στη συνέχεια επιλέχθηκαν οι δοκιμαστές και αντιστοιχήθηκαν οι μονάδες δοκιμής κάθε πιάτου με έναν συγκεκριμένο τυχαιοποιημένο δοκιμαστή. Τέλος, σε κάθε μια μονάδα δοκιμής αποδόθηκαν 60 τυχαίοι αριθμοί ξεκινώντας από τον αριθμό 101 έως τον 999 με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος. Κάθε πιάτο που δόθηκε στους δοκιμαστές περιείχε 4 δείγματα τα οποία οδηγήθηκαν να τα δοκιμάσουν με συγκεκριμένη σειρά. Ανάμεσα στα δείγματα, προσφέρθηκε εμφιαλωμένο νερό για να καθαρίσουν την γευστική τους παλέτα.

Όλα τα δείγματα παρασκευάστηκαν μία ώρα πριν την οργανοληπτική δοκιμή με χρήση εμφιαλωμένου νερού σε θερμοκρασία δωματίου και δόθηκαν σύμφωνα με τα παρακάτω οργανοληπτικά σχέδια

Πίνακας 4: Οργανοληπτικό σχέδιο μεταχειρίσεων κόμμεος γκούαρ

Μεταχειρίσεις											
Δοκιμαστής	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σύνολο
1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	4
2	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	4
3	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	4
4	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	4
5	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	4
6	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	4
7	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	4
8	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4
9	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	4
10	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	4
11	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	4
12	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	4
13	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	4
14	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	4
15	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	4
Σύνολο	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	60

Πίνακας 5: Επαναληπτικό οργανοληπτικό σχέδιο μεταχειρίσεων κόμμεος γκούαρ

Μεταχειρίσεις											
Δοκιμαστής	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σύνολο
1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	4
2	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	4

3	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	4
4	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	4
5	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	4
6	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	4
7	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	4
8	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	4
9	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4
10	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	4
11	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	4
12	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	4
13	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	4
14	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	4
15	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	4
Σύνολο	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	60

Πίνακας 6: Οργανοληπτικό σχέδιο μεταχειρίσεων αμύλου

Μεταχειρίσεις											
Δοκιμαστής	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σύνολο
1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	4
2	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4
3	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	4
4	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	4
5	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	4
6	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	4
7	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	4
8	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	4
9	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	4
10	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	4
11	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	4
12	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	4
13	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	4
14	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	4
15	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	4
Σύνολο	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	60

Πίνακας 7: Επαναληπτικό οργανοληπτικό σχέδιο μεταχειρίσεων αμύλου

Μεταχειρίσεις											
Δοκιμαστής	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σύνολο
1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	4
2	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	4
3	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	4
4	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	4
5	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	4
6	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	4
7	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	4
8	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	4
9	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	4
10	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	4
11	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	4
12	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	4
13	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	4

14	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	4
15	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	4
Σύνολο	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	60

5.3 Στατιστική επεξεργασία

Στα δείγματα που πραγματοποιήθηκε η οργανοληπτική δοκιμή μελετήθηκε ταυτόχρονα η επίδραση δυο παραγόντων. Όταν αναλύεται η δράση περισσότερων από έναν παραγόντων σε μια μεταβλητή έχουμε *παραγοντική ανάλυση διακύμανσης*. Στην παραγοντική ανάλυση διακύμανσης μπορούμε να μελετήσουμε σε ένα μόνο πείραμα την δράση πολλών παραγόντων και ταυτόχρονα να ελέγξουμε αν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών (Πετρίδης, 2016). Η στατιστική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε με το λογιστικό πρόγραμμα Minitab® 18.1 και το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είναι ανάλυση διακύμανσης δυο παραγόντων (two way ANOVA). Επιλέχθηκαν δύο παράγοντες A (Guar Gum ή τροποποιημένο άμυλο) και B (μονογλυκερίδια) με αντίστοιχο αριθμό επιπέδων α και β και n επαναλήψεις σε κάθε επίπεδο, μελετήθηκε η επίδραση του καθενός στις μελετώμενες μεταβλητές και η αλληλεπίδραση τους. Τα αποτελέσματα θεωρήθηκαν στατιστικά σημαντικά στις περιπτώσεις όπου η πιθανότητα p ήταν μικρότερη ή ίση από το επίπεδο αναφοράς 0,05.

Στη συνέχεια, με βάση την κλίμακα καλύτερου-χειρότερου (Best-Worst scaling), βρέθηκε ποιο δείγμα θεωρούν οι δοκιμαστές περισσότερο και ποιο λιγότερο παχύρευστο σε κάθε περίπτωση. Η μέθοδος αυτή, καλεί τον δοκιμαστή να επιλέξει δύο ακραία προϊόντα, τα οποία τοποθετούνται στα άκρα μιας κλίμακας μέγιστης διαφοράς και στη συνέχεια παράγει μια βαθμιδωτή κατάταξη των προϊόντων από το σύνολο των αποκρίσεων.

6. Αποτελέσματα και συζήτηση

6.1 Διαλύματα τροποποιημένου αμύλου

Από τα αποτελέσματα που συλλέχτηκαν, εκτιμήθηκαν οι διορθωμένοι Μέσοι Όροι για κάθε μεταχείριση ανά μεταβλητή, στις 2 επαναλήψεις, οι οποίοι ακολούθως αντιστοιχήθηκαν στα συνδυασμένα επίπεδα του παραγοντικού σχεδίου. Οι μέσοι όροι αντιπροσωπεύουν την απόσταση κάθε δείγματος στις αδιαβάθμητες κλίμακες.

ΠΑΧΥΡΕΥΣΤΟ		Επανάληψη			
		1		2	
Άμυλο	Μονογλυκερίδια	0 g dL ⁻¹	0,01 g dL ⁻¹	0 g dL ⁻¹	0,01 g dL ⁻¹
	0 g dL ⁻¹	1,01	1,75	0,82	0,99
	1,5 g dL ⁻¹	2,07	3,16	3,73	1,59
	3 g dL ⁻¹	3,42	4,49	5,51	4,53
	4,5 g dL ⁻¹	9,91	6,45	8,01	8,73
6 g dL ⁻¹	12,27	12,86	12,52	12,88	

ΕΥΚΟΛΙΑ ΚΑΤΑΠΟΣΗΣ		Επανάληψη			
		1		2	
Άμυλο	Μονογλυκερίδια	0 g dL ⁻¹	0,01 g dL ⁻¹	0 g dL ⁻¹	0,01 g dL ⁻¹
	0 g dL ⁻¹	14,13	13,31	12,40	13,31
	1,5 g dL ⁻¹	14,76	12,82	10,03	13,55
	3 g dL ⁻¹	13,02	11,4	7,45	9,425
	4,5 g dL ⁻¹	6,27	9,41	7,75	6,39
6 g dL ⁻¹	4,55	2,81	4,26	3,16	

Εφαρμόστηκε ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων με δύο επαναλήψεις και έδειξε στατιστική σημαντικότητα ($p < 0.05$) μόνο στον όρο *άμυλο*, τόσο στην αίσθηση του παχύρευστου όσο και στην ευκολία κατάποσης των δειγμάτων. Γεγονός που αποδεικνύει ότι η προσθήκη μονογλυκεριδίων δεν επηρεάζει στατιστικά σημαντικά την αίσθηση του παχύρευστου ή την κατάποση.

Παχύρευστο	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Άμυλο	4	344,61	86,153	89,28	0,000
Μονογλυκερίδια	1	0,182	0,182	0,19	0,673
Αλληλεπίδραση	4	2,447	0,612	0,63	0,650
Error	10	9,649	0,965		
Ευκολία κατάποσης	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Άμυλο	4	256,125	64,031	17,70	0,000
Μονογλυκερίδια	1	0,035	0,0353	0,01	0,923

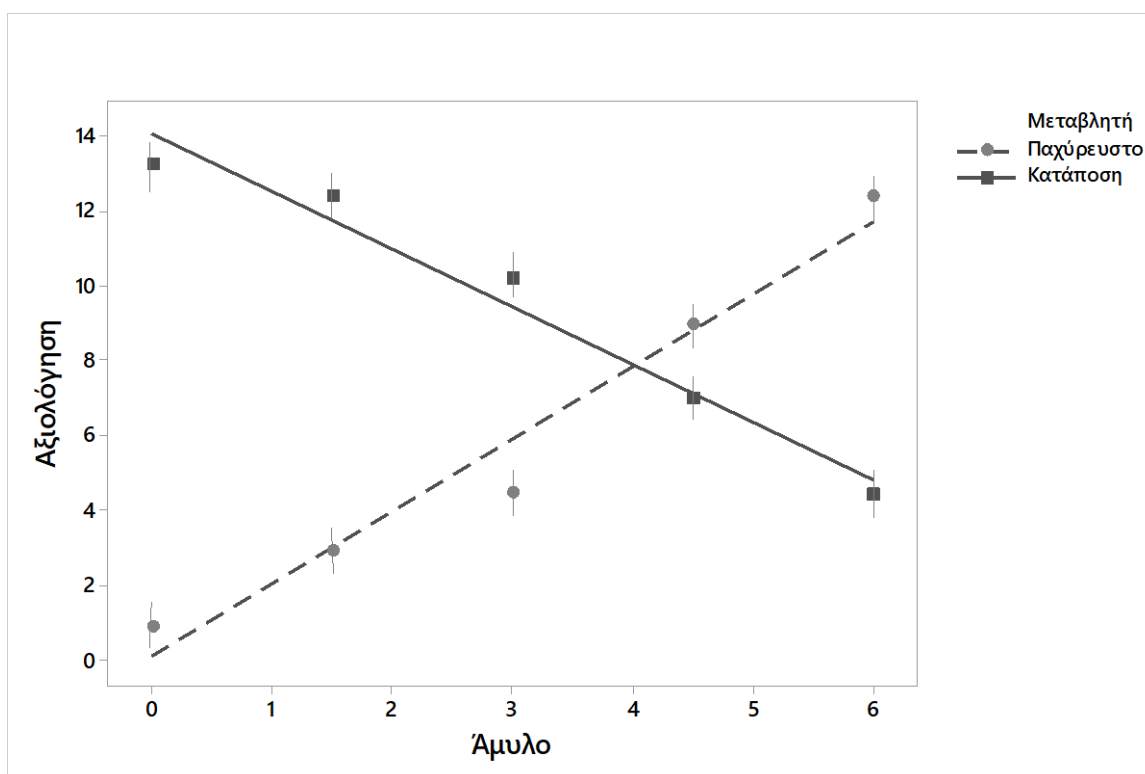
Αλληλεπίδραση	4	3,586	0,896	0,25	0,905
Error	10	36,174	3,617		

Ο συντελεστής η^2 για το παχύρευστο είναι **97,30%** ενώ για την ευκολία κατάποσης **87,78%**. Οι δύο τιμές βρίσκονται πολύ κοντά στο 100 γεγονός που δηλώνει έντονη γραμμική σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης αμύλου και των μελετώμενων μεταβλητών. Επιπλέον, η σχέση μεταξύ των οργανοληπτικών μεταβλητών και του αμύλου παρουσιάζεται από τις γραμμικές εξισώσεις:

Παχύρευστο= $-2,77+2,9$ άμυλο ($R^2 = 96,3\%$)

Ευκολία κατάποσης= $16,398- 2,311$ άμυλο ($R^2 = 96,63\%$)

Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση της συγκέντρωσης του αμύλου προκαλεί αύξηση της αίσθησης του παχύρευστου κατά 2,9 και μείωση της ευκολίας κατάποσης κατά 2,31 ανά μεταχείριση.



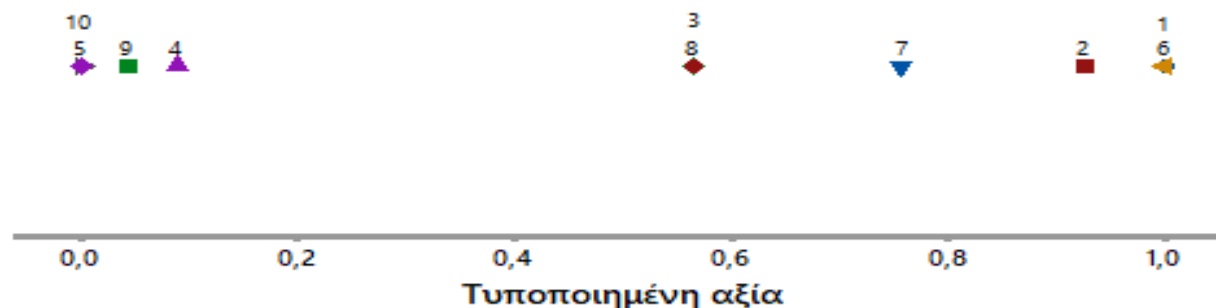
Εικόνα 4: Επίδραση της συγκέντρωσης τροποποιημένου αμύλου στην αίσθηση του παχύρευστου και στην ευκολία κατάποσης. Οι κάθετες ευθείες παριστούν τα 95% όρια εμπιστοσύνης των μέσων όρων με βάση υπολογισμού το σφάλμα EMS της ανάλυσης διακύμανσης.

Στο παραπάνω διάγραμμα, εικόνα 4, φαίνεται ότι όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα του αμύλου στα διαλύματα υπάρχει γραμμική αύξηση της αίσθησης του παχύρευστου ενώ ταυτόχρονα μειώνεται γραμμικά η ευκολία κατάποσης.

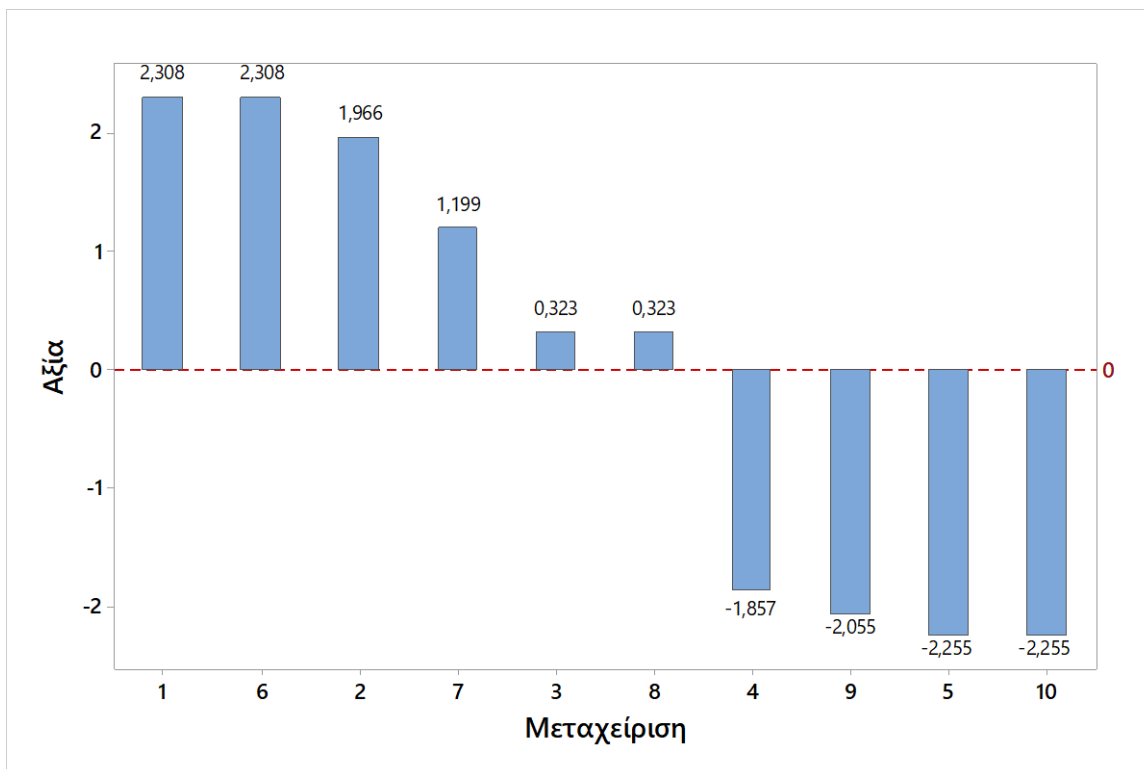
Επιπλέον, όσον αφορά στην αίσθηση του παχύρευστου, οι δοκιμαστές κλήθηκαν να επιλέξουν ποιο δείγμα τους φάνηκε περισσότερο και ποιο λιγότερο παχύρευστο. Στον πίνακα 8 παρουσιάζεται η αξιολόγηση ως προς το παχύρευστο ανά μεταχείριση, με φθίνουσα κατεύθυνση, αναφορικά με τη συχνότητα μέγιστου-ελάχιστου, τον τυπικό βαθμό και την αξία, λογαριθμική και τυποποιημένη. Με βάση την τυποποιημένη αξία δημιουργήθηκε κλίμακα μονοδιάστατης μεταβολής και κατανεμήθηκε ο τυπικός βαθμός και οι αποκρίσεις των δοκιμαστών.

Πίνακας 8: Αξιολόγηση διαλυμάτων αμύλου ως προς το παχύρευστο

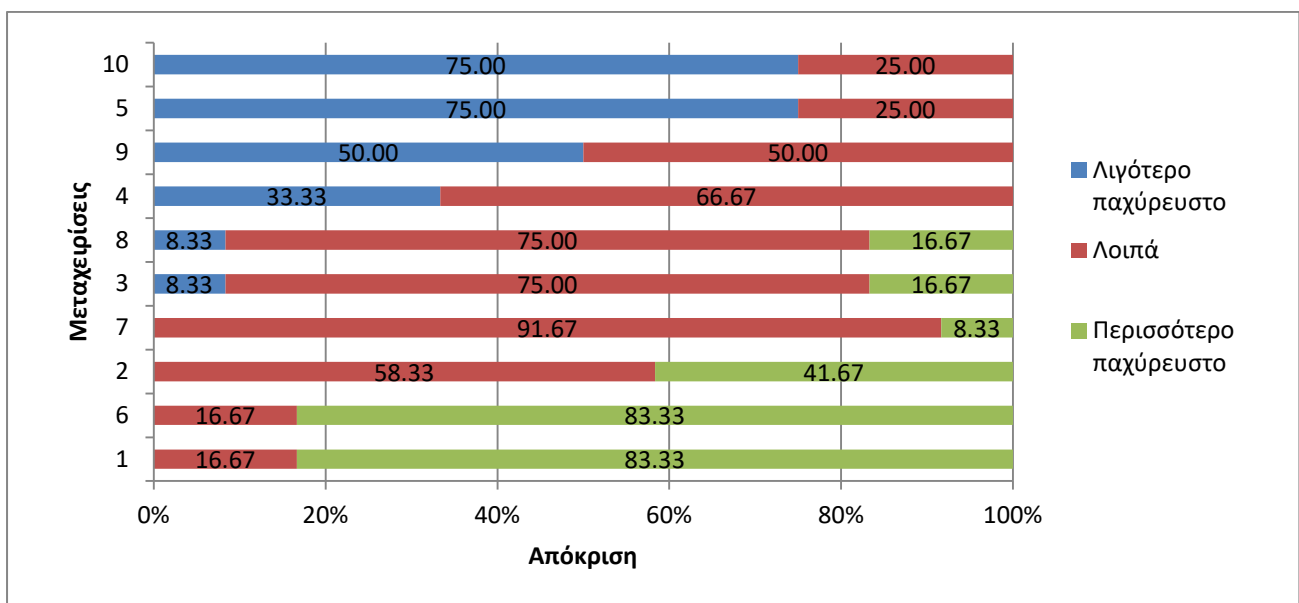
Μεταχείριση	Λιγότερο παχύρευστο	Λοιπά	Περισσότερο παχύρευστο	Τυπικός βαθμός	Αξία	Τυποποιημένη αξία
1	0	2	10	0,111	2,308	1,00
6	0	2	10	0,111	2,308	1,00
2	0	7	5	0,056	1,966	0,93
7	0	11	1	0,011	1,199	0,76
3	1	9	2	0,011	0,323	0,56
8	1	9	2	0,011	0,323	0,56
4	4	8	0	-0,044	-1,857	0,09
9	6	6	0	-0,067	-2,055	0,04
5	9	3	0	-0,100	-2,255	0,00
10	9	3	0	-0,100	-2,255	0,00



Εικόνα 5: Μονοδιάστατη κλίμακα μεταβολής παχύρευστου διαλυμάτων αμύλου παρουσία και απουσία μονογλυκεριδίων



Εικόνα 6: Κατανομή του τυπικού βαθμού αξιολόγησης του παχύρευστου ανά διάλυμα αμόλου διαφορετικής συγκέντρωσης παρουσία και απουσία μονογλυκεριδίων

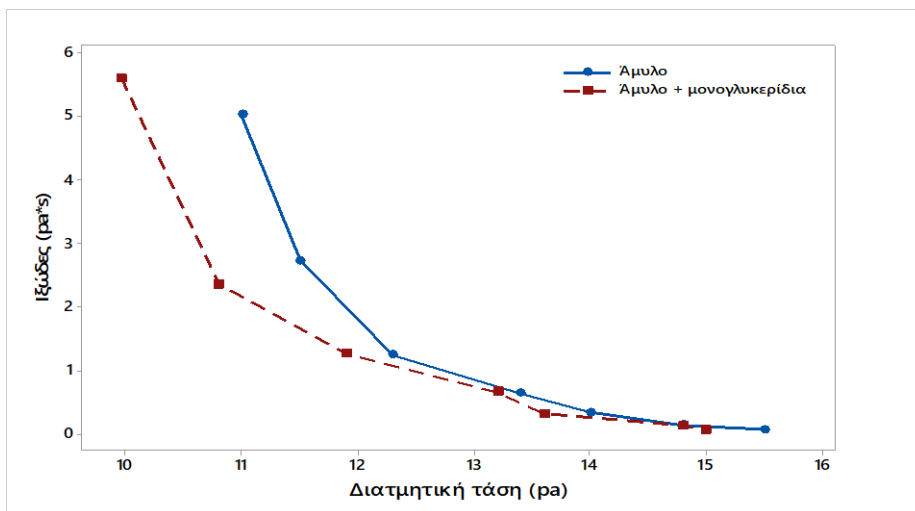


Εικόνα 7: Ποσοστιαία κατανομή των αποκρίσεων B-W των δοκιμαστών ως προς το παχύρευστο των διαλυμάτων αμόλου

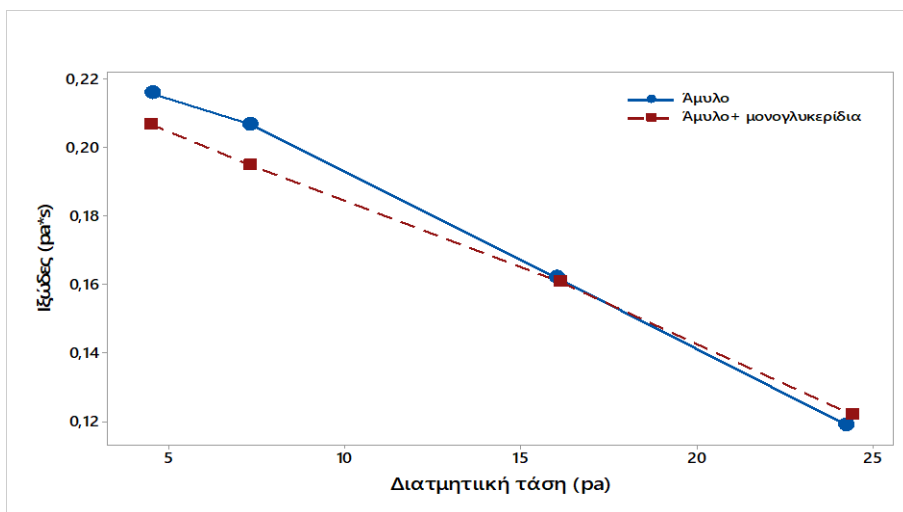
Από την κλίμακα και τα διαγράμματα συμπεραίνεται ότι τα μονογλυκερίδια δεν επηρεάζουν την αίσθηση του παχύρευστου διότι τα διαλύματα παρουσία και απουσία αυτών αξιολογήθηκαν με τον ίδιο τρόπο. Τα διαλύματα 0g dL^{-1} και $1,5\text{g dL}^{-1}$ περιεκτικότητας σε άμυλο ήταν τα λιγότερο παχύρευστα, ενώ όσο αύξανε η περιεκτικότητα αύξανε και η αίσθηση του παχύρευστου. Τα πιο

παχύρευστα διαλύματα με μικρή διαφορά μεταξύ τους ήταν αυτά που είχαν συγκέντρωση 6 g dL^{-1} και $4,5\text{ g dL}^{-1}$ άμυλο. Στα διαλύματα με 3 g dL^{-1} άμυλο παρόλο που η συγκέντρωση βρίσκεται ανάμεσα στο $1,5\text{ g dL}^{-1}$ και το $4,5\text{ g dL}^{-1}$, από την κλίμακα διαπιστώνεται ότι η αίσθηση του παχύρευστου βρίσκεται πιο κοντά προς το παχύρευστο (στο διάγραμμα της αξίας βρίσκονται πάνω από το 0). Δηλαδή, σε συγκέντρωση αμύλου 3 g dL^{-1} τα διαλύματα έγιναν αισθητά πιο παχύρευστα.

Τα αποτελέσματα της ρεολογικής δοκιμής παρουσιάζονται σχηματικά στις εικόνες 8 και 9. Παρατηρείται ότι με την αύξηση της διατμητικής τάσης, μειώνεται σταδιακά το ιξώδες τόσο σε χαμηλή όσο και σε υψηλή συγκέντρωση αμύλου. Η προσθήκη μονογλυκεριδίων δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά το διατμητικό ιξώδες καθώς οι δύο καμπύλες βρίσκονται αρκετά κοντά μεταξύ τους.



Εικόνα 8: Διάγραμμα διατμητικού ιξώδους διαλυμάτων αμύλου 3 g dL^{-1}



Εικόνα 9: Διάγραμμα διατμητικού ιξώδους διαλυμάτων αμύλου 6 g dL^{-1}

6.2 Διαλύματα κόμμεος γκουάρ

Όμοια, για τα διαλύματα του κόμμεος γκουάρ, από τα στοιχεία που συλλέχθηκαν εκτιμήθηκαν οι διορθωμένοι Μέσοι Όροι για κάθε μεταχείριση ανά μεταβλητή, στις 2 επαναλήψεις που πραγματοποιήθηκαν οι οποίοι ακολούθως αντιστοιχίστηκαν στα συνδυασμένα επίπεδα του παραγοντικού σχεδίου.

ΠΑΧΥΡΕΥΣΤΟ		Επανάληψη			
		1		2	
	Μονογλυκερίδια	0 g dL ⁻¹	0,01 g dL ⁻¹	0 g dL ⁻¹	0,01 g dL ⁻¹
Guar Gum	0 g dL ⁻¹	0,14	0,0	1,47	1,79
	0,25 g dL ⁻¹	3,66	3,689	4,89	3,34
	0,5 g dL ⁻¹	6,42	3,98	4,97	3,72
	1 g dL ⁻¹	9,9	10,6	9,59	10,80
	1,5 g dL ⁻¹	13,3	13,48	12,51	11,87

ΕΥΚΟΛΙΑ ΚΑΤΑΠΟΣΗΣ		Επανάληψη			
		1		2	
	Μονογλυκερίδια	0 g dL ⁻¹	0,01 g dL ⁻¹	0 g dL ⁻¹	0,01 g dL ⁻¹
Guar Gum	0 g dL ⁻¹	15	14,2	12,95	12,66
	0,25 g dL ⁻¹	12,04	11,83	10,785	13,17
	0,5 g dL ⁻¹	9,92	9,96	10,94	8,96
	1 g dL ⁻¹	7,09	5,41	7,64	5,17
	1,5 g dL ⁻¹	2,69	3,64	3,6	5,87

Εφαρμόστηκε ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων με δύο επαναλήψεις και έδειξε στατιστική σημαντικότητα μόνο στον όρο *Guar Gum* τόσο στην οργανοληπτική αίσθηση του παχύρευστου όσο και στην ευκολία κατάποσης των δειγμάτων.

Παχύρευστο	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Κόμμι γκουαρ	4	258,64	258,64	64,66	69,16	0,000
Μονογλυκερίδια	1	0,255	0,255	0,255	0,27	0,613
Αλληλεπίδραση	4	9,469	9,469	2,367	2,53	0,106
Error	10	9,35	0,94			
Ευκολία κατάποσης	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Κόμμι γκουάρ	4	382,549	382,549	95,637	149,81	0,000
Μονογλυκερίδια	1	0,707	0,707	0,707	1,11	0,317
Αλληλεπίδραση	4	4,238	4,238	1,059	1,66	0,235

Error	10	6,38	0,64			
-------	----	------	------	--	--	--

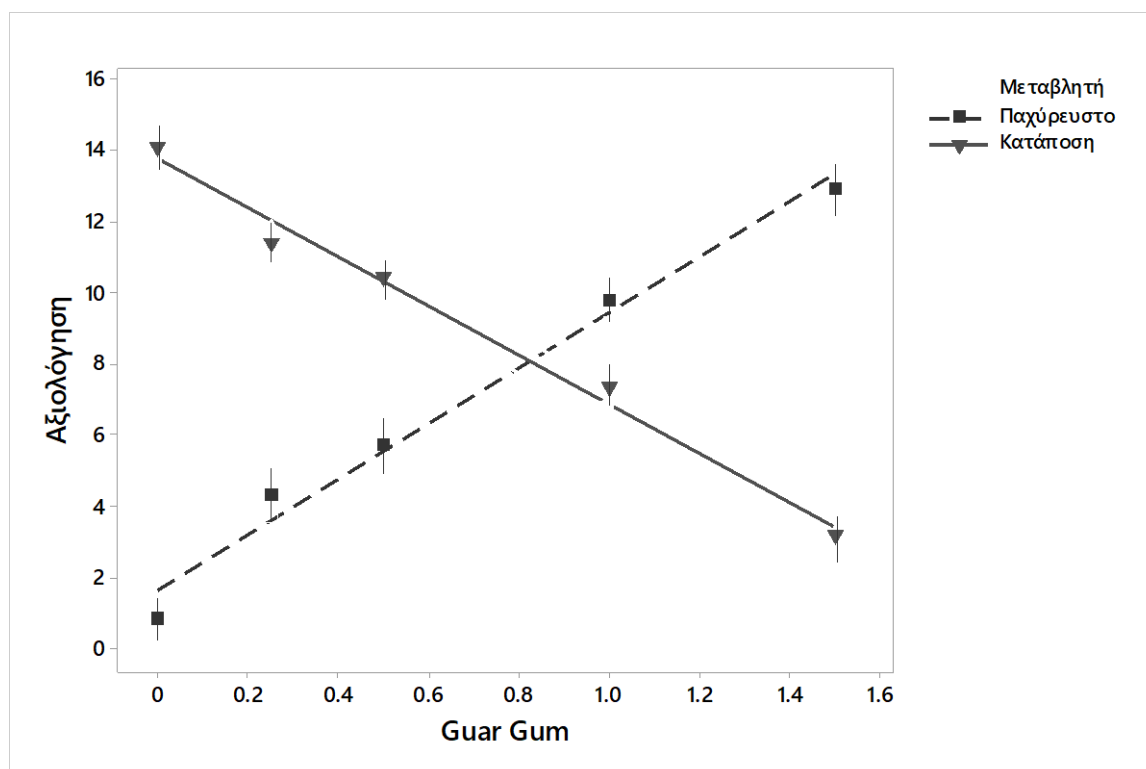
Η ανάλυση διακύμανσης έδειξε ότι μόνο ο παράγοντας κόμμι γκουάρ επηρεάζει στατιστικά σημαντικά ($p < 0.05$) την οργανοληπτική αίσθηση του παχύρευστου και την ευκολία κατάποσης των δειγμάτων. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει έντονη γραμμική σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης του κόμμιος και των μελετώμενων μεταβλητών διότι ο συντελεστής η^2 είναι **93,13%** για το παχύρευστο και **97,12%** για την ευκολία κατάποσης.

Η σχέση μεταξύ του κόμμιος γκουάρ και των μελετώμενων μεταβλητών περιγράφεται από τις γραμμικές εξισώσεις:

$$\text{Παχύρευστο} = -2,215 + 2,967 \text{ guar gum } (R^2 = 98,44\%)$$

$$\text{Ευκολία κατάποσης} = 17,07 - 2,593 \text{ guar gum } (R^2 = 95,68\%)$$

Δηλαδή, η αύξηση της συγκέντρωσης του κόμμιος γκουάρ προκαλεί αύξηση της αίσθησης του παχύρευστου με ρυθμό 2,97 και μείωση της ευκολίας κατάποσης με ρυθμό 2,59 ανά μεταχείριση.



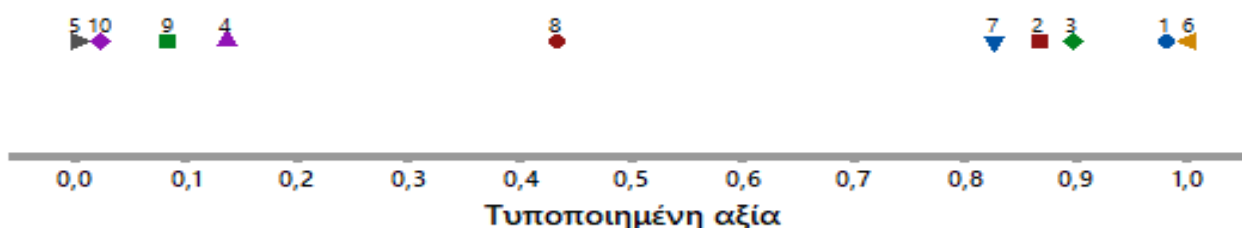
Εικόνα 10 : Επίδραση της συγκέντρωσης κόμμιος γκουάρ στην αίσθηση του παχύρευστου και στην ευκολία κατάποσης. Οι κάθετες ευθείες παριστούν τα 95% όρια εμπιστοσύνης των μέσων όρων με βάση υπολογισμό το σφάλμα EMS της ανάλυσης διακύμανσης

Η εικόνα 10 δείχνει τα αποτελέσματα της οργανοληπτικής αξιολόγησης του παχύρευστου και της ευκολίας κατάποσης σε υδατικά διαλύματα κόμμεος γκούαρ. Φαίνεται ότι όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του στα διαλύματα υπάρχει γραμμική αύξηση της αίσθησης του παχύρευστου ενώ ταυτόχρονα μειώνεται γραμμικά η ευκολία κατάποσης.

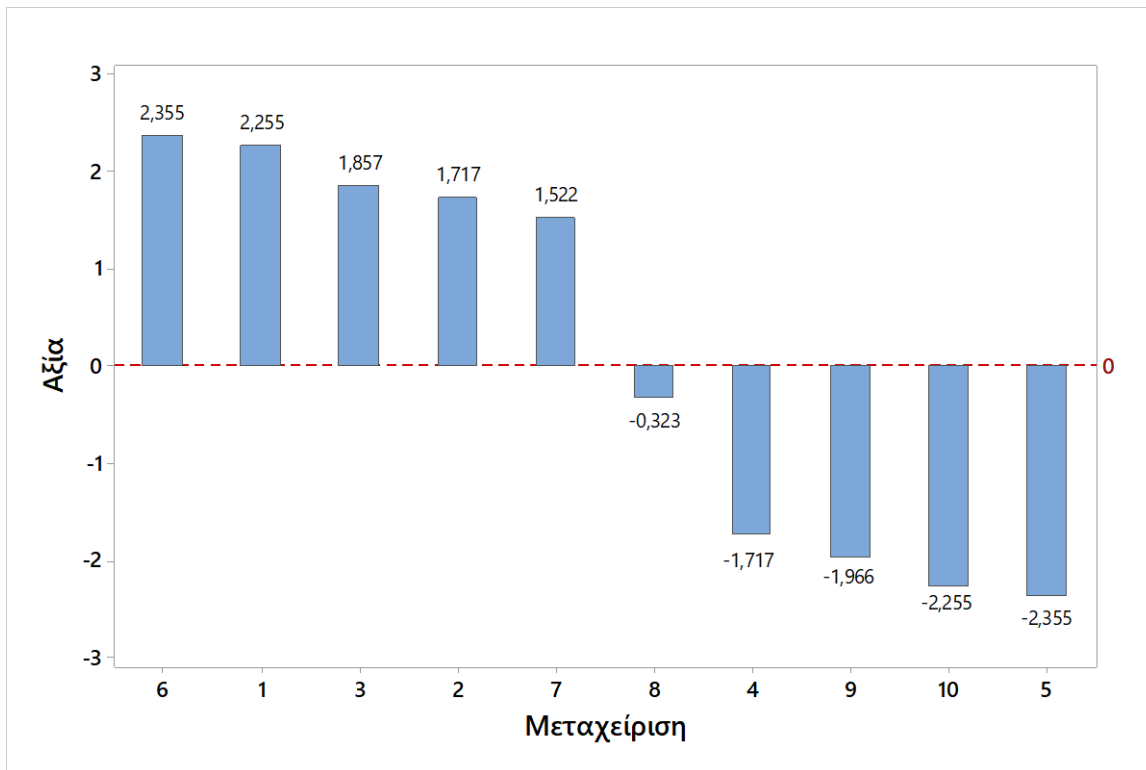
Όσον αφορά στην αίσθηση του παχύρευστου οι δοκιμαστές κλήθηκαν να επιλέξουν ποιο δείγμα τους φάνηκε περισσότερο και ποιο λιγότερο παχύρευστο. Στον πίνακα παρουσιάζεται η αξιολόγηση ως προς το παχύρευστο ανά μεταχείριση, με φθίνουσα κατεύθυνση, αναφορικά με τη συχνότητα μέγιστου-ελάχιστου, τον τυπικό βαθμό και την αξία λογαριθμική και τυποποιημένη. Με βάση την τυποποιημένη αξία δημιουργήθηκε κλίμακα μονοδιάστατης μεταβολής:

Πίνακας 9: Αξιολόγηση διαλυμάτων κόμμεος γκούαρ ως προς το παχύρευστο

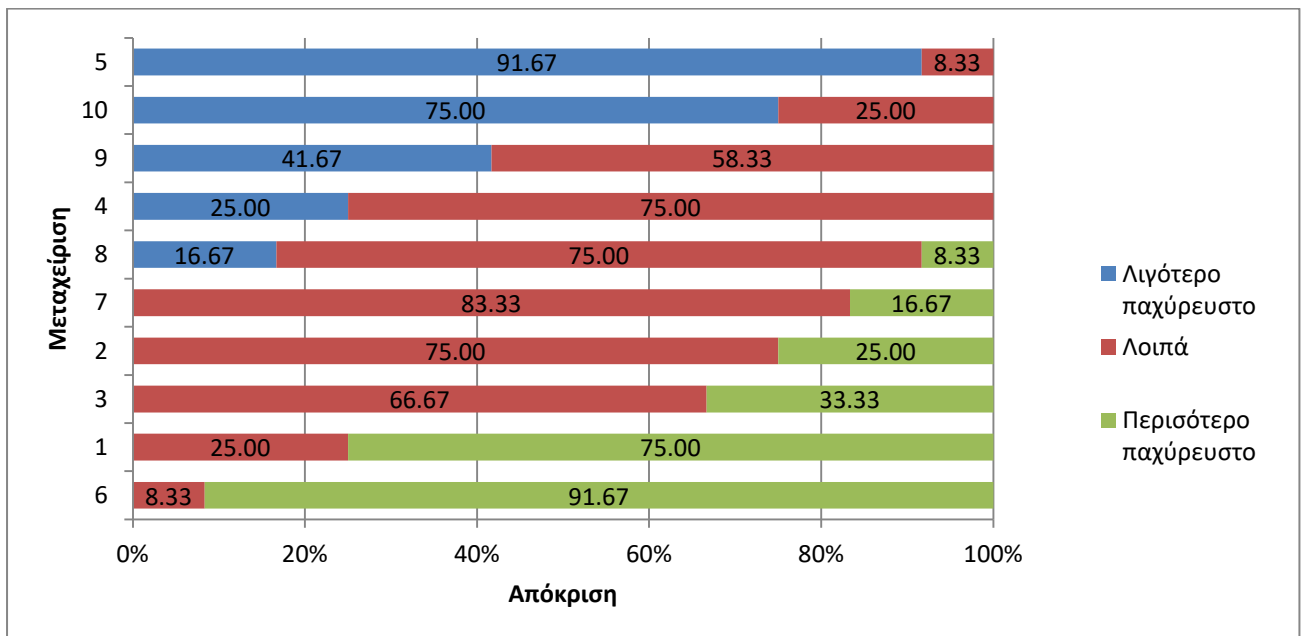
Μεταχείριση	Λιγότερο παχύρευστο	Λοιπά	Περισσότερο παχύρευστο	Τυπικός βαθμός	Αξία	Τυποποιημένη αξία
6	0	1	11	0,122	2,355	1
1	0	3	9	0,100	2,255	0,979
3	0	8	4	0,044	1,857	0,894
2	0	9	3	0,033	1,717	0,865
7	0	10	2	0,022	1,522	0,823
8	2	9	1	-0,011	-0,323	0,4314
4	3	9	0	-0,033	-1,717	0,135
9	5	7	0	-0,056	-1,966	0,083
10	9	3	0	-0,100	-2,255	0,021
5	11	1	0	-0,122	-2,355	0



Εικόνα 11: Μονοδιάστατη κλίμακα μεταβολής παχύρευστου διαλυμάτων κόμμεος γκούαρ παρουσία και απουσία μονογλυκεριδίων



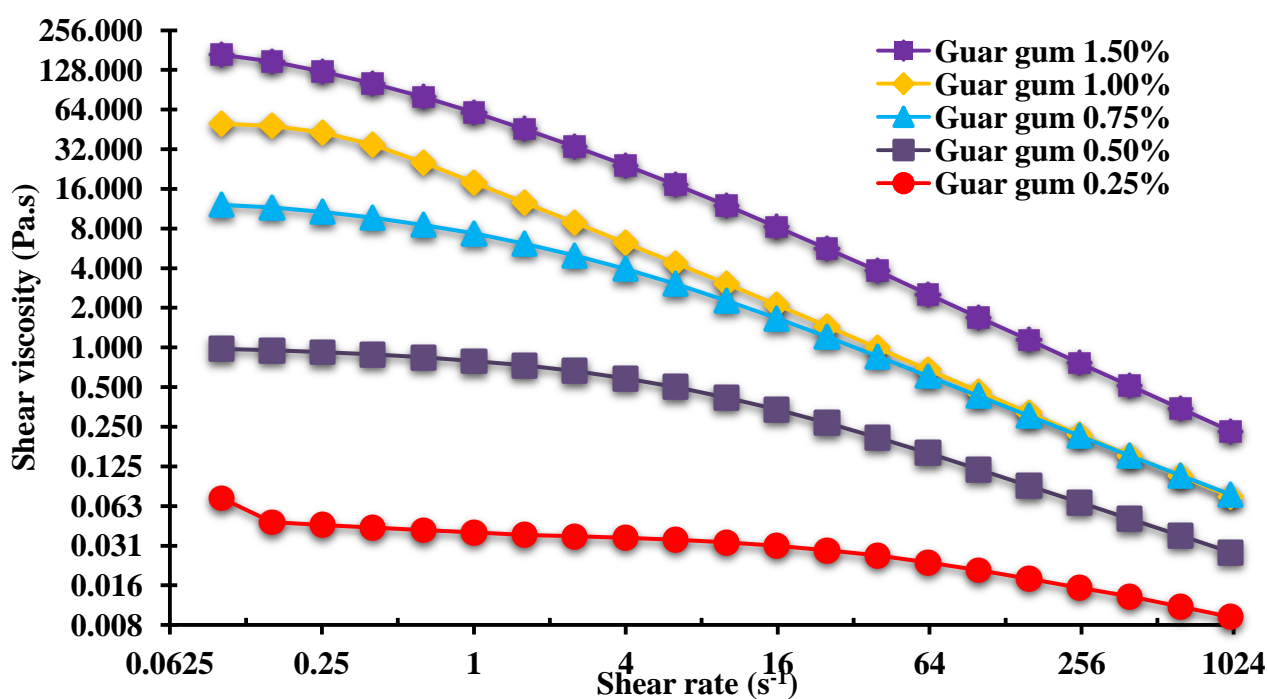
Εικόνα 12: Κατανομή του τυπικού βαθμού αξιολόγησης του παχύρευστου ανά διάλυμα κόμμεος γκουάρ διαφορετικής συγκέντρωσης παρουσία και απουσία μονογλυκεριδίων



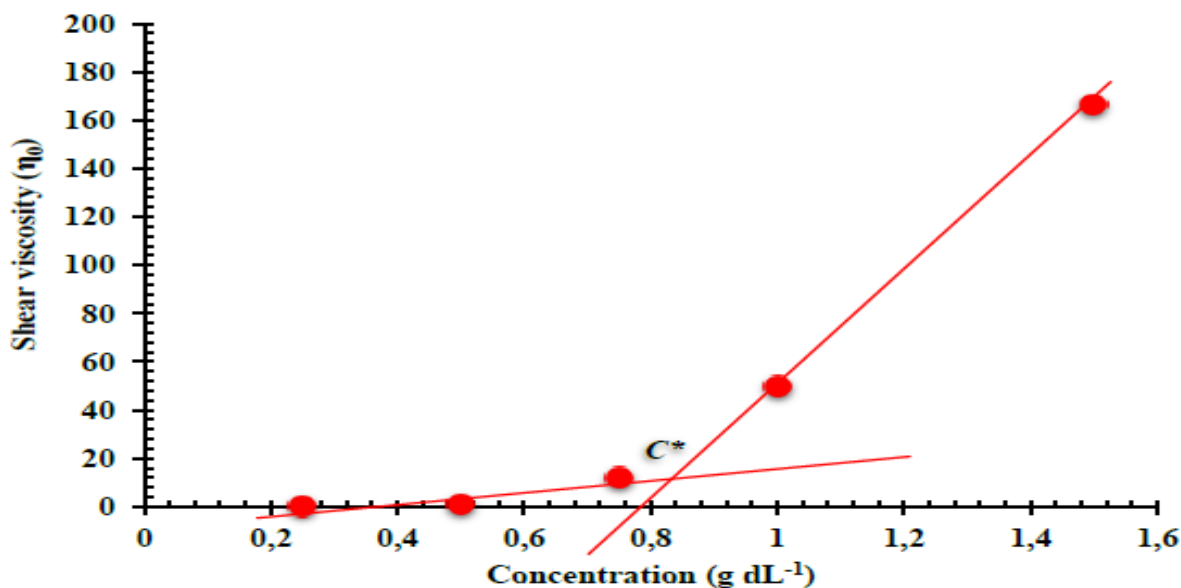
Εικόνα 13: Ποσοστιαία κατανομή των αποκρίσεων B-W των δοκιμαστών ως προς το παχύρευστο των διαλυμάτων κόμμεος γκουάρ

Από την κλίμακα και τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι οι μεταχειρίσεις που είχαν 0g dL⁻¹ και 0,25g dL⁻¹ κόμμι γκουάρ παρουσία και απουσία μονογλυκεριδίων αξιολογήθηκαν ως οι λιγότερο παχύρρευστες ενώ οι μεταχειρίσεις που είχαν 1,5g dL⁻¹, 1g dL⁻¹ και 0,5g dL⁻¹ αξιολογήθηκαν ως πολύ παχύρρευστες με εξαίρεση την μεταχείριση 8 (0,5g dL⁻¹ κόμμι γκουάρ και 0,01g dL⁻¹ μονογλυκερίδια).

Προκειμένου να συνδεθούν τα οργανοληπτικά αποτελέσματα με τα ρεολογικά πραγματοποιήθηκαν μελέτες τόσο για το εκτατικό όσο και για το διατμητικό ιξώδες των διαλυμάτων.



Εικόνα 14: Διάγραμμα μεταβολής του ιξώδους διαλυμάτων διαφορετικής συγκέντρωσης κόμμιος γκουάρ σε συνάρτηση με τη διατμητική τάση

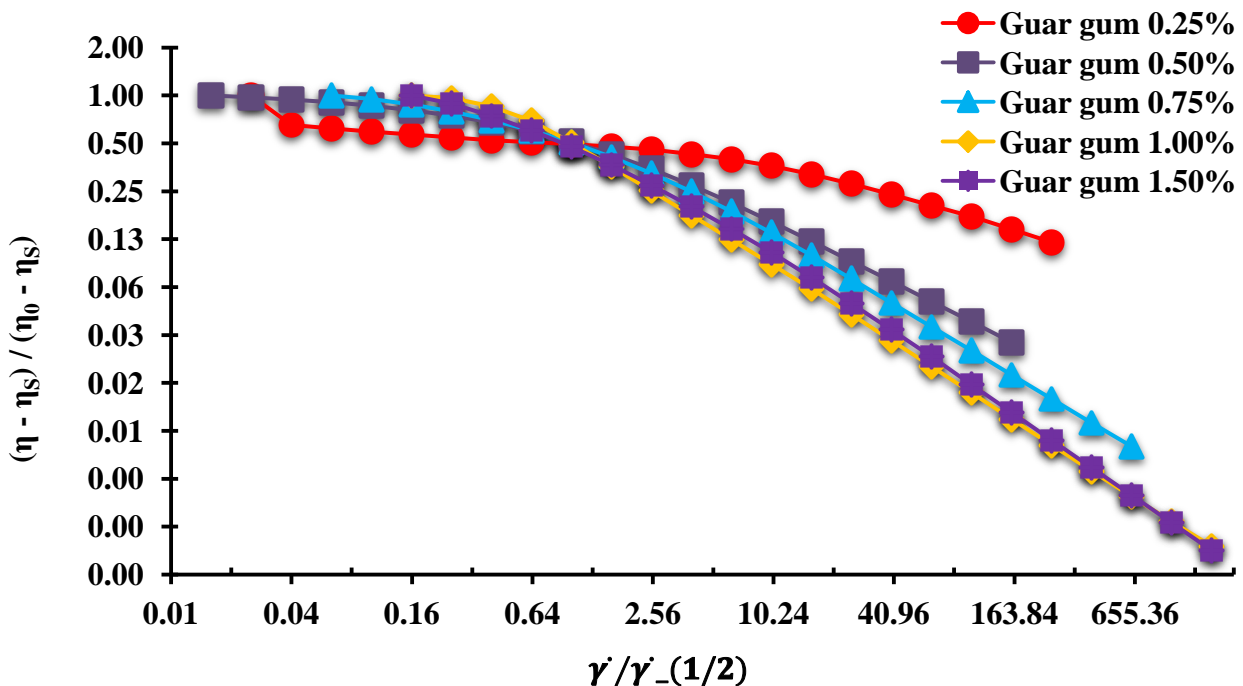


Εικόνα 15: Διάγραμμα μεταβολής του ιξώδους διαλυμάτων κόμμεος γκουάρ συναρτήσει της συγκέντρωσης

Το πρώτο διάγραμμα της εικόνας 16 δείχνει τα αποτελέσματα των εκτατικών δοκιμών στις υδατικές διασπορές του κόμμεος γκουάρ σε συγκεντρώσεις από 0,25g dL⁻¹ έως 1,5g dL⁻¹. Η συμπεριφορά των δειγμάτων χαρακτηρίζεται από διατμητική λέπτυνση καθώς το ιξώδες χαμηλού ρυθμού διάτμησης κινείται από 0,05 Pa s μέχρι 166 Pa s σε ρυθμό τάσης 0,1 s⁻¹ ενώ σε τάση 10³ s⁻¹, μειώνεται και οι τιμές ποικίλουν από 0,009 Pa s (0,25 dL⁻¹) μέχρι 0,23 Pa s (1,5 dL⁻¹). Η ικανότητα του κόμμεως γκουάρ να επηρεάζει το ιξώδες σε τέτοιες συγκεντρώσεις είναι γνωστή πρακτική στην επεξεργασία των τροφίμων και έχει μελετηθεί στο παρελθόν (e.g. Torres, Hallmark, & Wilson, 2014). Η ικανότητα του να αυξάνει το ιξώδες υδατικών διαλυμάτων μπορεί να εξηγηθεί από τις ιδιότητες του να καλύπτει κενά, των οποίων ένας καλός δείκτης είναι ο συντελεστής επικάλυψης c* (semi-dilute limit).

Στο δεύτερο διάγραμμα της εικόνας 16 παρουσιάζεται το ιξώδες κάθε διαλύματος σε χαμηλό ρυθμό διάτμησης (0,1 s⁻¹). Όπως παρατηρήθηκε και κατά την οργανοληπτική δοκιμή, το ιξώδες των διαλυμάτων αυξάνει με τη συγκέντρωση. Γεγονός που έρχεται σε συμφωνία με την παρατήρηση ότι υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ του στοματικά αντιληπτού ιξώδους με αυτό που μετράται μηχανικά (Lv, Chen, & Holmes 2017). Το ιξώδες χαμηλού ρυθμού ενός πολυμερούς μπορεί να δώσει πληροφορίες για τις ιδιότητες του ως active filler, καθώς οι δυνάμεις που ασκούνται είναι πολύ μικρές ώστε να προκαλέσουν διάσπαση στη διαμόρφωση του πολυμερούς. Ένα σημείο διάσπασης (break point) φαίνεται ξεκάθαρα σε συγκέντρωση 0,8g dL⁻¹, όπου μπορεί να χαρακτηριστεί ως σημείο c* (semi-dilute point). Πάνω από τη συγκέντρωση αυτή, η κίνηση των ανεξάρτητων

πολυμερών αλυσίδων περιορίζεται εξαιτίας των γειτονικών μορίων. Όταν ο ρυθμός διάτμησης λαμβάνει τιμές 50s^{-1} που είναι αντιπροσωπευτικό των δυνάμεων στο στόμα δεν εμφανίζεται γραμμική σχέση με το εκτατικό ιξώδες. Η έλλειψη συνέχειας μεταξύ $0,5$ και 1g dL^{-1} φαίνεται να σχετίζεται με την αλλαγή του συστήματος από αραιό σε ημί-αραιό.

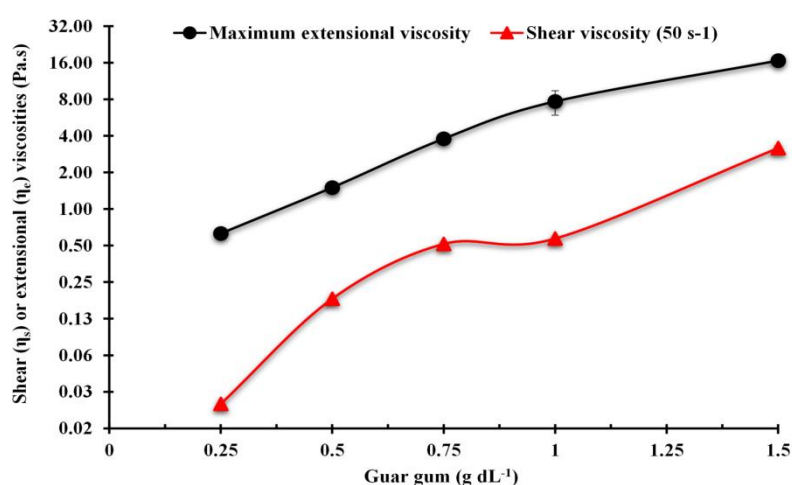


Εικόνα 16: Τυποποιημένες καμπύλες ροής διαλυμάτων κόμμεος γκουάρ διαφορετικής συγκέντρωσης

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση του κόμμεος γκουάρ στο ιξώδες έγινε τυποποίηση των καμπυλών ροής με βάση το ιξώδες του διαλύτη σε αυθαίρετο πειραματικό ρυθμό διάτμησης. Η επεξεργασία αυτή των δεδομένων επιτρέπει τη σύγκριση καμπυλών ροής σε μια κοινή κλίμακα δημιουργώντας μια κύρια καμπύλη (master curve). Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν προσαρμόστηκαν σε κύριες καμπύλες απαλλαγμένες από το σχετικό ιξώδες του διαλύτη $(\eta - \eta_s) / (\eta_0 - \eta_s)$ έναντι της αναλογίας του ρυθμού διάτμησης (γ') προς τον ρυθμό διάτμησης που προκαλεί τη μείωση του ιξώδους χωρίς διαλύτη κατά το ήμισυ ($\gamma'_{1/2}$). Όπου (η) το διατμητικό ιξώδες, (η_0) το μέγιστο ιξώδες σε χαμηλή διατμητική τάση και (η_s) το ιξώδες του διαλύτη που στην προκειμένη περίπτωση είναι νερό. Εφ' όσον τα πολυμερή έχουν ίδιο μέγεθος, διαμόρφωση και ακαμψία και αλληλεπιδρούν με παρόμοιο τρόπο με το περιβάλλον τους οι μεμονωμένες καμπύλες πρέπει να επικαλύπτονται (Morris, 1990).

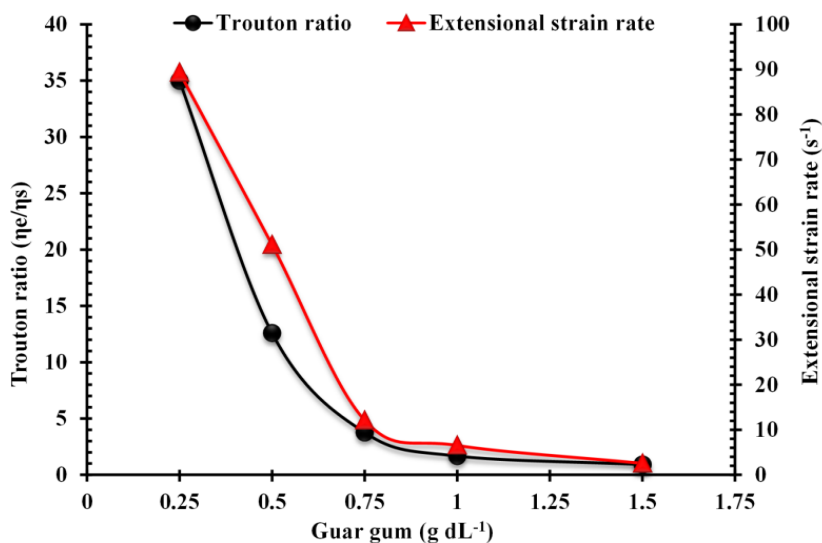
Πράγματι, παρατηρούνται στο διάγραμμα δύο διακριτές διαμορφώσεις μια στο $0,25\text{g dL}^{-1}$ και μια πάνω από το 1g dL^{-1} , ενώ οι ενδιάμεσες συγκεντρώσεις παρουσιάζουν ομαλή μετάβαση μεταξύ των άκρων. Μετά την τιμή $\gamma' / \gamma'_{(1/2)} = 1$ κάθε συγκέντρωση έχει διαφορετική αύξηση της καμπύλης της

(δηλαδή, αλλαγή στο δείκτη συμπεριφοράς ροής κατά Oswald-de Waele) που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα διαλύματα μεταβάλλουν τη δομή τους ανάλογα με τη συγκέντρωση. Αυτό, υποδηλώνει ότι η διαμόρφωση και η ακαμψία των συστημάτων πολυμερών εξαρτάται από τη συγκέντρωση, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από παλαιότερες έρευνες. Λαμβάνοντας υπ' όψιν το c^* , φαίνεται ότι ποσότητα κόμμεος γκουάρ πάνω από $0,8 \text{ g dL}^{-1}$ προκαλεί στερεοχημική παραμόρφωση των γειτονικών μακρομορίων γεγονός που γίνεται αντιληπτό και κατά τη στοματική επεξεργασία. Η ξαφνική αλλαγή στην υφή μπορεί να βοηθήσει στον χειρισμό της γεύσης καθώς η συγκέντρωση κόμμεος γκουάρ πάνω από c^* προκαλεί αλλαγές στην απελευθέρωση της γεύσης και την αντίληψη. (Cook, Hollowood, Linforth, & Taylor, 2003; Xu, Han, Tian, Wu, & Chen, 2014).



Εικόνα 17: Διάγραμμα μεταβολής του μέγιστου εκτατικού και διατμητικού ιξώδους σε διατμητική τάση 50 s^{-1} ενάντια στην συγκέντρωση διαλυμάτων κόμμεος γκουάρ

Η Εικόνα 18 δείχνει το μέγιστο εκτατικό ιξώδες των διαλυμάτων κόμμεος γκουάρ, σε συνδυασμό με τις ανάλογες τιμές διατμητικού ιξώδους με εφαρμογή διατμητικής τάσης 50 s^{-1} που αναλογεί στην εφαρμοζόμενη τάση στο στόμα. Ο δεκαδικός λογάριθμος του εκτατικού ιξώδους αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης με μονότονο, σχεδόν γραμμικό τρόπο. Από $0,6 \text{ Pa s}$ σε συγκέντρωση $0,25 \text{ g dL}^{-1}$ μέχρι 15 Pa s σε συγκέντρωση $1,5 \text{ g dL}^{-1}$. Οι τιμές αυτές καταγράφηκαν σε τάση επιμήκυνσης από 90 s^{-1} έως 2 s^{-1} . Η λογαριθμική αύξηση του εκτατικού ιξώδους μπορεί να συνδεθεί με την γραμμική αύξηση της οργανοληπτικής αίσθησης του παχύρευστου. Έτσι, φαίνεται ότι τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού ελέγχου προς το παχύρευστο σχετίζονται με τα εκτατικά δεδομένα.



Εικόνα 18: Διάγραμμα τιμών σχέσης Trouton και ρυθμού επιμήκυνσης σε διαλύματα κόμμεος γκουάρ

Η Εικόνα 19 δείχνει τη μείωση του λόγου Trouton (λόγος εκτατικού ιξώδους προς το διατμητικό) βασισμένο στον ρυθμό επιμήκυνσης που καταγράφηκε το μέγιστο ιξώδες κάθε συγκέντρωσης. Αρχικά, παρατηρείται ότι ο λόγος Trouton παίρνει τιμές στην κλίμακα του δέκα, το οποίο έρχεται σε συμφωνία και με παλαιότερες έρευνες για άλλα κόμμεα όπως το κόμμι μπάμιας (Zhu & Mizunuma, 2019; Yuan, Ritzoulis & Chen, 2018) και οι β- γλυκάνες (Yuan, Ritzoulis & Chen, 2019). Επιπλέον, παρατηρείται μείωση του λόγου Trouton συναρτήσει της συγκέντρωσης. Αυτό πραγματοποιείται σε δύο στάδια, μια αρχική πτώση από το 35 σε συγκέντρωση 0,25g dL⁻¹ στο 5 σε συγκέντρωση 0,75g dL⁻¹ κι έπειτα μια πτώση μικρότερης έκτασης, όπου ο συντελεστής έλαβε την τιμή 1 σε συγκέντρωση 1,5g dL⁻¹. Το σημείο καμπής της καμπύλης σε συγκέντρωση 0,75g dL⁻¹ συμπίπτει με το c*. Γεγονός που δείχνει ότι όσο συντομότερα οι αλυσίδες πολυμερών επικαλυφτούν, το διατμητικό ιξώδες γίνεται ο κύριος ρυθμιστής της ροής.

Περνώντας στην ευκολία κατάποσης, οι υψηλές τιμές του λόγου Trouton και το χαμηλό διατμητικό ιξώδες σχετίζονται με τα δείγματα που ήταν πιο εύκολο να καταποθούν. Γενικά, οι υψηλές τιμές στο παχύρευστο σχετίζονται με τη δυσκολία στην κατάποση, έτσι μπορεί να ειπωθεί ότι η αύξηση του ιξώδους καθιστά τα διαλύματα πιο δύσκολο να καταποθούν. Όμως δεν μπορεί να παραβλεφθεί το γεγονός ότι σε συγκέντρωση 0,75g dL⁻¹ συμπίπτουν το σημείο καμπής της σχέσης Trouton και το c*.

Συμπερασματικά, η ευκολία κατάποσης των υδροκολλοειδών διασπορών συσχετίζεται με την πάκτωση των αλυσίδων. Χαλαρότερη πάκτωση (συγκέντρωση κάτω από c*) οδηγεί σε μειωμένο διατμητικό ιξώδες, δηλαδή σε υψηλότερη τιμή του λογού Trouton. Η κυριαρχία του εκτατικού

ιζώδους προκαλεί την έκταση προς τα κάτω του παχύρευστου υγρού βλωμού, βοηθάει δηλαδή την κατάποση. Σε συγκέντρωση υψηλότερη του c^* , παρατηρείται υψηλότερη πάκτωση των αλυσίδων που αυξάνει το διατμητικό ιζώδες και μειώνει τον λόγο Trouton. Αυτό υποδεικνύει την σημαντικότητα του διατμητικού ιζώδους το οποίο δεν επιτρέπει στον βλωμό να γλιστρήσει στον φάρυγγα καθώς πρέπει να ξεπεραστεί ο συντελεστής διάτμησης.

Συμπεράσματα

Η παρούσα έρευνα με τον συνδυασμό ρεολογικών και οργανοληπτικών δοκιμών υπέδειξε ότι η προσθήκη τασενεργού ουσίας και συγκεκριμένα μονογλυκεριδίων σε χαμηλή συγκέντρωση δεν επηρεάζει την αίσθηση του παχύρευστου στα μελετώμενα διαλύματα υδροκολλοειδών. Επιπλέον, πρότεινε έναν μηχανισμό σύνδεσης της ρεολογίας του κόμματος γκουάρ και ίσως άλλων υδροκολλοειδών, έναντι σε κάποιες διεργασίες στοματικής επεξεργασίας των μαλακών τροφίμων. Αριθμός παραμέτρων όπως η αμοιβαία αραίωση της διασποράς του κόμματος και του σάλιου, η αλληλεπίδραση των μακρομορίων με τις βλεννίνες (mucins) του σάλιου, οι βαθμίδες συγκέντρωσης εξαιτίας της απορρόφησης του κόμματος γκουάρ στο επιθήλιο και τα δόντια, δεν έχουν συμπεριληφθεί σε αυτό το μοντέλο. Παρ' όλα αυτά μια καθαρή εικόνα μπορεί να δοθεί για την σχέση μεταξύ διατμητικού και εκτατικού ιξώδους στην κατανάλωση διαλυμάτων κόμματος γκουάρ λαμβάνοντας υπ' όψιν την πάκτωση των πολυμερικών αλυσίδων.

Σε χαμηλές συγκεντρώσεις κόμματος γκουάρ, το εκτατικό ιξώδες ήταν ο κύριος παράγοντας περιορισμού της ροής. Το διατμητικό ιξώδες αποκτά σημαντικό ρόλο για την ροή σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες του c^* . Η αύξηση της οργανοληπτικής αίσθησης του παχύρευστου στις διασπορές, σχετίζεται με τον δεκαδικό λογάριθμο του εκτατικού ιξώδους, γεγονός που συνεπάγεται ότι το αντιληπτό παχύρευστο αφορά περισσότερο την έκταση και όχι τη διάτμηση του βλωμού. Από την άλλη πλευρά, η ευκολία κατάποσης μειώνεται γραμμικά με τη συγκέντρωση και σχετίζεται με τον λογάριθμο του εκτατικού ιξώδους. Αυτό, επιβεβαιώνει την ήδη υπάρχουσα υπόθεση ότι η κατάποση σχετίζεται με το εκτατικό ιξώδες.

Υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ της συνολικής ρεολογίας των διαλυμάτων, των οποίων ο συντελεστής διάτμησης εξαρτάται από την πάκτωση των πολυμερικών αλυσίδων. Το εκτατικό ιξώδες σχετίζεται με την επιφάνεια της διασποράς ενώ το διατμητικό με τον συνολικό όγκο, η συνολική μηχανική συμπεριφορά οφείλεται τόσο στα φαινόμενα της επιφάνειας όσο και του κύριου σώματος, με το κάθε ένα να επικρατεί σε διαφορετικές συγκεντρώσεις.

Βιβλιογραφία

- Abbas, K., Khalil, S.K. Meor, Husisin, S.A. (2010). Modified Starches and Their Usages in Selected Food Products: A Review Study. *Journal of Agricultural Sciences* : 90-101.
- Adzahan, N.M. (2002). Modification on wheat, sago and tapioca starches by irradiation and its effect on the physical properties of fish cracker (keropok). Food Technology. Selangor, University of Putra Malaysia. *Master of Science*: 222.
- Benchabane, A., & Bekkour, K. (2008). Rheological properties of carboxymethyl cellulose (CMC) solutions. *Colloid & Polymer Science*. 286, 1173–1180.
- Chen, L. (2015). Emulsifiers as food texture modifiers. Modyfying Food Texture. Vol 1, Woodhead Publishing Series in Food Science, *Technology and Nutrition*: 27-49
- Christensen, C.M. (1979). Oral Perception of Solution Viscosity. *J. Texture Stud.* 10, 153–164.
- Cook, D.J., Hollowood, T.A., Linforth, R.S.T., Taylor, A. J. (2003). Oral shear stress predicts flavour perception in viscous solutions. *Chemical Senses*. 28, 11–23
- Coggins, P. (2007). Sensory methodology of muscle foods. *Leo Nollet Handbook of Meat, Poultry and Seafood Quality*. Iowa: Blackwell.
- Dipjyoti, S., Suwendu B. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *J Food Sci Technol* 47, 587–597.
- Ferry, A., Hort J., Mitchell, JR., Cook, DJ., Lagarrigue, S, Valles, Pamies, B. (2006). Viscosity and flavour perception: Why is starch different from hydrocolloids? *Food Hydrocolloids* 20. 855–862.
- Glicksman, M. (1982). *Food hydrocolloids*. Vol 1 (pp 4–21). Boca Raton, Florida
- Kokini, JL., Kadane, JB., Cussler, EL. (1977). Liquid Texture Perceived in the Mouth. *J. Texture* 88 Stud. 8:195–218.
- Kontogiorgos, V., Margelou, I., Georgiadis, N., Ritzoulis, C. (2012). Rheological characterization of okra pectins. *Food Hydrocolloids*. 29, 356–362.
- Lawson, N. C.; Janyavula, S.; Cakir, D., Burgess, J. O. (2013). An Analysis of the Physiologic Parameters of Intraoral Wear: A Review. *J. Phys. Appl. Phys.* 46

- Lv, Z., Chen, J., & Holmes, M. (2017). Human capability in the perception of extensional and shear viscosity. *J. Texture Stud.* 48, 463–469
- Macqueen, CE., Taubert, S., Cotter, D., Stevens, S., Frost GS. (2003). Which commercial thickening agent do patients prefer? *Dysphagia* 18, 46–52.
- Martín-Alfonso, J.E., Cuadri, A.A., Berta, M., Stading, M. (2018). Relation between concentration and shear-extensional rheology properties of xanthan and guar gum solutions. *Carbohydrate Polymers.* 181, 63–70
- Makoto, N., Sayaka, I., Takahiro, F., Katsuyoshi, N. (2011). Swallowing profiles of food polysaccharide solutions with different flow behaviours. *Food Hydrocolloids.* 25, 1165-1173
- Meilgaard, M., Civille, GV., Carr, TB. (1991). *Sensory Evaluation Techniques.* 2nd Edition. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Miyazak, M.R., Hung, P.V., Maeda, T., & Morita, N. (2006). Recent advances in application of modified starches for breadmaking. *Trends in Food Science & Technology.* 591-599.
- Morris, E. R., (1990). Shear-thinning of ‘random coil’ polysaccharides: characterisation by two parameters from a simple linear plot. *Carbohydrate Polymers.* 13, 85–96.
- Sajilata, M.G., & Singhal R.S. (2004). Specialty starches for snack foods. *Carbohydrate Polymers.* 59, 131-151.
- Smith, CH, Logemann, JA, Burghardt, WR, Zecker, SG, Rademaker, AW. (2006). Oral and oropharyngeal perceptions of fluid viscosity across the age span. *Dysphagia.* 21, 209–217.
- Steffe, F. J. 1992. Rheological methods in food process engineering.vol 2. USA: Freeman Press.
- Szopinski, D., Handge, U.A., Kulicke, W.-M., Abetz, V., Luinstra, G.A. (2016). Extensional flow behavior of aqueous guar gum derivative solutions by capillary breakup elongational rheometry (CaBER) *Carbohydrate Polymers* 136, 834 – 840
- Sworn, G. (1996). The gelation of gellan gum in confectionery systems. In: Philips GO, Williams PA,

Torres, M. D., Hallmark, B., Wilson, D. I. (2014). Effect of Concentration on Shear and Extensional Rheology of Guar Gum Solutions. *Food Hydrocolloids* 40, 85–95.

Yuan, B., Ritzoulis, C., & Chen J. (2018). Extensional and shear rheology of okra hydrocolloid–saliva mixtures. *Food Research International*, 106, 204–212.

Yuan, B., Ritzoulis, C., & Chen, J. (2018). Extensional and shear rheology of a food hydrocolloid. *Food Hydrocolloids*, 74, 296–306.

Yuan, B., Ritzoulis, C., Chen J. (2019) Rheological investigations of beta glucan functionality: Interactions with mucin. *Food Hydrocolloids*, 87, 180–186

Γρηγοράκης, Κ., Τσακνής Ι. (2014). Οργανοληπτικός έλεγχος τροφίμων. Αθήνα: Παπασωτηρίου.

Λαζαρίδης, Ν.Χ. (2007). Μηχανική τροφίμων. Δεύτερη έκδοση. Θεσσαλονίκη: Γιαχούδη.

Μπιλιαδέρης, Κ. (1998). Φυσικοχημεία τροφίμων πανεπιστημιακές παραδόσεις. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Μπόσκου, Δ. (2004). Χημεία τροφίμων. Πέμπτη έκδοση. Θεσσαλονίκη: Γαρταγάνη.

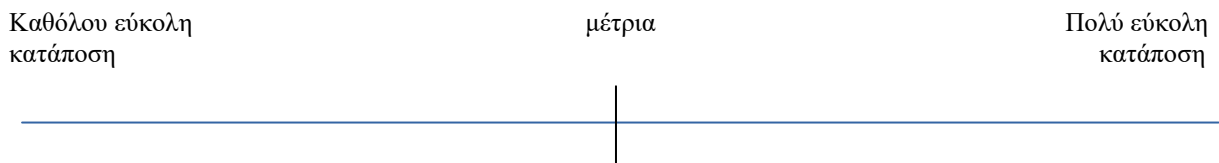
Πετρίδης, Ν.Δ. (2016). Στατιστική με έμφαση στην επιστήμη τροφίμων. Τέταρτη έκδοση Θεσσαλονίκη: Back Office

Παράρτημα

ΕΝΤΥΠΟ ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ονοματεπώνυμο δοκιμαστή:

Γευτείτε τα δείγματα με τη σειρά που υποδεικνύει το βέλος στο πιάτο και στη συνέχεια σημειώστε πάνω στην κλίμακα πόσο παχύρευστο σας φάνηκε κάθε δείγμα καθώς και πόσο εύκολο ήταν να καταποθεί βάζοντας μια κάθετη γραμμή.

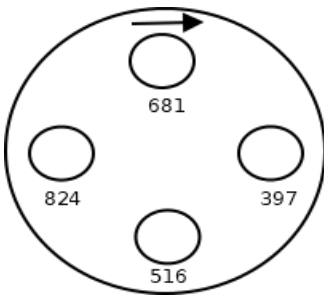


Ποιο από τα τέσσερα δείγματα είναι το περισσότερο και ποιο το λιγότερο παχύρευστο;
Παρακαλώ συμπληρώστε στον παρακάτω πίνακα

Κωδικός δείγματος	
Λιγότερο	Περισσότερο

ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Το πιάτο που θα σας δοθεί περιέχει 4 δείγματα και μοιάζει με το παρακάτω σχήμα:



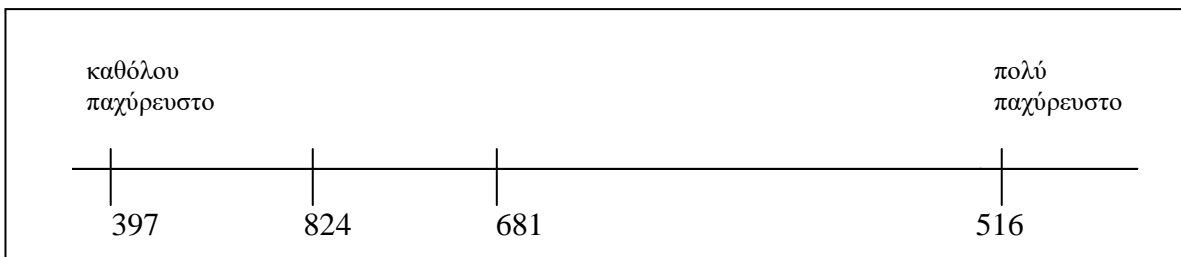
Παράδειγμα σημειώσεων περιθωρίου

397<824<681<516

Κάθε δείγμα φέρει έναν τυχαίο τριψήφιο αριθμό

Σας ζητείται να αξιολογήσετε κάθε δείγμα με βάση πόσο παχύρευστο είναι και στη συνέχεια να σημειώσετε ποιο θεωρείτε ότι ήταν το πιο παχύρευστο και το λιγότερο παχύρευστο δείγμα.

1. Δοκιμάζετε τα δείγματα πάντα με τη σειρά που δείχνει το βέλος
2. Πριν βάλετε το βαθμό σας στην κλίμακα, δοκιμάστε όλα τα δείγματα διαδοχικά. Έτσι θα έχετε μια πρώτη σύγκριση.
3. Κάθε φορά που δοκιμάζετε ένα δείγμα ξεπλένετε το στόμα σας πριν δοκιμάσετε τα επόμενα.
4. Σημειώστε στο περιθώριο, για να θυμάστε, τους κωδικούς βάζοντας τους σε αυξανόμενη σειρά από το λιγότερο έως το περισσότερο παχύρευστο.
5. Τέλος, σημειώνετε πόσο παχύρευστο σας φάνηκε βάζοντας μία κάθετη γραμμή και αναγράφοντας από πάνω της τον κωδικό του δείγματος (όπως απεικονίζεται παρακάτω).
6. Σε όποια δείγματα χρειάζεται, δοκιμάστε ξανά πριν σημειώσετε στην κλίμακα τηρώντας πάντα τη σειρά διαδοχής που υποδεικνύει το βέλος.



*Αξίζει να σημειωθεί ότι οι δοκιμαστές μετά από κάθε δοκιμή δείγματος οφείλουν να ξεπλένουν το στόμα τους με καθαρό νερό για την “ουδετεροποίηση” των γευστικών κυττάρων. Οπότε τα προς αξιολόγηση δείγματα συνοδεύονται με λίγο νερό, το οποίο θα είναι σε θερμοκρασία δωματίου ή χλιαρό.