



**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ



## **ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Διερεύνηση τεχνικών αντιμετώπισης του προβλήματος της συναίρεσης στο τζατζίκι  
Investigation of techniques for solving the problem of syneresis in tzatziki spread

**Λεμονίδης Γιάννης**  
**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2024**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ**  
**ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ»**

Υποβολή μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την απονομή του διπλώματος Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΔΜΣ) με τίτλο «Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας και Οργάνωσης Παραγωγής στη Βιομηχανία Τροφίμων»

Θέμα:

Διερεύνηση τεχνικών αντιμετώπισης του προβλήματος της συναίρεσης στο τζατζίκι  
Investigation of techniques for solving the problem of syneresis in tzatziki spread

Επιμέλεια: Λεμονίδης Γιάννης

Εισηγητής: κ. Καθηγητής Ραφαηλίδης Στυλιανός

Εξεταστές:

κ. καθηγητής Απόστολος Θωμάρεϊς

κ. καθηγητής Δημήτρης Πετρίδης

## Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους, καθηγητές και συναδέλφους που σε όλη την πορεία βοήθησαν με τις συμβουλές τους τις διαφωνίες και τις συγκρούσεις μας για να φτάσω ως εδώ.

Προσωπικά να ευχαριστήσω τον κύριο Ραφαηλίδη. Η βαθιά πολύπλευρη γνώση του αποτέλεσε παράδειγμα και προκάλεσε και ανέγειρε την ευθιξία και το πείσμα να μελετήσω φαινόμενα που ούτε είχα φανταστεί. Ακόμη και μετά τα τόσα χρόνια συνεργασίας και καθοδήγησης, δεν έχει καταλάβει πόσα πολλά μου έχει προσφέρει, αν και χρωστάει μερικά ακόμη.

Τον κύριο Θωμάρεϊ για την προθυμία και τη διαθεσιμότητά του. Η συμπαγής και δομημένη γνώση πάνω στην επιστήμη μας και η εμπειρία του που είχα το προνόμιο να απολαμβάνω σε όλες σχεδόν τις συζητήσεις μας διαμόρφωσε καθοριστικά τον τρόπο σκέψης μου.

Τον κύριο Πετρίδη που μας δίδαξε το μοναδικό αντικείμενο της εφαρμοσμένης στατιστικής προσαρμοσμένο στον κλάδο των τροφίμων. Η σπουδή αυτή διεύρυνε τα όρια της αντίληψης μου σε μια γενικότερη κατανόηση των πραγμάτων πέραν του κλάδου των τροφίμων. Αν και στην παρούσα διπλωματική δεν χρησιμοποιήσαμε τα εξειδικευμένα εργαλεία που μας δίδαξε, επιφυλάσσομαι για το μέλλον.

Οι τρεις τους στάθηκαν πολύτιμοι δάσκαλοι.

Την κα. Μαρινοπούλου Άννα Μεταδιδακτορική ερευνήτρια και μέλος του διδακτικού προσωπικού που με παρότρυνε επίμονα να αναλάβω αυτό το θέμα κρίνοντας από το ρεαλισμό που επιθυμώ. Χωρίς αυτήν της την παρότρυνση ίσως να είχα εγκλωβιστεί σε ένα αυστηρά ακαδημαϊκό ερευνητικό θέμα χωρίς πραγματική-πρακτική αξία.

Τον υποψήφιο διδάκτορα και νεότερο φίλο μου, Θωμά Παλικρούση για την προοπτική που έδινε στις συζητήσεις μας για το πώς θα έπρεπε να είναι τα πράγματα.

Στη σύζυγό μου, Δήμου Φωτεινή,  
για τα προηγούμενα και τα επόμενα.

Στη μητέρα μου, Ντίνα Κατσούλα,  
αυτό το ξεχωριστό κορίτσι που χρόνια αναρωτιέμαι,  
πως ονειρευόταν τη ζωή της όταν ήταν μικρή.

Στα αδέρφια μου, Κυριακή και Νίκο,  
για όλα τα χρόνια τους που έχασα περιπλανώμενος.

Στη γιαγιά που «υιοθετήσαμε»

Μαρία Μουλαρή (το παπάκι).

## Περίληψη

Παρασκευάστηκε σειρά προσομοιωμένων δειγμάτων τζατζικιού τα οποία διέφεραν όσον αφορά το είδος και η συγκέντρωση σταθεροποιητών που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή τζατζικιού. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν οι σταθεροποιητές ξανθάνη, κόμμι γκουαρ, τροποποιημένο προζελατινοποιημένο κηρώδες άμυλο καλαμποκιού, προζελατινοποιημένο κηρώδες άμυλο και καραγενάνη. Στα δείγματα που παρασκευάστηκαν είτε προστέθηκε νερό που αντιστοιχούσε στο νερό που απελευθερώνει η ποσότητα του αγγουριού που προστίθεται στο τζατζικι είτε δεν προστέθηκε νερό. Οι δοκιμές που χρησιμοποιήθηκαν αφορούσαν προσδιορισμό χρόνου ροής με τη συσκευή Bostwick, προσδιορισμό μέτρου ελαστικότητας του Young και προσδιορισμό του εκτατού ιξώδους με ιξοδομετρία λιπαινόμενης συμπιεστής ροής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συνεκτικότητα που εμφάνισαν τα δείγματα ήταν συνάρτηση του είδους και της συγκέντρωσης των σταθεροποιητών που χρησιμοποιήθηκαν είτε μόνο ένα είδος σταθεροποιητού χρησιμοποιήθηκε είτε συνδυασμός δύο σταθεροποιητών χρησιμοποιήθηκε.

## Abstract

A series of simulated tzatziki samples were prepared which differed in the type and the concentration of stabilizers used in tzatziki recipes. The stabilizers employed were xanthan gum, guar gum, carrageenan, modified pregelatinized waxy corn starch and pregelatinized waxy starch. Water was either added to samples which corresponded to water quantity released from the cucumber quantity employed in real tzatziki recipes or it was not added. The rheological tests employed to assess the textural characteristics of simulated tzatziki samples were flow determination using the Bostwick technique, Young's modulus of elasticity determination and squeeze flow viscometry determination. The results indicated that all samples exhibited pseudoplastic behavior and their consistency affected by the concentration of the stabilizer employed and whether they contained water normally released from the cucumber or not. No synergistic effects were observed in the cases where two stabilizers in combination were employed.

## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	1
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	3
2.1. Τζατζίκι: Έδεσμα με βάση το γιαούρτι .....	3
2.2. Τεχνολογικά πρόσθετα: Σταθεροποιητές.....	3
2.3 Ρεολογία .....	12
3. Σκοπός.....	20
4. Υλικά και μέθοδοι .....	21
4.1. Πρώτες ύλες .....	21
4.2. Παρασκευή των δειγμάτων .....	21
4.3. Μέθοδος Bostwick .....	23
4.4. Δοκιμή λιπαινόμενης συμπιεστής ροής (squeeze flow) .....	24
4.5. Δοκιμή μονοαξονικής συμπίεσης ( μέτρο ελαστικότητας του Young).....	24
5. Αποτελέσματα και συζήτηση.....	25
5.1 Εκτίμηση του ιξώδους με τη χρήση του ιξωδόμετρου Bostwick .....	25
5.2 Μέτρο ελαστικότητας του Young.....	27
5.3 Επίδραση της προσθήκης αγγουριού και της συγκέντρωση σταθεροποιητή στο Εκτατό Ιξώδες. ....	28
6. Συμπεράσματα.....	34
7. Βιβλιογραφία.....	35
Παράρτημα.....	36
Α. Μέτρο ελαστικότητας του Young.....	36
Β. Λιπαινόμενη συμπιεστή ροή (squeeze flow) – Προσδιορισμός Εκτατικού Ιξώδους.....	42

## 1. Εισαγωγή

Η δημοφιλία του και η θέση του στα ελληνικά και ευρωπαϊκά τραπέζια έχει οδηγήσει βιομηχανίες και βιοτεχνίες του κλάδου παραγωγής σαλατών και εδεσμάτων στην παραγωγή και συσκευασίας τζατζικιού και τη διάθεσή του στα ψυγεία των υπεραγορών. Η ανάγκη της αγοράς για ποιοτικά και σταθερά προϊόντα καθόλη τη διάρκεια ζωής τους αλλά και την παράταση αυτής, αποτελεί ένα συνεχές στοίχημα για τη βιομηχανία τροφίμων. Το τζατζίκι είναι ένα μεσογειακό έδεσμα με βάση το γιαούρτι. Όποιος τύπος γιαουρτιού και αν χρησιμοποιηθεί (stirred, set), είτε επιδόρπια γιαουρτιού το πλέγμα που έχει δημιουργηθεί από την συσσωμάτωση των καζεϊνών σπάει κατά την ανάμιξη των συστατικών. Τότε το νερό που συγκρατείται μηχανικά στο πλέγμα απελευθερώνεται και προκαλείται το φαινόμενο της συναίρεσης. Επιπρόσθετα νερό από το αγγούρι που προστίθεται, απελευθερώνεται με την μορφή υγρασίας στη συνεχή φάση. Αυτό οδηγεί σε ποιοτική υποβάθμιση του προϊόντος οπτικά με την εμφάνιση της υδατικής φάσης, μείωση του ιξώδους και δίνει την δυνατότητα για την ανάπτυξη ανεπιθύμητων αλλοιογόνων και παθογόνων μικροοργανισμών, πριν το πέρας της προβλεπόμενης διάρκειας ζωής του.

Η χρήση σταθεροποιητών/πηκτικών μέσων είναι μια συνήθης πρακτική στη βιομηχανία για να αντιμετωπιστεί η συναίρεση. Ενώ όμως στη βιβλιογραφία υπάρχει πλήθος αναφορών για την αντιμετώπιση της συναίρεσης αλλά και για την τεχνολογία των σταθεροποιητών, η μελέτη τους εκτείνεται σε ερευνητικό επίπεδο. Από την άλλη οι βιομηχανία τροφίμων ακολουθεί τις πρακτικές που βασίζονται κυρίως στην εμπειρία.

Η παρούσα εργασία αφορά τη βιομηχανική παραγωγή παραδοσιακών προϊόντων όπως το τζατζίκι και προσπαθεί να μελετήσει και να προσαρμόσει τη θεωρία πίσω από τα φαινόμενα και να προσθέσει στη βιομηχανική πρακτική. Για το λόγο αυτό μελετήθηκε η ρεολογική συμπεριφορά δειγμάτων τζατζικιού που παρασκευάστηκαν με επιδόρπια γιαουρτιού πριν και μετά την προσθήκη αγγουριού, με προσθήκη σταθεροποιητών κόμμι γκουαρ (guar gum, gg), κόμμι ξανθάνης (xanthan gum, xa), καραγενάνη (carrageenan, ca) και τροποποιημένο κηρώδες άμυλο από διαφορετικούς προμηθευτές, σε ποσότητα 1 % και 2 %. Από προκαταρκτικές δοκιμές επιλέχθηκαν 6 συνδυασμοί σταθεροποιητών και τα δείγματα αξιολογήθηκαν ως προς την εμφάνιση συναίρεσης εντός 50 ημερών. Παράλληλα μελετήθηκε η επίδραση στο προϊόν η προσθήκη των σταθεροποιητών για τις ανάγκες της βιομηχανίας μέσω μετρήσεων σε ιξωδόμετρο Bostwick, και στον αναλυτή υφής (Texture Analyzer), προσδιορίστηκε το μέτρο Young για τη μελέτη της σταθερότητας δομής και το εκτατό ιξώδες που αποτελεί παράμετρος της διεργασίας παρασκευής των δειγμάτων τζατζικιού. Διερευνήθηκε αν η υγρασία του αγγουριού παίζει ρόλο στη μεταβολή στη συμπεριφορά των δειγμάτων και αν οι διαφορετικοί σταθεροποιητές επηρεάζουν διαφορετικά το προϊόν.





## 2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

### 2.1. Τζατζίκι: Έδεσμα με βάση το γιαούρτι

Το τζατζίκι είναι ένα μεσογειακό έδεσμα με βάση το γιαούρτι. Όποιος τύπος γιαουρτιού και αν χρησιμοποιηθεί (stirred, set), είτε επιδόρπια γιαουρτιού το πλέγμα που έχει δημιουργηθεί από την συσσωμάτωση των καζεϊνών σπάει κατά την ανάμιξη των συστατικών. Τότε το νερό που συγκρατούνταν μηχανικά στο πλέγμα απελευθερώνεται και προκαλείται το φαινόμενο της συναίρεσης. Ακόμη επιπλέον νερό απομακρύνεται από τα κομμάτια αγγουριού που προστίθεται και στο σύστημα. Μάλιστα μια εκτίμηση έγινε για την απώλεια 50% του βάρους του αγγουριού σε υγρασία που αποδείχτηκε σωστή αλλά και ξεπεράστηκε εμφανίζοντας απώλειες 60%. Η παρασκευή του τζατζικιού μοιάζει με εκείνη του γιαουρτιού τύπου stirred που έχουν προστεθεί κομμάτια φρούτου. Στην περίπτωση του τζατζικιού, αυτά αντικαθίστανται με κομμάτια αγγουριού στο προτιμώμενο μέγεθος. Αυτή η διαδικασία εμφανίζει δύο προβλήματα για την διάρκεια ζωής αλλά και την εμφάνιση του προϊόντος. Το πρώτο είναι ότι με το σπάσιμο του πλέγματος του γιαουρτιού προκαλείται συναίρεση. Το δεύτερο αφορά την υγρασία που απελευθερώνεται από το αγγούρι που είναι μεγαλύτερη του 50% του βάρους. Αυτό το νερό μειώνει περισσότερο το ιξώδες και αλλοιώνει περαιτέρω την τελική υφή.

#### 2.1.1 Συναίρεση

Συναίρεση είναι η τάση, πηκτές και στερεά τρόφιμα να απελευθερώνουν αυθόρμητα μικρές ποσότητες υγρού εξαιτίας της ρήξης ασθενών δεσμών λόγω εσωτερικής πίεσης. Οι πηκτές όπου ο ελαστικός παράγοντας (πχ. πολυμερές) δεν έχει την κινητικότητα του ιξώδους παράγοντα (πχ. νερό), είναι πιο επιρρεπείς στη συναίρεση μιας και ο διαχωρισμός φάσης είναι η μόνη συνθήκη για να ισορροπήσει η ενέργεια του συστήματος. Στις ασθενείς πηκτές συναίρεση εμφανίζεται όταν η εσωτερική πίεση υπερέχει της ενέργειας των δεσμών.

Σταθεροποιητές όπως η Ξανθάνη θεωρούνται πολύ καλοί παράγοντες για τον έλεγχο της συναίρεσης. Η ι-καραγενάνη σχηματίζει μαλακές ελαστικές πηκτές που δεν επιτρέπουν τη συναίρεση ενώ οι πηκτές της κ-καραγενάνης είναι σταθερές και εύθραυστες συνεπώς ευνοούν τη συναίρεση. Το κόμμι γκουαρ όταν προστίθεται σε συγκεντρώσεις της τάξης του 0.5% δεν φαίνεται ικανό να αποτρέψει το σύστημα από τη συναίρεση ενώ σε συγκεντρώσεις από 1% και πάνω εξαλείφει το πρόβλημα. Το άμυλο και η πηκτίνη δεν προστατεύουν από το φαινόμενο όμως προσθήκη αμύλου καλαμποκιού 4% σε τέτοια συστήματα εξαλείφει τη συναίρεση (Walter, 1998).

### 2.2. Τεχνολογικά πρόσθετα: Σταθεροποιητές

#### 2.2.1 Κόμμι Γκουαρ

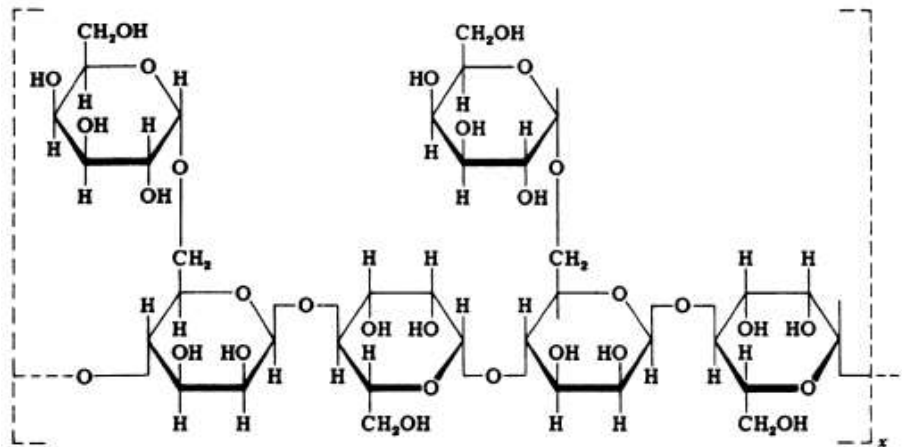
Το κόμμι γκουαρ (guar gum, gg), είναι πολυσακχαρίτης που έχει το ρόλο του αποθηκευτικού μορίου ενέργειας για το φυτό από το οποίο παράγεται (Cyamopsis

tetragonoloba). Ως αποθηκευτικό μόριο υδρολύεται είναι ευαίσθητο στην ενζυμική υδρόλυση. Μέτριος ή υψηλός βαθμός υποκατάστασης(DS), δυσκολεύει την υδρόλυση ενώ μόρια με τιμή  $DS > 0,4$  είναι πλήρως προστατευμένα. Ενώ παραμένει σταθερό για μεγάλο εύρος pH(4-9) η συμπεριφορά του επηρεάζεται από pH 3 και κάτω εξαιτίας της υδρόλυσης γλυκοσιδικών δεσμών.

Το βασικό του συστατικό είναι η Γκουαράνη μια γαλακτομαννάνη που ο σκελετός της αποτελείται από μονομερή της D-μαννόζης που συνδέονται με  $\beta$ -(1-4) γλυκοσιδικό δεσμό. Σχεδόν κάθε δεύτερο μόριο μαννάνης έχει κλάδο ένα μόριο D-γαλακτόζης συνδεδεμένο με  $\alpha$ -(1-6) γλυκοσιδικό δεσμό που οδηγεί σε μια αναλογία M:G= 1,6-1,8:1 κατά άλλους 2:1 (Σχήμα 1). Αυτή η διαμόρφωση δεν επιτρέπει τις αλυσίδες του γκουαρ να έρθουν κοντά και να δημιουργήσουν συσσωματώματα ενώ ευνοεί την δημιουργία δεσμών υδρογόνου με τα μόρια νερού δίνοντάς του μεγάλο υδροδυναμικό όγκο. Το μοριακό του βάρος, το μεγαλύτερο της κατηγορίας του είναι 200 kDA ενώ κατά άλλους  $1-2 \times 10^6$  DA. (Whistler and BeMiller, 1993). Κατά τη προσθήκη του στο νερό, με ήπια ανάμιξη, λόγω του υψηλού ρυθμού ενυδάτωσης τα μόρια που έχουν ενυδατωθεί εγκλωβίζουν άλλα και δημιουργούν κρόκιδες από αλυσίδες που δεν έχουν προλάβει να ενυδατωθούν. Έτσι απαιτείται έντομη ανάδευση κατά τη διασπορά ώστε οι πολυμερικές αλυσίδες να ενυδατώνονται πλήρως προτού αρχίσει η διόγκωση τους.

Το κομμι γκουαρ διαλύεται εύκολα σε κρύο νερό. Ο ρυθμός διάλυσης και η αύξηση του ιξώδους αυξάνουν γενικά με την μείωση του μεγέθους των σωματιδίων, τη μείωση του pH και την αύξηση της θερμοκρασίας. Δεν επηρεάζεται από την συγκέντρωση μονοσθενών αλάτων αλλά παρουσία σακχάρων προκαλεί μείωση του ιξώδους. Η υδροκολλοειδή και ρεολογική του συμπεριφορά δεν επηρεάζεται από θερμική επεξεργασία, κατάψυξη, παρουσία πρωτεϊνών, οξέων και μονοσθενών αλάτων. Επειδή είναι μη ιονικός πολυσακχαρίτης και έχει υψηλό βαθμό διακλάδωσης της αλυσίδας διασπείρεται εύκολα και δίνει κολλοειδή διασπορά μεγάλου ιξώδους. Δημιουργεί το υψηλότερο ιξώδες από όλα τα εμπορικά φυσικά κόμμεα. Δεν σχηματίζει πηκτές αλλά ενισχύει τη δομή των πηκτών που σχηματίζουν άλλοι πολυσακχαρίτες, όπως η καραγενάνη. Λόγω του μεγάλου μεγέθους των αλυσίδων του αυξάνει το ιξώδες του συστήματος στο οποίο προστίθεται ακόμα και σε συγκέντρωση 0,5%. Διάλυμα με συγκέντρωση 1%, υψηλής καθαρότητας κομμι γκουαρ αποκτά ιξώδες 5000-11000 mPas, ενώ εμπορικά προϊόντα του που προορίζονται για πρόσθετα τροφίμων δίνουν τιμές ιξώδους 3500-5000 mPas.

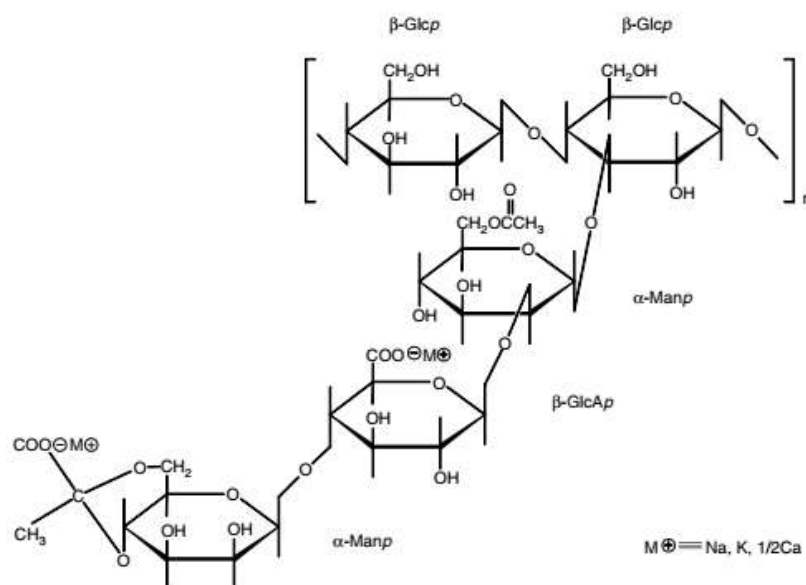
Λόγω της ικανότητας του να δεσμεύει το νερό λειτουργεί ως πυκνωτικό μέσο αυξάνοντας το ιξώδες. Αποτρέπει τη συναίρεση σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες του 1% διαμορφώνει την υφή και παρατείνει τη διάρκεια ζωής, χρησιμοποιείται επίσης ως σταθεροποιητής γαλακτωμάτων υποκατάστατο λίπους και ενισχύει συνεργιστικά την δομή πηκτών που δημιουργούν άλλοι πολυσακχαρίτες.



Σχήμα 1. Δομή του μορίου κόμμι Γκουαρ, (Nissinovich, 1997).

### 2.2.2 Κόμμι Ξανθάνη

Η Ξανθάνη (Xanthan gum, xa), είναι ο πιο σημαντικός εξωκυτταρικός πολυσακχαρίτης βακτηριακής προέλευσης που χρησιμοποιείται ως πρόσθετο τροφίμων. Παράγεται από το γένος *Xanthomonas* (συγκεκριμένα *X. campestris*). Ο σκελετός του μορίου της ξανθάνης, αποτελείται από μονομερή D-γλυκόζης συνδεδεμένα με β-(1-4) γλυκοσιδικό δεσμό ενώ θέση C3 της γλυκόζης υπάρχει διακλάδωση. Η διακλάδωση είναι ένας τρισακχαρίτης που αποτελείται από D-γλυκουρονικό οξύ ανάμεσα σε δύο D-μαννόζες. Το μόριο της μαννόζης που είναι συνδεδεμένο με τον κορμό του πολυμερούς φέρει στη θέση C6 ακετυλομάδα ενώ η τερματική μαννόζη φέρει ένα τμήμα πυροσταφυλικού οξέως ως 4,6 κυκλική ακετάλη (Σχήμα 2), (Whistler and BeMiller, 1993).



Σχήμα 2. Δομή μορίου Ξανθάνης(Cui, 2005).

Η εμπορική ξανθάνη έχει βαθμό υποκατάστασης πυροσταφυλικού οξέως 30-40% και 60-70% οξικού οξέως (Nissinovich, 1997). Είναι ανιονικός πολυσακχαρίτης με μοριακό βάρος  $3 \times 10^5$  DA ενώ κατά άλλους της τάξης του  $10^6$  DA.

Όπως σε όλα τα υδροκολλοειδή που χρησιμοποιούνται ως πυκνωτικοί παράγοντες η διασπορά και η ενυδάτωση των πολυμερών παίζουν καθοριστικό ρόλο. Η ξανθάνη ενυδατώνεται γρήγορα σε κρύο ή ζεστό νερό με ανάδευση, οπότε η ομοιόμορφη διασπορά η ταχύτητα ανάμιξης και η κοκκομετρία των σωματιδίων επηρεάζουν την συμπεριφορά της. Ανομοιογενής διασπορά οδηγεί στο σχηματισμό σβώλων και σε ανεπαρκή ενυδάτωση και μειωμένη λειτουργικότητα. Η θέρμανση δεν επηρεάζει την λειτουργικότητα της ξανθάνης.

Κατά την θέρμανση το ιξώδες μειώνεται αλλά επανέρχεται στην αρχική του τιμή χωρίς να εμφανίζει υστέρηση, κατά την ψύξη. Την ίδια σταθερότητα επιδεικνύει και κατά τις μεταβολές στο pH. σε εύρος 2-10. Αυτό οφείλεται στην προστατευτική ασπίδα που δημιουργούν οι αλυσίδες τρισακχαρίτη γύρω από τον κυτταρινικό σκελετό και τη θωρακίζουν σε όξινες ή αλκαλικές συνθήκες. Η συμπεριφορά της είναι σταθερή για όλο το φάσμα pH των τροφίμων. Η παρουσία αλάτων επηρεάζει το ιξώδες της ξανθάνης μόνο σε συγκεντρώσεις αυτής της τάξης του 0,3% (Imeson, 2010) . Ο λόγος είναι ότι οι ηλεκτρολύτες αυτοί σταθεροποιούν τις πολυμερικές αλυσίδες και δεν επιτρέπουν την δημιουργία συσσωματωμάτων(Whistler and BeMiller, 1993).

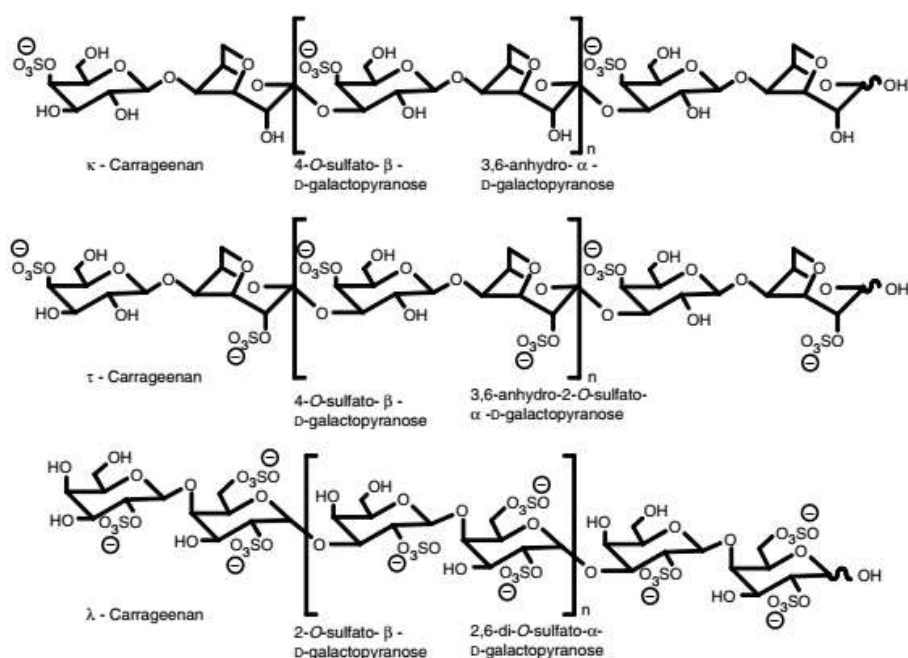
Η ξανθάνη δίνει πολύ υψηλό ιξώδες ακόμα και σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Αυξάνει το ιξώδες των συστημάτων στα οποία προστίθεται. Παρουσιάζει μοναδική ρεολογική συμπεριφορά καθώς σε χαμηλές τιμές ρυθμού διάτμησης συμπεριφέρεται σαν νευτώνειο ρευστό. Τον ίδιο χαρακτήρα δείχνει και σε ακραίους ρυθμούς διάτμησης αλλά με χαμηλότερη τιμή ιξώδους. Σε ένα εύρος ενδιάμεσων τιμών ρυθμού διάτμησης όμως εμφανίζει ψευδοπλαστική συμπεριφορά με ένα εύρος από  $10^6$  mPas έως 1,7 mPas με μόλις 0,5 % συγκέντρωση. Καθώς ο ρυθμός διάτμησης μειώνεται από τις ακραίες υψηλές τιμές σε πολύ χαμηλές η τιμή του ιξώδους διαγράφει ακριβώς την ίδια πορεία αντίστροφα, χωρίς εμφάνιση υστέρησης (Imeson, 2010). Αυτή η ψευδοπλαστική συμπεριφορά οφείλεται στη δομή της καθώς οι διακλαδώσεις τυλίγονται γύρω από τον κυτταρινικό σκελετό δημιουργούν ένα τύπο ελικοειδούς ραβδίου. Διαμοριακές αλληλεπιδράσεις δημιουργούν ένα σύνθετο δίκτυο από μπλεγμένα μόρια. Αυτά τα συσσωματώματα αποσυνδέονται προοδευτικά παρουσία διάτμησης και προκαλούν ψευδοπλαστικότητα. Σε συγκέντρωση 1 % δημιουργεί ασθενείς πηκτές (Whistler and BeMiller, 1993).

Η ανωτέρω συμπεριφορά είναι πολύ ελκυστική στην επεξεργασία σε διεργασίες άντλησης έγχυσης και στην κατάποση. Εκτός των διαφόρων εφαρμογών σε πολλούς κλάδους της χημικής βιομηχανίας, στα τρόφιμα χρησιμοποιείται σαν πυκνωτικό μέσο, παράγει ασθενή πηκτή, ενισχυτικό δομής και υφής, σταθεροποιητής γαλακτωμάτων. Οι

ιδιότητες αυτές μεμονωμένες ή σε συνδυασμό βρίσκουν εφαρμογή σε αλοιφές και σάλτσες στην αρτοποιία και τα γαλακτοκομικά προϊόντα όπου αποτρέπει την αποβολή ορού (Whistler and BeMiller, 1993).

### 2.2.3 Καραγενάνη

Ο όρος καραγενάνη αναφέρεται σε μια ομάδα γραμμικών πολυσακχαριτών που αποτελούνται από μονάδες D-γαλακτόζης. Παραλαμβάνεται με εκχύλιση από πλήθος κόκκινων φυκών όπως τα Gigartineae, Hypneae, Solieriaceae, Phyllophoraceae και Furcellariaceae. Ως δομική μονάδα (Σχήμα 3) θεωρείται ο δισακχαρίτης που σχηματίζεται από μονάδες της 3,6-άνυδρο D-γαλακτόζης που φέρει θεικές ομάδες ή όχι οι οποίες συνδέονται εναλλάξ με  $\alpha(1-3)$  και  $\beta(1-4)$  γλυκοσιδικό δεσμό. Στην ομάδα αυτή των πολυσακχαριτών όλα τα μακρομόρια με παρόμοια δομή με κυριότερες τις κ-, ι, και λ-, καραγενάνες ενώ ακολουθούν οι μ-, ν-, θ-, και ξ-. Οι μ- και ν- είναι πρόδρομες των κ- και ι- αντίστοιχα και σχηματίζονται μέσω ενζυμικής δραστηριότητας στα κύτταρα των φυκών ενώ η λ- παραλαμβάνεται αυτούσια και μετατρέπεται βιομηχανικά στη θ- μορφή (Whistler and BeMiller, 1993). Η δομή των βασικών μακρομορίων κ-, ι-, και λ- καραγενανών διαφέρει σε σύσταση στο ποσοστό θεικών εστέρων και 3,6-άνυδρογαλακτόζης που κατά προσέγγιση είναι 22% και 33% για την κ-, 32% και 26% για την ι- και 37% μόνο θεικούς εστέρες για την λ-, αντίστοιχα (Phillips and Williams, 2009). Το μοριακό βάρος κυμαίνεται μεταξύ  $10^5$  και  $10^6$  για τις μεγάλες αλυσίδες με μέσο μοριακό βάρος  $3-6 \times 10^5$  DA (Cui, 2005).



Σχήμα 3. Παρουσίαση των διαφορών των τριών κύριων μακρομορίων της ομάδας των καραγενανών σχετικά με τη θέση και το βαθμό υποκατάστασης του δισακχαρίτη (Cui, 2005).

Η βασική διαφορά των κ- και ι- καραγενανών εντοπίζεται στη γελοποιητική τους ικανότητα και την εκλεκτικότητά τους απέναντι σε διαφορετικά κατιόντα. Η ομάδα της λ-καραγενάνης που περιλαμβάνει τις λ-, θ-, και ξ- έχει την ικανότητα να αυξάνει το ιξώδες χωρίς να φτιάχνει πηκτές.

Οι αλυσίδες των μακρομορίων εμφανίζουν ευελιξία και μπορούν να σχηματίζουν διαμόρφωση σπείρα ή να συσσωματώνονται ιδιότητα που οφείλεται στην δευτεροταγή δομή και αυξάνει με το ποσοστό της 3,6-ανυδρογαλακτόζης στη αλυσίδα.

Η τριτοταγής δομή των μακρομορίων της καραγενάνης έχει μεγάλη σημασία για καθώς είναι υπεύθυνη για το σχηματισμό πηκτής. Η ι- καραγενάνη σχηματίζει διπλή έλικα ενώ για την κ-, θεωρείται ότι δημιουργεί μονή έλικα που μπερδεύεται με άλλα ολιγο- ή πολυμερή. Οι έλικες αυτές είναι δεξιόστροφες και συγκρατούνται με δεσμούς υδρογόνου ενώ οι θεϊκές ομάδες βρίσκονται στην εξωτερική μεριά της έλικας.

Μέσα σε διάλυμα οι καραγενάνες αλληλεπιδρούν με κατιόντα που έχουν διαφορετική επίδραση σε στη συμπεριφορά τους. Έτσι ιόντα καλίου σταθεροποιούν τις έλικες ενώ ιόντα νατρίου παρεμποδίζουν το σχηματισμό τους. Καθώς οι αλυσίδες του πολυμερούς βρίσκονται με τη μορφή σπείρας μέσα στο διάλυμα εμφανίζουν ένα μηχανισμό γνωστό ως μετάπτωση σπείρας-διπλής έλικας η οποία αποτελεί τον πρόδρομο σχηματισμού πηκτής. Κατιόντα σταθεροποιούν τις έλικες δημιουργώντας ηλεκτροστατικής φύσεων δεσμούς με διατεταγμένο τρόπο με τις αρνητικά φορτισμένες έλικες. Αυτά τα δύο φαινόμενα οδηγούν στο σχηματισμό πηκτής.

Η κ-καραγενάνη σχηματίζει θερμοαντιστρεπτή πηκτή με συγκέντρωση 0,5% στο νερό και 0,1-0,2% σε άλλα συστήματα. Η αλληλεπίδραση των κατιόντων είναι κατά προτίμηση  $K > Ca >> Na$ . Με το Ca σχηματίζει άκαμπτη εύθραυστη πηκτή, που είναι η πιο ισχυρή πηκτή αλλά είναι ευαίσθητη σε φαινόμενα συναίρεσης με το πέρασ το χρόνου και όσο μικρότερη η συγκέντρωσή της στο μίγμα.

Η ι-καραγενάνη σχηματίζει πηκτή παρουσία κατιόντων με σειρά προτίμησης  $Ca > K > Na$ . Οι πηκτές που σχηματίζει με το  $Ca^{+2}$  είναι μαλακές και ανθεκτικές ενώ έχουν θιξοτροπική συμπεριφορά και δεν παθαίνουν συναίρεση.

Επειδή είναι ανιονικά πολυμερή οι καραγενάνες είναι διαλυτές μόνο σε πολικούς διαλύτες και ειδικά στο νερό. Για τη διάλυσή τους στο νερό απαιτείται θέρμανση σε θερμοκρασία μεγαλύτερη εκείνης της γελοποίησης αλλιώς σε κρύο νερό είναι πετυχαίνεται διασπορά σε συγκέντρωση ως 3%, ποσοστό μεγαλύτερο από ότι προστίθεται συνήθως στις εφαρμογές. Για την καλή διασπορά και την αποφυγή σχηματισμού σβόλων σκόνες με πολύ λεπτή κοκκομετρία και υψηλές ταχύτητες

ανάμιξης είναι προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται, (Whistler and BeMiller, 1993).

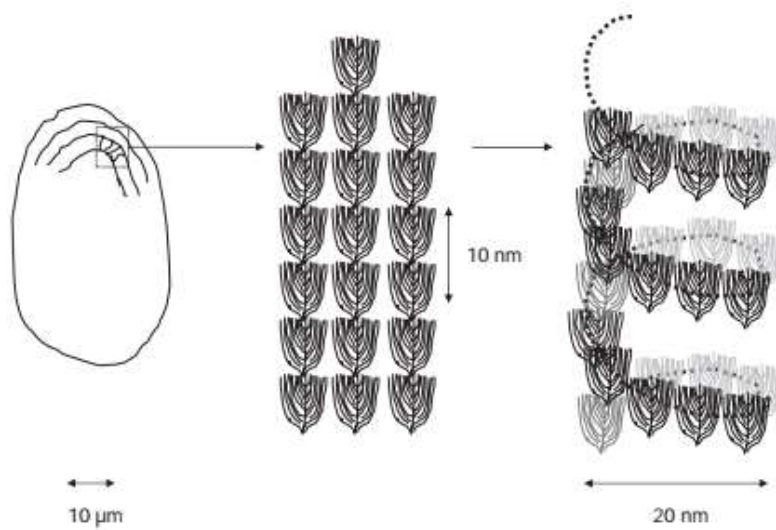
Στα συστήματα που προστίθεται επηρεάζει τα ρεολογικά χαρακτηριστικά τους. Κατά την εφαρμογή μιας τάσης διάτμησης οι αλυσίδες ευθυγραμμίζονται και διευθετούνται εύκολα παράλληλα με τη ροή καθώς μειώνονται τα συσσωματώματα. Αυτή η ψευδοπλαστική συμπεριφορά γίνεται εντονότερη όσο αυξάνει το μοριακό βάρος και η συγκέντρωση. Η θερμοαντιστρεπτή πηκτή της κ-καραγενάνης καταστρέφεται κατά την εφαρμογή διατμητικής τάση και αναδημιουργείται αν θερμανθεί ενώ αντίθετα η πηκτή της ι-καραγενάνης θα συμπεριφερθεί ως ιξώδες ρευστό και θα εμφανίσει θιξοτροπική συμπεριφορά όσο διαρκεί η διατμητική τάση.

Στον κλάδο των τροφίμων χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της υφής και ενίσχυση της δομής και της σταθερότητας στα προϊόντα τροφίμων. Επίσης χρησιμοποιείται στη βελτίωση του αποτελέσματος μαγειρεμένων προϊόντων κρεατοσκευασμάτων σε σάλτσες και σαλάτες ως πυκνωτικό και σταθεροποιητής γαλακτωμάτων. Στα υγρά και τα κατεψυγμένα γαλακτοκομικά έχει καθιερωθεί καθώς αλληλεπιδρά με την κ-καζεΐνη και δίνει αίσθηση πληρότητας στο στόμα, παρατείνει τη σταθερότητα σε γαρνιτούρες αποτρέπει το σχηματισμό κρυστάλλων σε παγωτά και δημιουργεί σταθερή πηκτή σε αλειφόμενα τυριά, (Imeson, 2010).

#### 2.2.4 Άμυλο

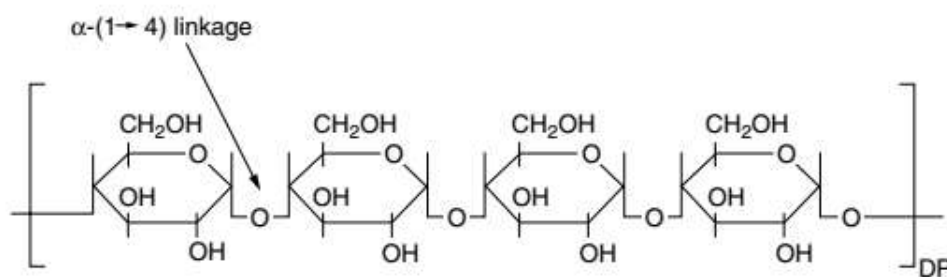
Το άμυλο κατέχει μια μοναδική θέση ανάμεσα στους υδατάνθρακες. Είναι ο βασικός υδατάνθρακας αποθήκευσης ενέργειας σε πολλά φυτά και άρα συστατικό πολλών τροφίμων. Εκτός της φυσικής του παρουσίας στα τρόφιμα, χρησιμοποιείται και σε πολλά παρασκευάσματα για τεχνολογικούς σκοπούς. θεωρείται το δεύτερο μεγαλύτερο φυσικό βιοπολυμερές μετά την κυτταρίνη. Βρίσκεται με την μορφή κόκκων αδιάλυτων στο κρύο νερό με εύρος μεγέθους 1-100μm ανάλογα με την προέλευσή του. Οι κυριότερες πηγές απομόνωσης και χρήσης του για τη βιομηχανία είναι το άμυλο καλαμποκιού και πατάτας και λιγότερο ταπιόκας, σταριού κ.α. Εξαιτίας των διαφορετικών πηγών προέλευσης παρουσιάζει διακυμάνσεις στη σύσταση τη δομή και τις ιδιότητες. Έτσι πολλές φορές στη βιβλιογραφία αναφέρεται με την γενική ονομασία στον πληθυντικό για να υποδείξει αυτήν την ποικιλομορφία. Διεισδύοντας στην δομή του, το άμυλο είναι οργανωμένο σε δομές γνωστές ως αμυλόκοκκοι. Οι αμυλόκοκκοι (Σχήμα 4) είναι η τριτοταγής δομή των πολυσακχαριτών του αμύλου και αποτελείται από δύο κλάσματα πολυσακχαριτών, ένα γραμμικό, την αμυλόζη και ένα με υψηλό βαθμό διακλάδωσης την αμυλοπηκτίνη.

Η αναλογία τους είναι αυτή που οδηγεί στην μεγάλη ποικιλία αμύλων από διαφορετικές πηγές. Γενικά 20-30 % αμυλόζη και 80-70 % αμυλοπηκτίνη καλύπτει την αναλογία τους στα φυσικής προέλευσης άμυλα.



Σχήμα 4. Μακροσκοπική, μικροσκοπική και μοριακή παρουσίαση των αμυλοκόκκων με της σειρά που εμφανίζονται, (Imeson, 2010).

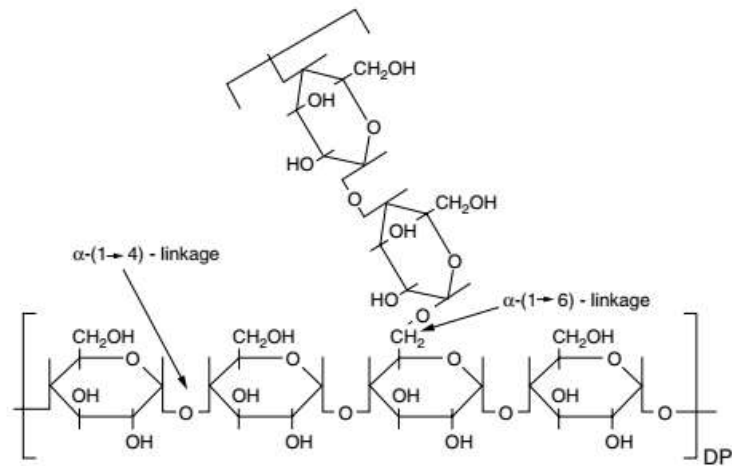
Η αμυλόζη (Σχήμα 5), θεωρείται γραμμικό πολυμερές με βαθμό πολυμερισμού (DP), 10-10000. Είναι ομοπολυσακχαρίτης με μοριακό βάρος της τάξης των  $5 \times 10^5$  DA που συνδέεται με α(1-4) γλυκοσιδικό δεσμό και είναι υπεύθυνη κυρίως για το σχηματισμό της άμορφης περιοχής των αμυλοκόκκων. Όμως τα τελευταία χρόνια έχει γίνει αποδεκτό ότι τελικά η αμυλόζη μπορεί να είναι ελαφρώς διακλαδισμένη καθώς οι γραμμικές αλυσίδες της συνδέονται με α(1-6) δεσμό, (Eliasson, 2004).



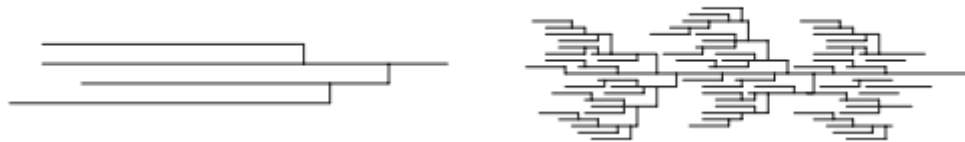
Σχήμα 5. Δομή του της γραμμικής αλυσίδας μορίου της αμυλόζης, (Cui, 2005).

Η αμυλοπηκτίνης (Σχήμα 6), είναι πολύ διακλαδισμένο ομοπολυμερές της D-γλυκόζης στο οποίο η διακλάδωση εμφανίζεται με α(1-6) γλυκοσιδικό δεσμό κάθε 20-25 μονομερή. Είναι ένα από τα μεγαλύτερα βιοπολυμερή με μοριακό βάρος μεταξύ  $10^6$ -  $10^9$  DA. Στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται το μοντέλο της δομής της αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης, (Cui, 2005).





Σχήμα 6. Δομή του σκελετού του μορίου της αμυλοπηκτίνης στο σημείο διακλάδωσης, (Cui, 2005).



Σχήμα 7. Διαμόρφωση μακριάς αλυσίδας αμυλόζης(αριστερά) και διακλαδισμένης αλυσίδας αμυλοπηκτίνης(δεξιά), (Imeson, 2010)

Διάφορες ιδιότητες όπως η διόγκωση των αμυλοκόκκων, η μέγιστη θερμοκρασία ζελατινοποίησης και η μέγιστη τιμή ιξώδους η λεπτόρρευση διατηρητική συμπεριφορά κατά τη δημιουργία της πάστα αμύλου και η σταθερότητα της πηκτής κατά την αποθήκευση αποδίδονται από πολλούς ερευνητές στη αμυλοπηκτίνη ενώ το τελικό ιξώδες της πάστα αμύλου οφείλεται στην αμυλόζη. (Eliasson, 2004).

Η χρήση του αμύλου στη βιομηχανία ως τεχνολογικό πρόσθετο βασίζεται στην αύξηση του ιξώδους που προκαλεί λόγω της διόγκωσης των αμυλοκόκκων και στην ικανότητα να σχηματίζει πηκτή λόγω της ζελατινοποίησης.

Ο σχηματισμός πηκτής οφείλεται στο τρισδιάστατο πλέγμα που δημιουργούν οι αλυσίδες της αμυλόζης αμέσως μετά τη διάρρηξη των κόκκων και την απελευθέρωση των πρώτων στο διάλυμα. Αυτά που συζητήθηκαν μέχρι εδώ είναι αποτέλεσμα της επίδρασης της θερμότητας στο άμυλο. Οι ανωτέρω δύο ιδιότητες το καθιστούν καλό πυκνωτικό και πληρωτικό παράγοντα, σταθεροποιητή και παράγοντα σχηματισμού πηκτής και δέσμησης νερού. Όμως τα φυσικά άμυλα με την πάροδο του χρόνου εξαιτίας της αναδιάταξης του αμύλου δεν ανταποκρίνονται τόσο καλά στις προσδοκίες και αποβάλλουν νερό που οδηγεί στην εμφάνιση συναίρεσης (Stephen, Phillips and Williams, 2006).

Τα παραπάνω ζητήματα που προέκυψαν κατά την βιομηχανική χρήση και η ανάγκη για τη διαθεσιμότητα των ιδιοτήτων του χωρίς την απαίτηση χρήσης θερμότητας οδήγησε σε μια μεγάλη ερευνητική και τεχνολογική προσπάθεια τροποποίησης του αμύλου για μεγαλύτερη ευελιξία στις χρήσεις και διεύρυνση των πεδίων εφαρμογής του.

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας μεγαλύτερο ενδιαφέρον δίνεται στις ιδιότητες του προζελατινοποιημένου κηρώδους αμύλου καλαμποκιού

## 2.3 Ρεολογία

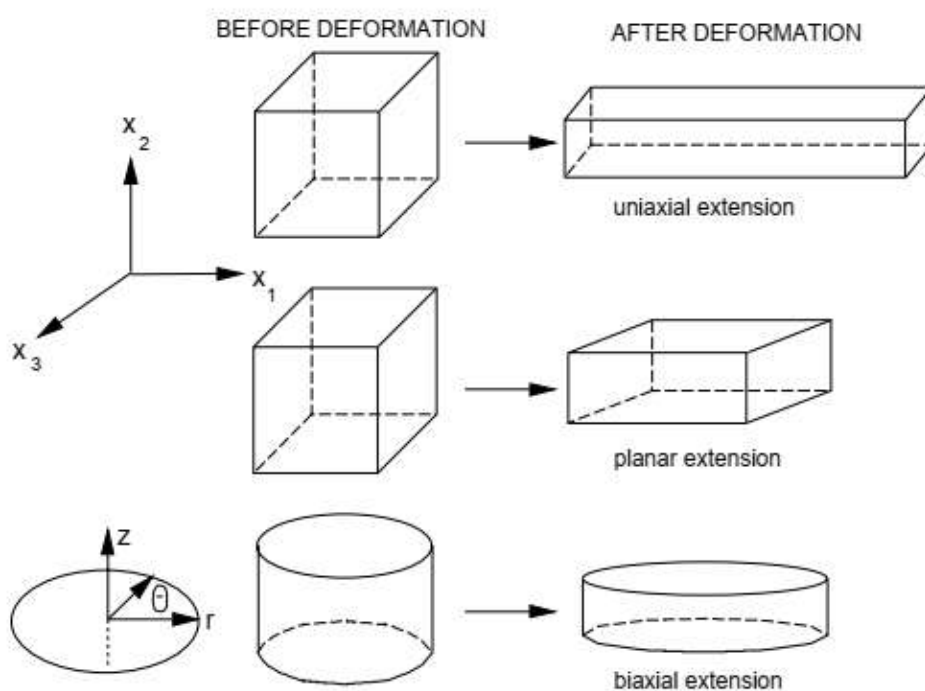
### 2.3.1 Εκτατή διαζονική ροή

Από την παραγωγή ως την κατανάλωση τα τρόφιμα υφίστανται παραμορφώσεις κατά τις διεργασίες που τα υποβάλλουν σε ανάπτυξη ροής. Υγρά ή ημιστερεά τρόφιμα με διεσπαρμένα σωματίδια ή μακρομόρια έχουν επίδραση στη ροή αυτή, (Van Vliet, 2014). Οι τύποι ροής που εξετάζει ο κλάδος της ρεολογίας είναι η διατμητική και η εκτατή ροή. Στην πρώτη η δύναμη που προκαλεί την κίνηση εφαρμόζεται εφαπτομενικά σε μια επιφάνεια του υλικού ενώ στη δεύτερη η δύναμη εφαρμόζεται κάθετα στην επιφάνεια. Σε πραγματικές συνθήκες, οι δύο αυτοί τύποι ροής αναπτύσσονται παράλληλα και η μελέτη τους μπορεί να δώσει συμπληρωματικές πληροφορίες για την συμπεριφορά του τροφίμου και για τον τρόπο μεταχείρισής του κατά τη διεργασία. Όμως για την παροχή της πληροφορίας, η μελέτη κάθε τύπου ροής πρέπει να γίνεται με τρόπο ώστε να αποκλείεται η καθεμιά όταν μελετάται η άλλη.

Η εκτατή ονομάζεται η εμβολική ροή που προκαλείται στο υλικό κατά την εφαρμογή σε αυτό κανονικών τάσεων (Normal stress) και δεν περιλαμβάνει καθόλου διάτμηση. Η διαφορά τους οφείλεται στο πεδίο ροής που παρουσιάζουν τα μακρομόρια μεγάλου μοριακού βάρους που περιλαμβάνονται σαν συστατικά ή προστίθενται ως πρόσθετα στο τρόφιμο. Ενώ κατά τη διατμητική ροή εμφανίζεται διαβάθμιση στο ταχύτητα των αλυσίδων των μακρομορίων, ως προς την κατεύθυνση της ροής που τις αναγκάζει να τυλιχθούν και να συσπειρωθούν, αυτό δε συμβαίνει κατά την ανάπτυξη εκτατής ροής. Αντίθετα κατά την εκτατή ροή οι αλυσίδες ευθυγραμμίζονται πλήρως με την κατεύθυνση της ροής γεγονός που προκαλεί πλήρη επιμήκυνση με αποτέλεσμα να εμφανίζουν επιπλέον αντίσταση στη ροή. Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι η φύση των μακρομορίων επηρεάζει τη συμπεριφορά κατά την εκτατή ροή. Η γνώση αυτών των ιδιοτήτων μπορεί να βοηθήσει στη επιλογή του καταλληλότερου πρόσθετου συστατικού για το καλύτερο επιδιωκόμενο αποτέλεσμα ανάλογα επιθυμητά χαρακτηριστικά του προϊόντος.

Η μελέτη της εκτατής ροής εκτός από την σημασία της σε άλλους κλάδους της βιομηχανίας, είναι πολύ σημαντική και ενδιαφέρουσα στην επεξεργασία τροφίμων καθώς λαμβάνει χώρα σε πολλές διεργασίες όπως την επεξεργασία ζυμαριού, τον τρόπο που αναπτύσσονται φυσαλίδες κατά τη ζύμωση, την παραγωγή προϊόντων με εξώθηση, την μεταφορά ημίρρευστων μέσω σωληνώσεων, το πέρασμα από το ακροφύσιο σε γεμιστικές μηχανές. Ακόμη εμφανίζεται στον τρόπο που απλώνεται ένα αλειφόμενο προϊόν εξαιτίας της πίεσης από το μαχαίρι ή στον καθαρό διαχωρισμό (σχίσσιμο) του υλικού π.χ. καθαρό σχίσσιμο του κασεριού κατά το τράβηγμα ενός κομματιού πίτσας και στην κατάποση καθώς η γλώσσα πιέζει τον ουρανίσκο.

Υπάρχουν τρεις τύποι εκτατής ροής α) μονοαξονική, β) διαξονική και γ) επίπεδη (Σχήμα 8), που διαφέρουν ως προς το επίπεδο που λαμβάνει χώρα η έκταση σε ένα τρισδιάστατο σύστημα αξόνων.



Σχήμα 8. Απεικόνιση της μονοαξονικής, επίπεδης και διαξονικής έκτασης, (Steffe, 1996)

Καθώς η εκτατή ροή εμφανίζεται κατά τον εφελκυσμό ή τη συμπίεση ανήκει στις τεχνικές μεγάλης παραμόρφωσης και για τους υπολογισμούς χρησιμοποιείται η παραμόρφωση κατά Hencky ή πραγματική παραμόρφωση όπως επίσης αναφέρεται Εξίσωση 1.

$$\varepsilon_h = \ln \frac{L}{L_0} \quad (1)$$

όπου  $L$ ,  $L_0$  είναι το τελικό και το αρχικό μήκος του δείγματος αντίστοιχα. Οι γενικοί συντελεστές της εκτατής παραμόρφωσης είναι

$$\varepsilon = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & -(1-m) \end{pmatrix} \quad (2)$$

όπου για την διαξονική έκταση,  $m=1$  και έτσι  $\varepsilon_{11} = \varepsilon_{22}$  και  $\varepsilon_{33} = -2$ .

Ο ρυθμός παραμόρφωσης  $\dot{\varepsilon}_B$  στην διαξονική έκταση και είναι ίσος με  $\dot{\varepsilon}_h / 2$ . Το πεδίο των ταχυτήτων της διαξονικής έκτασης σε κυλινδρικές συντεταγμένες εκφράζεται ως

$$u_z = -2\dot{\varepsilon}_B z = -\dot{\varepsilon}_h z \quad (3)$$

$$u_r = \dot{\varepsilon}_B r = \dot{\varepsilon}_h r / 2 \quad (4)$$

$$u_\theta = 0 \quad (5)$$

όπου  $u_z$ ,  $u_r$ ,  $u_\theta$ , είναι οι ταχύτητες κίνησης στον κάθετο, τον ακτινικό άξονα και την κίνηση στη γωνία  $\theta$ . Η δύναμη που ασκείται για την παραμόρφωσης εκφράζεται (Εξίσωση 6 α και β), από τις κανονικές τάσεις  $N1$  και  $N2$  όπου η δεύτερη είναι μηδέν για την διαξονική έκταση.

$$N1 = \sigma_{11} - \sigma_{33} = \sigma_{rr} - \sigma_{zz} = \frac{f}{2\pi R^2} \quad (\alpha) \quad \text{ή} \quad = \frac{f}{2\pi r^2(t)} \quad (\beta) \quad (6)$$

Η Εξίσωση 6α αντιστοιχεί στην περίπτωση της σταθερής επιφάνειας που το δείγμα καλύπτει όλη την επιφάνεια του κινητού στελέχους και η 6β την περίπτωση σταθερού όγκου. Για την περίπτωση του σταθερού όγκου η μεταβαλλόμενη ακτίνα της Εξίσωσης 6β μπορεί να προσδιοριστεί από την Εξίσωση 7

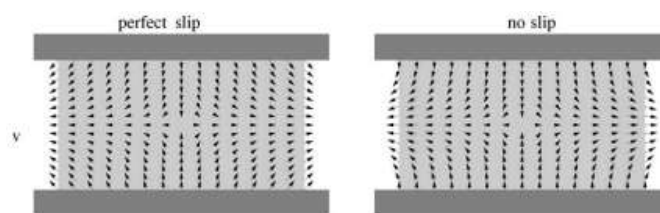
$$r(t) = r_0 \sqrt{\frac{L_0}{L(t)}} \quad (7)$$

Το εκτατό ιξώδες  $\eta_1^+$  και  $\eta_2^+$  εκφράζεται από τις Εξισώσεις 8 και 9 και στη διαξονική έκταση ισχύει  $\eta_1^+ = \eta_2^+ = \eta_B$ .

$$\eta_1^+ = \frac{\sigma_{11} - \sigma_{33}}{2(2+1m)\dot{\varepsilon}} \quad (8)$$

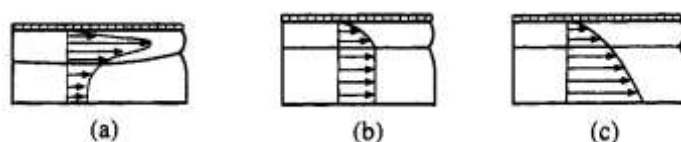
$$\eta_2^+ = \frac{\sigma_{22} - \sigma_{33}}{2(2-1m)\dot{\varepsilon}} \quad (9)$$

Για την μελέτη της διαξονικής εκτατής ροής εφαρμόζεται μονοαξονική συμπίεση λιπαινόμενης ροής. Κατά τη μη λιπαινόμενη ροή αναπτύσσονται τριβές στο σημείο επαφής με το εξάρτημα μέτρησης που προκαλούν διάτμηση και εμφανίζεται το φαινόμενο του «βαρελιού» στο προφίλ του δείγματος, (Σχήμα 9). Το πλεονέκτημα της λιπαινόμενης ροής είναι ότι μπορεί να απομονώσει φαινόμενα διάτμησης στο λιπαντικό υγρό- κάποιο έλαιο με χαμηλότερο ιξώδες (παραφινέλαιο, ή έλαιο σιλικόνης), και έτσι στο δείγμα αναπτύσσεται εμβολική ροή (Σχήμα9, Σχήμα 10b), απαραίτητη για την μελέτη της διαξονικής έκτασης.



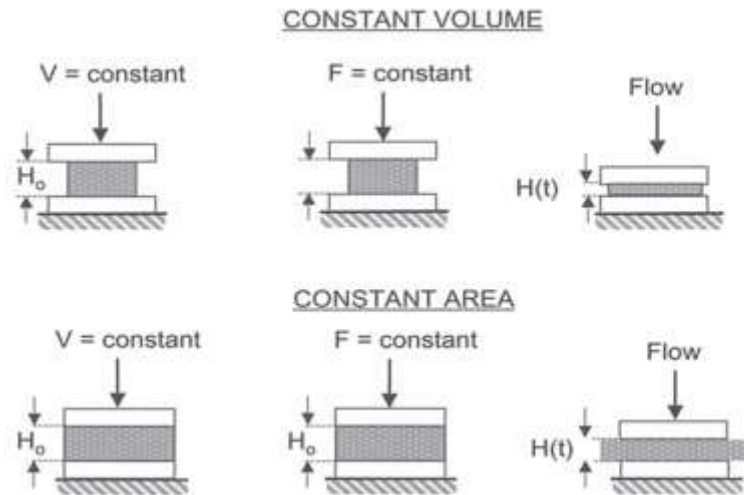
Σχήμα 9. Προφίλ των ταχυτήτων σε λιπαινόμενη (αριστερά) που πετυχαίνεται εμβολική ροή και μη λιπαινόμενη (δεξιά), συμπίεση που σχηματίζεται το φαινόμενο «βαρελιού», (Engmann, 2005).

Υπάρχει όμως ο κίνδυνος το στρώμα λιπαντικού να είναι λεπτότερο ή παχύτερο από αυτό που πετυχαίνει την ανάπτυξη του ιδανικού προφίλ ταχυτήτων (Σχήμα 10) ή ακόμη να εφαρμοστεί παραμόρφωση σε τέτοιο ποσοστό ώστε να χαθεί το στρώμα του λιπαντικού και η ροή να χάσει την ιδιότητά της.



Σχήμα 10. Σωστή ανάπτυξη του προφίλ ταχυτήτων κατά την εφαρμογή λιπαινόμενης ροής, a) πολύ παχύ στρώμα ελαίου, b) ιδανικό πάχος ελαίου για την ανάπτυξης εμβολικού προφίλ και c) λεπτό στρώμα που έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη παραβολικού προφίλ εκτός των ορίων του ελαίου, (Macosko, 1994).

Μια ακόμα διάκριση της τεχνικής είναι με την διάταξη να επιλέγεται έτσι για υπολογισμούς με σταθερό όγκο ή με σταθερή επιφάνεια. Η πρώτη είναι όταν το στέλεχος που συμπιέζει έχει πολύ μεγαλύτερη ακτίνα από το δείγμα, συνεπώς η τάση εφαρμόζεται σε όλο τον όγκο όσο διαρκεί η παραμόρφωση. Στην τεχνική σταθερής επιφάνειας το δείγμα έχει την ίδια ακτίνα με το στέλεχος με αποτέλεσμα να συμπιέζεται σταθερό μέγεθος επιφάνειας καθ' όσο σπρώχνει ποσότητα δείγματος εκτός ακτίνας, (Σχήμα 11). Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας εφαρμόστηκε τεχνική της λιπαινόμενης ροής σταθερού όγκου με μονοαξονική συμπίεση.



Σχήμα 11. Μέθοδος λιπαινόμενης διαζονικής έκτασης σταθερού όγκου (πάνω) και σταθερής επιφάνειας (κάτω), Campanella and Peleg, 2002.

Τα αποτελέσματα από την τεχνική αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με διατμητικές παραμέτρους του υλικού. Αν υποθεθεί ότι η εξίσωση του εκθετικού νόμου (power law ή de Waele-Ostwald equation) (Εξίσωση 10) περιγράφει τη συμπεριφορά του υλικού

$$\sigma = K\dot{\gamma}^n \quad (10)$$

όπου  $K$  είναι ο συντελεστής συνεκτικότητας και ο εκθέτης  $n$ , ονομάζεται δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς, τότε το εκτατό ιξώδες,  $\eta_B$  θα είναι (Εξίσωση 11)

$$\eta_B = \frac{\sigma_B}{\dot{\epsilon}_B} = 3^{\frac{n+1}{2}} 2^n K (\dot{\epsilon}_B)^{n-1} \quad (11)$$

όπου για την περίπτωση που  $n=1$  και  $K=\mu$ , τότε η Εξίσωση 10 δείχνει ότι το εκτατό ιξώδες είναι 6 φορές μεγαλύτερο του διατμητικού ιξώδες για νευτώνεια ρευστά. Η παραπάνω αναλογία είναι γνωστή ως αναλογία Trouton προς τιμήν του ερευνητή Thomas Trouton.

### 2.3.2 Μέτρο ελαστικότητας

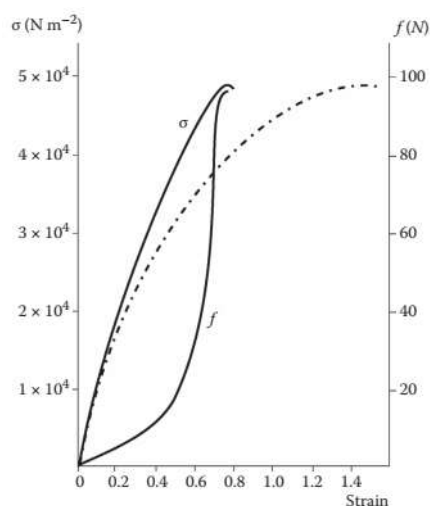
Η κλίση της καμπύλης που σχηματίζεται από τη σχέση τάσης – παραμόρφωσης στην ελαστική περιοχή ονομάζεται μέτρο ελαστικότητας ( $E$ ) ή μέτρο Young ( $Y$ ), προς τιμήν του Thomas Young όπου σε μια σειρά διαλέξεων το 1807 έθεσε το ζήτημα πάνω σε αυτό που είναι γνωστό ως νόμος του Hooke. Η ταξινόμηση των υλικών σύμφωνα με την απόκρισή τους στην εφαρμοζόμενη τάση ή παραμόρφωση, έχει δύο ακραίες περιπτώσεις α) το ιδανικό στερεό που είναι πλήρως ελαστικό και το ιδανικό ρευστό που είναι εντελώς ιξώδες και συγκεκριμένα νευτώνειο ρευστό. Ανάμεσα σε αυτά μεσολαβούν πολλές κατηγορίες ανάλογα με τη δομή, τη σύσταση και το

μέγεθος των συστατικών, τις διαμοριακές δυνάμεις που αναπτύσσονται το είδος της τάσης που δέχονται, το μέγεθος και την ένταση της παραμόρφωσης και το χρόνο.

Ο Robert Hooke, θεώρησε ότι υπάρχει μια σταθερά αναλογίας που συνδέει την παραμόρφωση ενός υλικού με την τάση που εφαρμόζεται σε αυτό, στα όρια της ελαστικότητας που εκφράζεται από τη σχέση (Εξίσωση 12)

$$\sigma = E\varepsilon \quad (12)$$

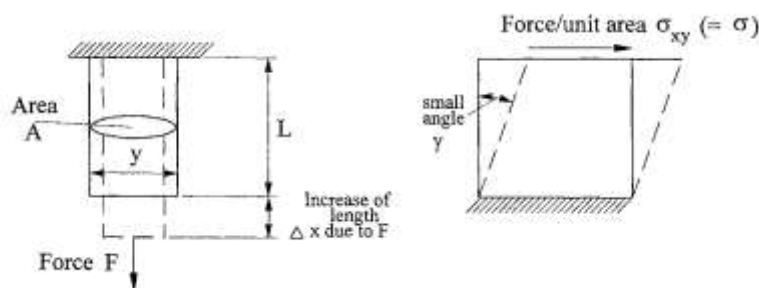
όπου  $\sigma$ , είναι η τάση που εφαρμόζεται σε  $\text{N/m}^2$  και  $\varepsilon$ , η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην μεταβολή μήκους προς το αρχικό και είναι αδιάστατο μέγεθος και  $E$  είναι μια σταθερά αναλογίας που αργότερα πήρε το όνομα μέτρο *Young* και είναι διαφορετικό για κάθε υλικό. Κατά τις μηχανικές δοκιμές το μέτρο ελαστικότητας υπολογίζεται είτε εφαρμόζεται μηχανική είτε πραγματική παραμόρφωση και αποτελεί την κλίση της γραμμικής περιοχής της καμπύλης, (Σχήμα 12).



Σχήμα 12. Γράφημα με κοινή απεικόνιση δύναμης x μηχανικής παραμόρφωσης (καμπύλη  $f$ ), πραγματικής τάσης x παραμόρφωσης (διακεκομμένη καμπύλη) και μηχανικής τάση x παραμόρφωσης (συνεχής καμπύλη), (Van Vliet, 2014).

Το μέτρο ελαστικότητας εμφανίζεται σαν παράμετρος κατά την εφαρμογή μηχανικών δοκιμών μεγάλης παραμόρφωσης και υπολογίζεται όταν η δύναμη εφαρμόζεται κάθετα σε μια επιφάνεια και η παραμόρφωση αντιστοιχεί στην μεταβολή του μήκους στη διεύθυνση της εφαρμοζόμενης δύναμης. Ανάλογο μέγεθος με το μέτρο ελαστικότητας είναι το μέτρο διάτμησης  $G$ , στις δοκιμές διάτμησης, όπου η δύναμη εφαρμόζεται εφαπτομενικά στην επιφάνεια (ισοδύναμο του ιξώδους των ρευστών), και ο συντελεστής όγκου  $\kappa$ , όταν δυνάμεις εφαρμόζονται κάθετα σε όλες τις επιφάνειες του υλικού. Ένα ακόμη μέγεθος που σχετίζεται με τα προηγούμενα είναι ο συντελεστής Poisson,  $\nu$ , που είναι ο λόγος της σχετικής μεταβολής της ακτίνας προς τη σχετική μεταβολή του μήκους στον άξονα που εφαρμόζεται η δύναμη. Στον πίνακα

που ακολουθεί (Πίνακας 1), παρουσιάζεται η τιμή του μέτρου ελαστικότητας για διάφορα υλικά και για διάφορα τρόφιμα. Χαρακτηριστική είναι η διαφορά τάξης μεγέθους των τροφίμων σχετικά με τα υπόλοιπα υλικά καθώς και ότι μια μεγάλη γκάμα τροφίμων κυμαίνονται μεταξύ του  $10^5$  και  $10^7$  N/m<sup>2</sup>.



Σχήμα 13. Είδη παραμόρφωσης στερεού σώματος. Συμπίεση (αριστερά) και Διάτμηση (δεξιά), Tanner and Walters, 1998.

Πίνακας 1. Τιμές μέτρου Young για διαφορετικά στερεά ή σαν στερεά υλικά, Lewis, 1996.

Material	Young's modulus $E$ (N m <sup>-2</sup> )	Material	Young's modulus $E$ (N m <sup>-2</sup> )
Soft foam rubber <sup>a</sup>	$10^2$	Carrots <sup>b</sup>	$(2-4) \times 10^7$
Rubber <sup>a</sup>	$8 \times 10^5$	Pears <sup>b</sup>	$(1.2-3) \times 10^7$
Dry Spaghetti <sup>a</sup>	$0.3 \times 10^{10}$	Potatoes <sup>b</sup>	$(0.6-1.4) \times 10^7$
Lead <sup>a</sup>	$1.0 \times 10^{10}$	Apples raw <sup>b</sup>	$(0.6-1.4) \times 10^7$
Concrete <sup>a</sup>	$1.7 \times 10^{10}$	Gelatin (gel) <sup>b</sup>	$0.02 \times 10^7$
Glass <sup>a</sup>	$7 \times 10^{10}$	Peach <sup>b</sup>	$(0.2-2) \times 10^7$
Iron <sup>a</sup>	$8 \times 10^{10}$	Banana <sup>b</sup>	$(0.08-0.3) \times 10^7$
Steel <sup>a</sup>	$25 \times 10^{10}$		

### 2.3.3 Ιξωδόμετρο Bostwick

Το ιξωδόμετρο Bostwick είναι μια απλή κατασκευή για την λήψη εμπειρικών μετρήσεων άμεσα και κοντά στην γραμμή παραγωγής. Βρίσκει εφαρμογή σαν εξοπλισμός του ποιοτικού ελέγχου στην παραγωγή ντοματοχυμού, πουρέ, γιαουρτιού και άλλων παρόμοιων τροφίμων. Είναι μια ορθογώνια κατασκευή με δύο διαμερίσματα. Το πρώτο έχει διαστάσεις 5x5x3,8 cm ύψος και χωρίζεται από ένα πορτάκι που ανοίγει κάθετα προς τα πάνω κατά την έναρξη της μέτρησης. Σε αυτό το χώρο τοποθετείται το δείγμα περίπου 100mL. Το άλλο διαμέρισμα που έχει μήκος 24 cm, είναι διαβαθμισμένο κάθε μισό εκατοστό και έχει πλάτος 5cm ύψος περίπου 2,5 cm. Ορίζεται ένα πρωτόκολλο χρονομέτρησης για τη δοκιμή ανάλογα με πρότερη εμπειρία και εκτίμηση συνήθως 0,5- 1- 2 ή σε ακραία περίπτωση 5 min. Κατά την έναρξη της μέτρησης ανοίγει η πόρτα και το τρόφιμο διατρέχει το δεύτερο



διαμέρισμα και καταγράφεται η τιμή στην κλίμακα μέχρι εκεί που έχει καλύψει το τρόφιμο με το πέρας του χρόνου. Το 1993, οι McCarthy και Seymour κατάστρωσαν ένα ισοζύγιο με τις δυνάμεις της βαρύτητας και τους ιξώδους και την εξάρτησή τους από το ύψος, την πυκνότητα και το ιξώδες του υλικού και για νευτώνειο ρευστό, κατέληξαν στην σχέση (Εξίσωση 13), για την απόσταση που διατρέχει δείγμα

$$L = \xi_N \left( \frac{gq^3}{3v} \right)^{0,2} t^{0,2} \quad (13)$$

όπου  $\xi_N$  έχει θεωρητική τιμή ίση με 1,411,  $g$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας,  $q$ , είναι ο όγκος που περνά ανά μονάδα πλάτους,  $v$ , το κινηματικό ιξώδες και  $t$ , ο χρόνος μέτρησης. Οι ίδιοι το 1994 πρότειναν την επέκταση της μέτρησης του ιξωδόμετρου Bostwick σε μη νευτώνεια ρευστά όταν παρατήρησαν ότι σχετίζεται γραμμικά με το φαινόμενο ιξώδες διαιρεμένο από την πυκνότητα αν υψωθεί στην -0,2, (Steffe, 1996. Rao, 2014).

Οι Barringer et al το 1998 επιβεβαίωσαν ότι η μέτρηση στο Bostwick είναι ευθέως ανάλογη του κινηματικού ιξώδους<sup>0,2</sup> και άρα ευθέως ανάλογη του χρόνου  $t^{0,2}$ , (Bourne, 2002).

### 3. Σκοπός

Ο σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση τεχνικών αντιμετώπισης του προβλήματος της συναίρεσης που εμφανίζεται κατά την αποθήκευση του αλείμματος τζατζίκι βιομηχανικής παραγωγής. Για το σκοπό αυτό παρασκευάστηκε τζατζίκι με επιδόρπιο γιαουρτιού και έγινε προσομοίωση της υγρασία που απελευθερώνεται από το αγγούρι στη συνεχή φάση. Δοκιμάστηκε η ικανότητα πέντε διαφορετικών σταθεροποιητών να εξαλείψουν τη συναίρεση με προσθήκη αυτών σε δύο επίπεδα συγκέντρωσης 1% και 2%. Παράλληλα μελετήθηκε η διατήρηση της αναμενόμενης δομής και υφής των δειγμάτων από την εφαρμογή των σταθεροποιητών αυτών, με τον προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας του Young, ως δείκτης σταθερότητας της δομής, του εκτατικού ιξώδους, ως παραμέτρου διεργασίας κατά τη βιομηχανική παρασκευή και του εμπειρικού ιξώδους (Bostwick), ως μια γρήγορη πρακτική μέθοδος εκτίμησης του ιξώδους κατά την παραγωγική διαδικασία.

## 4. Υλικά και μέθοδοι

### 4.1. Πρώτες ύλες

Για την παρασκευή των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν ως βάση δύο προϊόντα στραγγιστό επιδόρπιο γιαούρτης από διαφορετικές εταιρίες που αγοράστηκαν από την τοπική αγορά με κωδικό αναφοράς Επιδόρπιο 1 και Επιδόρπιο 2 αντίστοιχα. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν μαγειρικό αλάτι, σκόνη σκόρδο και ηλιέλαιο. Οι σταθεροποιητές που χρησιμοποιήθηκαν για την αντιμετώπιση της συναίρεσης ήταν 1) Guar gum powder (E412), mesh 200 της εταιρίας ALTRAFINE GUMS. 2) Xanthan gum (E415) mesh 200 Type 602 FG, της εταιρίας ROEPER GmbH. 3) Carrageenan gum (E407a). 4) Προζελατινοποιημένο τροποποιημένο κηρώδες άμυλο καλαμποκιού Agenajel 20.309 (Pregelatinized modified waxy corn starch) της εταιρίας AGRANA Starke GmbH και τέλος προζελατινοποιημένο κηρώδες άμυλο της εταιρίας TATE & LYLE.

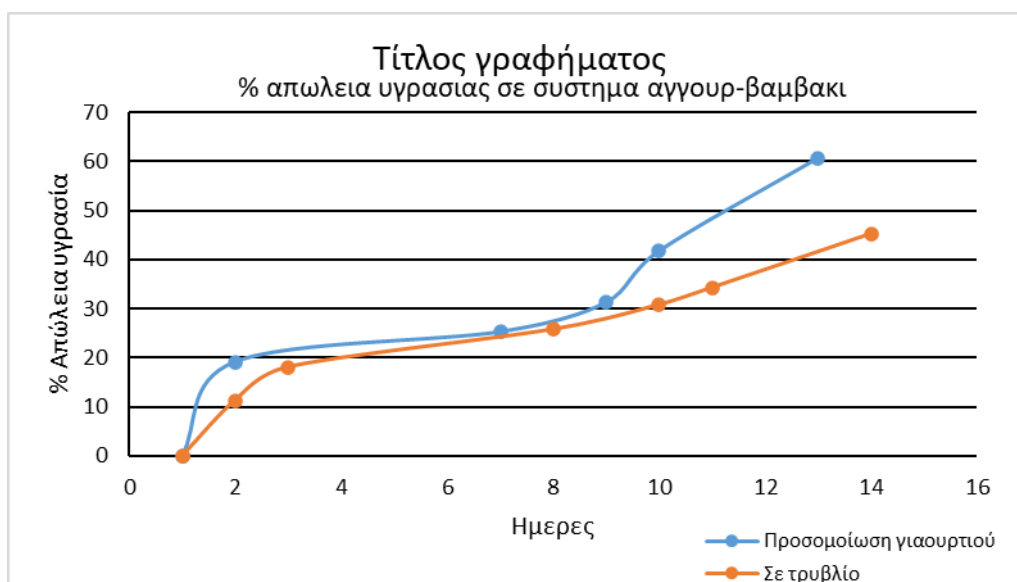
### 4.2. Παρασκευή των δειγμάτων

Για την παραγωγή των δειγμάτων τζατζικιού χρησιμοποιήθηκε μια συνταγή για όλα τα δείγματα (Πίνακας 2) και προστέθηκαν οι σταθεροποιητές μεμονωμένα σε περιεκτικότητες 1 και 2 % και συνδυασμός αυτών των σταθεροποιητών σε ίσες ποσότητες με στόχο τα 1 και 2%. Στα δείγματα τζατζικιού δεν προστέθηκε αγγουράκι αλλά αντί για αυτό έγινε προσομοίωση της υγρασίας που αποβάλλει το αγγουράκι μέσα στο δείγμα με την υπόθεση ότι ποσότητα αγγουριού 20 g στα 100 g δείγματος αποβάλλει το 50% το βάρος του. Η υπόθεση αυτή αποδείχθηκε επαρκής δεδομένου ότι έγινε μέτρηση της απώλειας υγρασίας από το αγγούρι σε κατάλληλο περιβάλλον σε βάθος 10 ημερών, με σταθμική μέθοδο. Η συνταγή που εκτελέστηκε φαίνεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Συνταγή βάσει της οποίας έγιναν δείγματα τζατζικιού με προσθήκη 1% και 2% σταθεροποιητή μεμονωμένων ή και σε συνδυασμό.

Συστατικό	Ποσότητα, %	
Επιδόρπιο 1	27	26
Επιδόρπιο 2	63	62
Σκόρδο	3	3
Αλάτι	1	1
Ηλιέλαιο	5	5
<b>Σταθεροποιητής</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Νερό ( στα προκαταρκτικά δείγματα)	10	10

Για τον προσδιορισμό της απώλειας υγρασίας του αγγουριού μέσα στο περιβάλλον του ενός γιαουρτιού έγινε ανάλυση των πιθανών φαινομένων και εκτίμηση των επικρατέστερων και επιστρατεύτηκε η φαντασία. Αφού προσδιορίστηκε με ξήρανση η υγρασία του γιαουρτιού, χρησιμοποιήθηκε βαμβάκι για την προσομοίωση του υγρού περιβάλλοντος του γιαουρτιού. Έτσι χρησιμοποιήθηκε βαμβάκι βάρους όσο των στερεών, το οποίο βράχθηκε με ποσότητα ίση με την υγρασία του δείγματος γιαουρτιού για να προσομοιάσει το δείγμα. Σε αυτό τοποθετήθηκε η ορισμένη ποσότητα αγγουριού και όλο μαζί τοποθετήθηκε στο ψυγείο για 13 ημέρες. Παράλληλα ορισμένη ποσότητα αγγουριού τοποθετήθηκε στο ψυγείο μέσα σε τρυβλίο για την σύγκριση του της απώλειας υγρασίας. Στο Σχήμα 14 παρουσιάζεται η % απώλεια υγρασίας του αγγουριού σε περιβάλλον που προσομοιάζει το γιαούρτι που υποστηρίζει την υπόθεση ότι το αγγούρι που προστίθεται χάνει το 50% του βάρους του από την απώλεια υγρασίας.



Σχήμα 14. Προσδιορισμός της % απώλειας υγρασίας του αγγουριού μέσα σε περιβάλλον που προσομοιάζει το γιαούρτι.

Από τον προκαταρτικό σχεδιασμό προέκυψαν 30 δείγματα (15 με 1% και 15 με 2% σταθεροποιητή). Από αυτά τα δείγματα επιλέχθηκαν τα 12 με βάση το επιθυμητό ιξώδες του προϊόντος με αυθαίρετο κριτήριο  $L = 5 \text{ cm}$  από προκαταρτικές μετρήσεις που έγιναν στο ιξωδόμετρο Bostwick. Τα δείγματα αυτά έδωσαν τιμή  $L$ , γύρω (πάνω και κάτω) από την τιμή του κριτηρίου. Για την διεξαγωγή των μετρήσεων στο Bostwick και την επιλογή των δειγμάτων εφαρμόστηκε αρχικά ένα πρωτόκολλο αραιώσης (Α.) δείγμα : νερό 2:1, για να μπορεί να γίνει επιλογή καθώς όλα τα δείγματα ήταν από αρκετά ιξώδη έως σχεδόν στερεά. Όπως φαίνεται από την συνταγή στα δείγματα

Στη συνέχεια, από τα 12 δείγματα που επιλεχθήκαν παρασκευάστηκαν ποσότητες του ενός κιλού όπως φαίνονται στον Πίνακα 3. Από τις ποσότητες αυτές παράχθηκαν δύο

σειρές δειγμάτων, α) αυτά χωρίς προσθήκη νερού στη συνταγή που να προσομοιάζει την υγρασία που αποβάλλεται από το αγγούρι και β) σε εκείνα που νερό προστέθηκε να προσομοιάσει το επιπλέον νερό που προστίθεται από το αγγούρι. Έτσι συνολικά παρασκευάστηκαν 24 δείγματα που αποτέλεσαν δύο σειρές δειγμάτων 12 και 12 με κωδικούς «8» και «9» αντίστοιχα και συντομογραφίες ανάλογα το σταθεροποιητή και τη συγκέντρωση του στο δείγμα. Σε αυτά τα 24 δείγματα έγιναν, οπτική παρατήρηση εμφάνισης συναίρεσης μετά από 40 ημέρες, μετρήσεις των ρεολογικών ιδιοτήτων με εμπειρικό ιξωδόμετρο (Bostwick) και με αναλυτή υφής (Εκτατή ροή) και μηχανικών ιδιοτήτων (Μέτρο ελαστικότητας).

Πίνακας 3. Κωδικοί δειγμάτων σύμφωνα με το σταθεροποιητή και την αναλογία που προστέθηκε στα δείγματα τζατζικιού.

A/A	Όνομασία	Κωδικοί δειγμάτων	
		Σειρά 8	Σειρά 9
1	Guar gum 1%	8gg 1	9gg 1
2	Guar gum 2%	8gg2	9gg2
3	Xanthan 1%	8xa1	9xa1
4	Xanthan 2%	8xa2	9xa2
5	Tatelyle-xanthan	8taxa1	9taxa1
6	Tatelyle-xanthan	8taxa2	9taxa2
7	xanthan-guar 1%	8xagg1	9xagg1
8	xanthan-carrageenan 1%	8xaca1	9xaca1
9	xanthan-agenajel 1%	8xaag1	9xaag1
10	xanthan-guar 2%	8xagg2	9xagg2
11	xanthan-carrageenan 2%	8xaca2	9xaca2
12	xanthan-agenajel 2%	8xaag2	9xaag2

### 4.3. Μέθοδος Bostwick

Για τις μετρήσεις στο ιξωδόμετρο Bostwick χρησιμοποιήθηκε το όργανο του βιομηχανικού εργαστηρίου του τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας τροφίμων (ΔΠΠΑΕ) μέγεθος, (5x5x3,8 cm και 24 cm μήκος διαμερίσματος ροής) και εφαρμόστηκε ένα πρωτόκολλο μέτρησης χρόνου 30 s. Στο Bostwick έγιναν 4 σειρές μετρήσεων μία για κάθε παραλλαγή από τις 4 που παράχθηκαν 1) δείγμα τζατζικιού χωρίς νερό, β) δείγμα τζατζικιού με αραιώση. 2:1, γ) δείγμα τζατζικιού με νερού ( απομίμηση υγρασίας αγγουριού) και δ) δείγμα τζατζικιού με νερού (απομίμηση υγρασίας αγγουριού) με αραιώση 2:1. Οι κωδικοί που χρησιμοποιήθηκαν στις

παραπάνω περιπτώσεις είναι, 8XN, 8N, 9XN, 9N με τις συντομογραφίες του Πίνακα 3 στην προηγούμενη παράγραφο (§ 4.2), αντίστοιχα.

#### **4.4. Δοκιμή λιπαινόμενης συμπίεσης ροής (squeeze flow)**

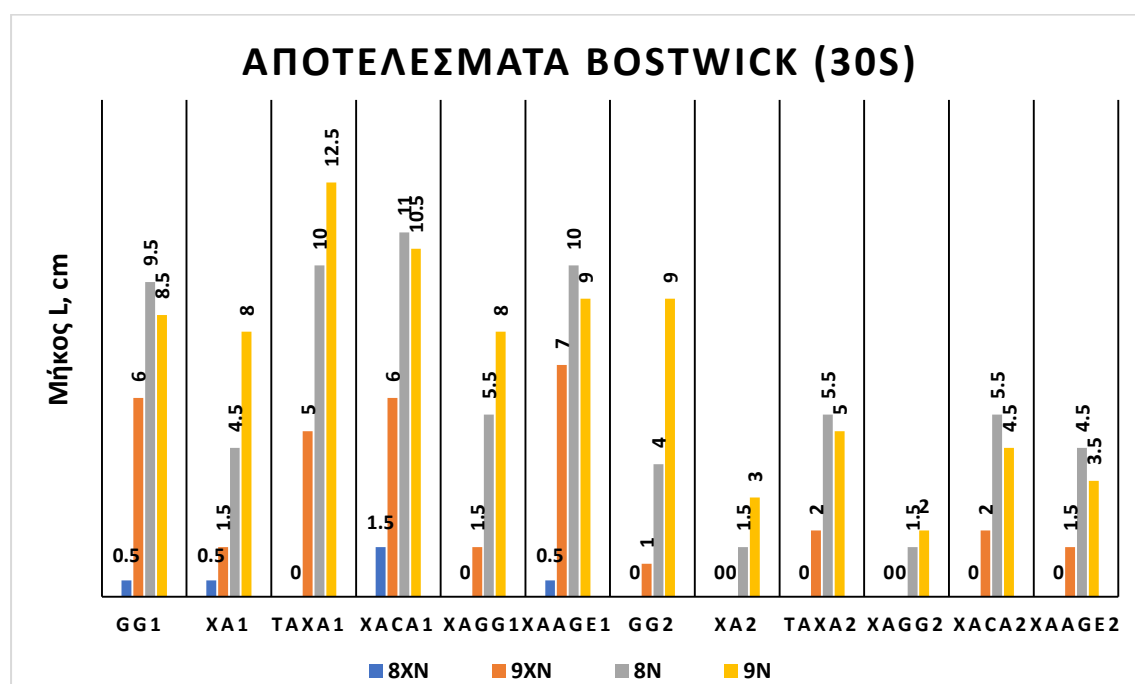
Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ειδικό καλούπι από αλουμίνιο σχήματος δακτυλίου που χωρίζεται στα δύο κατά μήκος της διαμέτρου του. Η διάμετρος των δειγμάτων στο δακτύλιο ήταν 0,051 m και το ύψος 0,0098 m. Το καλούπι αυτό τοποθετήθηκε σε γυάλινη πλάκα διαστάσεων 0,2x0,2 m. Τα εσωτερικά τοιχώματα του δακτυλίου και η επιφάνεια της γυάλινης πλάκας καλύφθηκαν με παραφινέλαιο για την δημιουργία συνθηκών λιπαινόμενης ροής. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν με προσοχή στο δειγματοφορέα στην προσπάθεια να αποφευχθεί η διατάραξη της δομής τους. Η επιφάνεια των δειγμάτων καλύφθηκε επίσης με παραφινέλαιο για τη τήρηση της συνθήκης της λιπαινόμενης ροής από την πλευρά του εμβόλου. Η τεχνική συμπίεσης που χρησιμοποιήθηκε είναι εκείνη της μερικής κάλυψης της επιφάνειας του εμβόλου (σταθερού όγκου δείγματος), με διάμετρο εμβόλου 100 mm. Το κέντρο του δείγματος ευθυγραμμίστηκε με το κέντρο του εμβόλου και απομακρύνθηκε ο αποσπώμενος δακτύλιος. Το έμβολο τοποθετήθηκε χειροκίνητα να εφάπτεται στην επιφάνεια του δείγματος και έγινε έναρξη της μέτρησης. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με σταθερό ρυθμό παραμόρφωσης για 4 διαφορετικούς ρυθμούς παραμόρφωσης 1%, 4%, 7% και 10% και ποσοστό συμπίεσης 50%, για κάθε δείγμα σε θερμοκρασία 5-10 °C. Κατά τη μέτρηση καταγράφονταν σε πραγματικό χρόνο δεδομένα της δύναμης, του χρόνου συμπίεσης και της απόστασης.

#### **4.5. Δοκιμή μονοαξονικής συμπίεσης ( μέτρο ελαστικότητας του Young)**

Η ταχύτητα καθόδου του εμβόλου ρυθμίστηκε στα 1 mm/s και η μέγιστη συμπίεση ρυθμίστηκε σε 10% παραμόρφωση του αρχικού ύψους δείγματος. Οι παράμετροι που καταγράφηκαν σε λειτουργία πραγματικού χρόνου και στις δύο εκδόσεις ήταν η δύναμη, η μετατόπιση και ο χρόνος. Οι καμπύλες τάσης-παραμόρφωσης (stress-strain) κατασκευάστηκαν και το μέτρο του Young υπολογίστηκε από την κλίση της καμπύλης. Όλες οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν δύο φορές.

## 5. Αποτελέσματα και συζήτηση

### 5.1 Εκτίμηση του ιξώδους με τη χρήση του ιξωδόμετρου Bostwick



Σχήμα 15. Αποτελέσματα του μήκους ροής από τις μετρήσεις στο ιξωδόμετρο Bostwick, των δειγμάτων τζατζικιού με κωδικούς 8: (χωρίς υγρασία από αγγουράκι) και 9 ( με αποβολή 50% υγρασίας από αγγουράκι), σε 2 παραλλαγές για το καθένα, χωρίς αραιώση(XN) και με αραιώση (N), 8XN (μπλε), 8N(γκρι), 9XN(πορτοκαλί), 9N (κίτρινο),αντίστοιχα.

Στο Σχ.15 παρουσιάζονται οι χρόνοι ροής των δειγμάτων τζατζικιού που μετρήθηκαν με τη χρήση του οργάνου Bostwick. Όλα τα δείγματα, αυτά που αποτελούνταν μόνο από τη συνεχή φάση και εκείνα που αποτελούνταν από συνεχή φάση και προσομοίωση αγγουριού, μετρήθηκαν στο ιξωδόμετρο Bostwick χωρίς και με αραιώση με νερό σε αναλογία δείγμα:νερό = 2:1 για την παρατήρηση για την μελέτη της επίδρασης της αυξανόμενης υγρασίας στη συνεχή φάση, παρουσία των διαφορετικών σταθεροποιητών.

Όπως παρατηρείται, για τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος σταθεροποιητής αλλά σε διαφορετικές συγκεντρώσεις δηλ. 1 και 2% η επίδραση της συγκέντρωσης παίζει καθοριστικό ρόλο με αποτέλεσμα τα δείγματα με αυξημένη συγκέντρωση να εμφανίζονται εμφανώς πιο παχύρευστα. Επιπλέον, τα δείγματα στα οποία έχει προστεθεί νερό και επιπλέον έχουν αραιωθεί με νερό εμφανίζονται να είναι, όπως είναι φυσικό, πολύ πιο λεπτόρευστα απ' αυτά που δεν έχουν υποστεί την διαδικασία της αραιώσης. Επίσης στα περισσότερα δείγματα διαφοροποιούνται εμφανώς οι

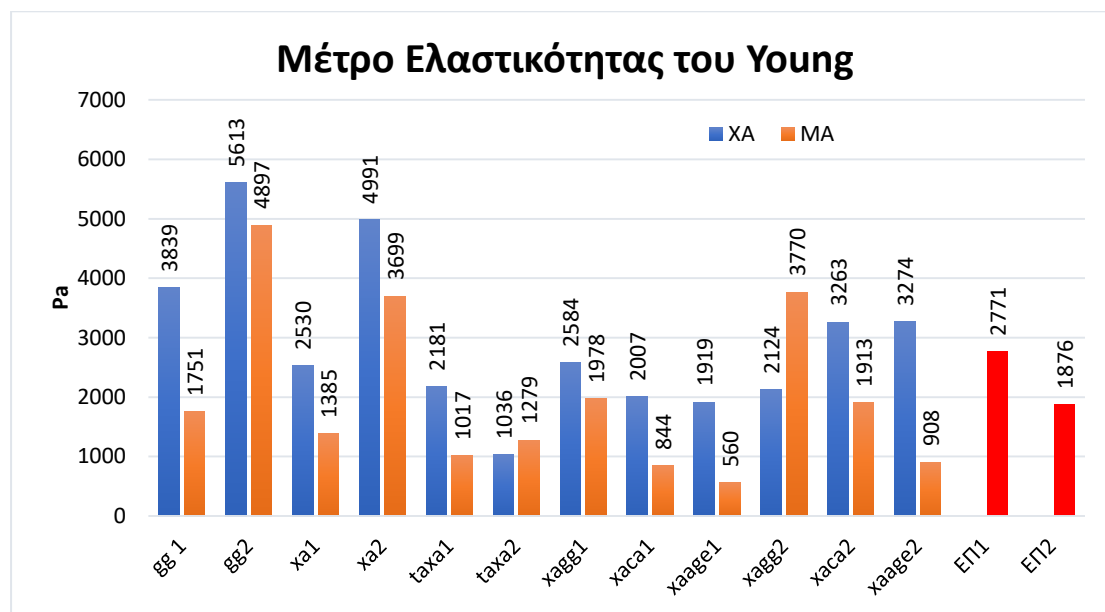
χρόνοι ροής στο αν περιέχουν εκτός από το νερό που αντιστοιχεί στο αγγουράκι και το νερό της αραίωσης από αυτά που περιέχουν μόνο το νερό που αντιστοιχεί στο αγγουράκι. Επιπλέον, παρατηρείται ότι τα δείγματα που περιέχουν μόνο ξανθάνη εμφανίζονται να είναι τα πλέον παχύρρευστα ακόμη και από εκείνα που περιέχουν εκτός από ξανθάνη και άλλους σταθεροποιητές π.χ. κόμμι γκουαρ.

Πίνακας 4. Αποτελέσματα μετρήσεων από το ιξωδόμετρο Bostwick όπως παρουσιάστηκαν στο παραπάνω σχήμα, (Σχήμα 14). 8= χωρίς αγγουράκι, 9= με αγγουράκι, XN = χωρίς νερό αραίωσης για τη μέτρηση, N= με νερό αραίωσης. Τα ποσοστά δείχνουν το επιπλέον νερό για τη διεξαγωγή της μέτρησης.

	8XN(0%)	9XN(10g, 0%)	8N(33%)	9N(10g, 43%)
gg1	0,5	6	9,5	8,5
xa1	0,5	1,5	4,5	8
taxa1	0	5	10	12,5
xaca1	1,5	6	11	10,5
xagg1	0	1,5	5,5	8
xaage1	0,5	7	10	9
gg2	0	1	4	9
xa2	0	0	1,5	3
taxa2	0	2	5,5	5
xagg2	0	0	1,5	2
xaca2	0	2	5,5	4,5
xaage2	0	1,5	4,5	3,5



## 5.2 Μέτρο ελαστικότητας του Young

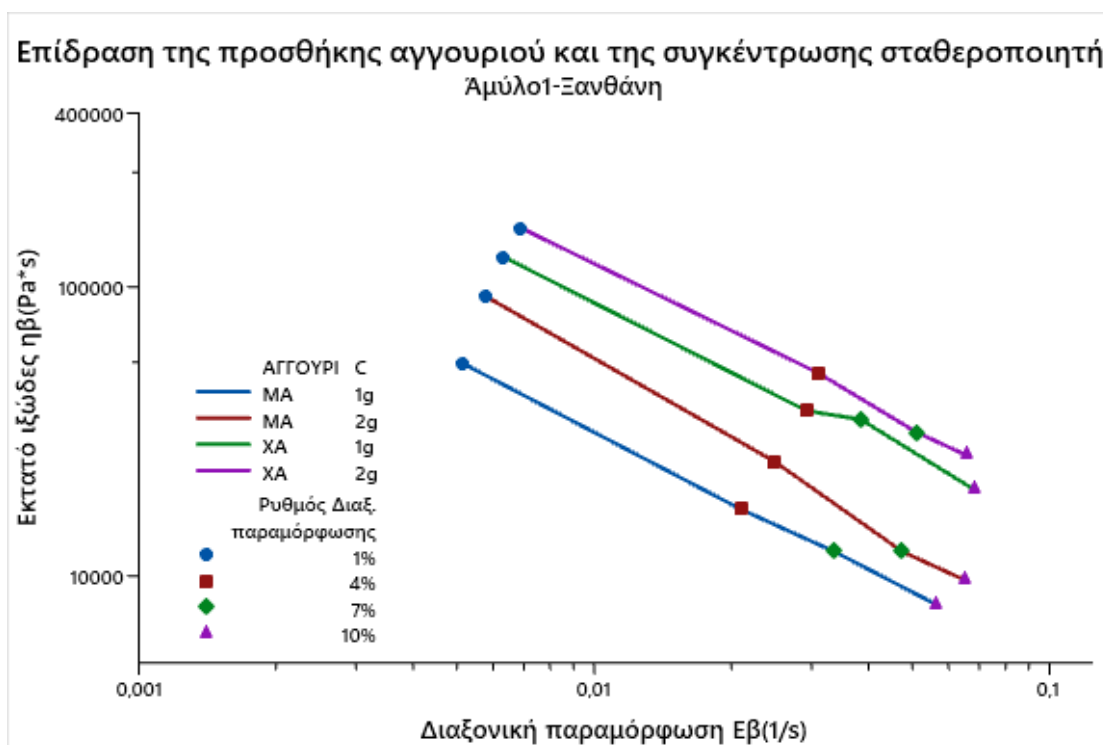


Σχήμα 16. Τιμή του μέτρου ελαστικότητας του Young, για τις δύο σειρές δειγμάτων χωρίς αγγούρι, XA (πάνω) και με αγγούρι, MA (κάτω) αντίστοιχα.

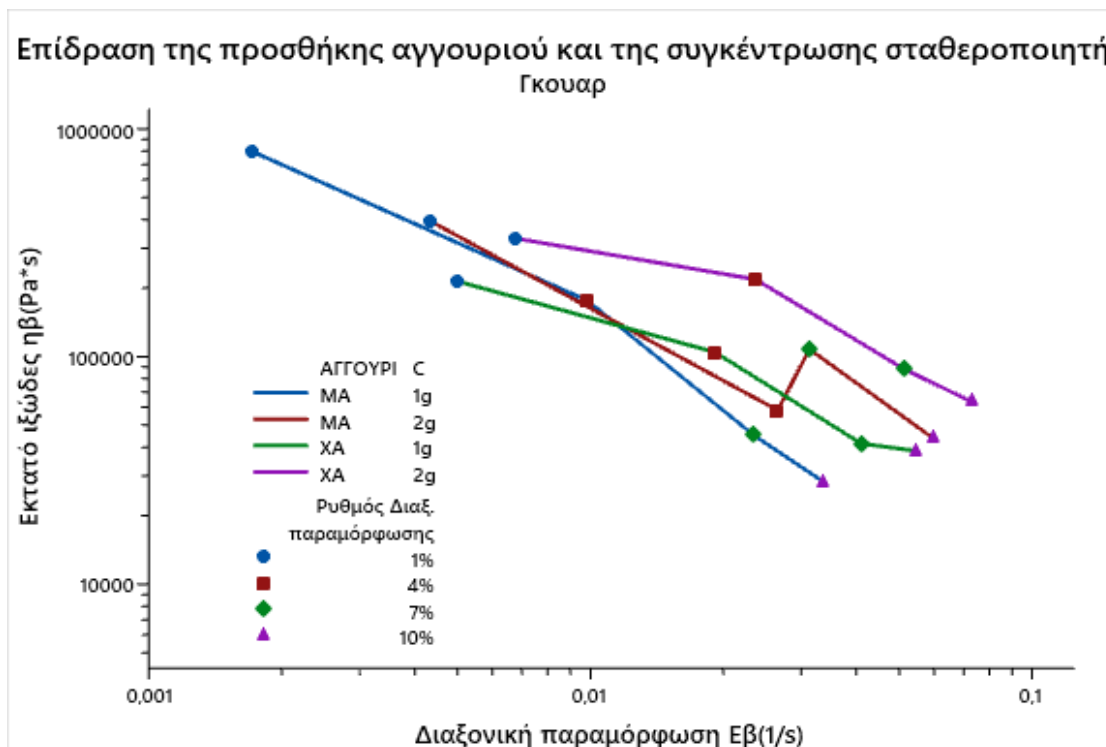
Στο Σχ. 16 παρουσιάζονται οι τιμές του μέτρου Young για τα δείγματα στα οποία δεν έχει προστεθεί αγγούρι (XA) δηλ. δεν περιέχουν αγγουράκι και σε αυτά που έχει προστεθεί αγγούρι (MA) για να προσομοιάσει το νερό που απελευθερώνεται από το αγγούρι. Όπως ήταν αναμενόμενο τα δείγματα XA παρουσιάζουν μεγαλύτερη τιμή του συντελεστή ελαστικότητας απ' ό,τι τα δείγματα MA που περιέχουν περισσότερο νερό. Επιπλέον, τα δείγματα που περιέχουν μόνο κόμμι γκουαρ εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές του μέτρου Young.

### 5.3 Επίδραση της προσθήκης αγγουριού και της συγκέντρωσης σταθεροποιητή στο Εκτατό Ιξώδες.

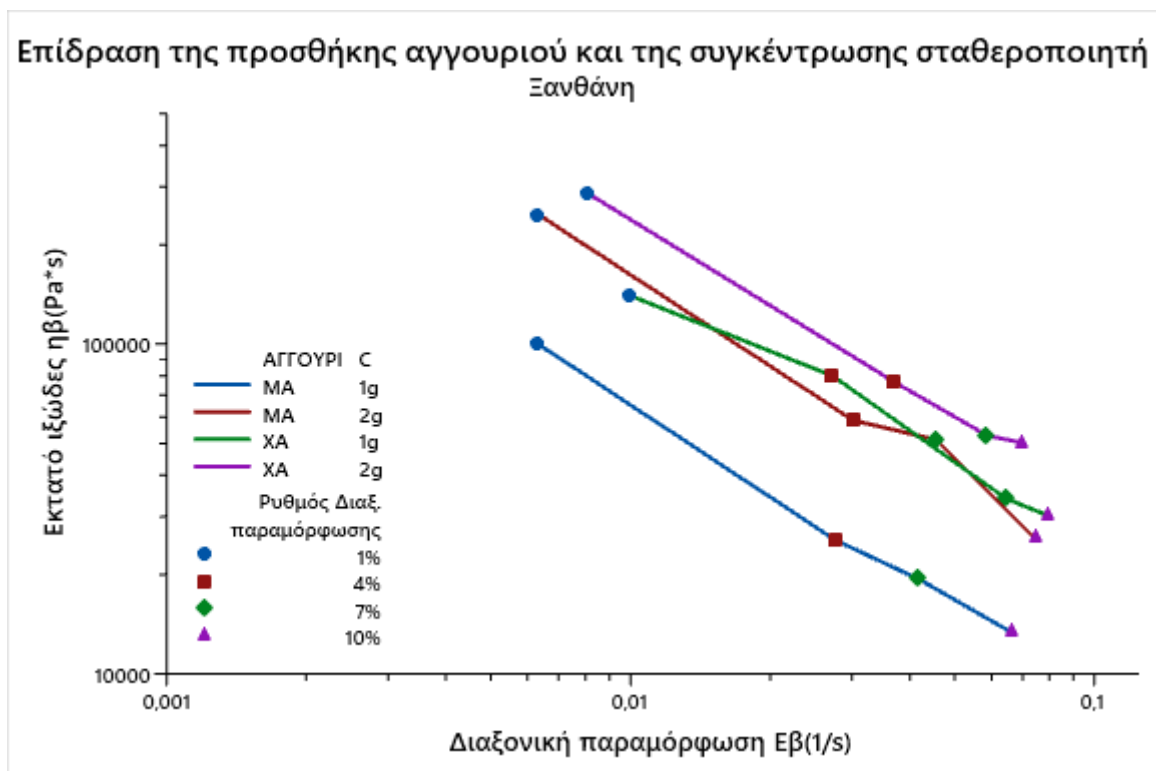
Παρουσίαση των αποτελεσμάτων για κάθε σταθεροποιητή χωριστά



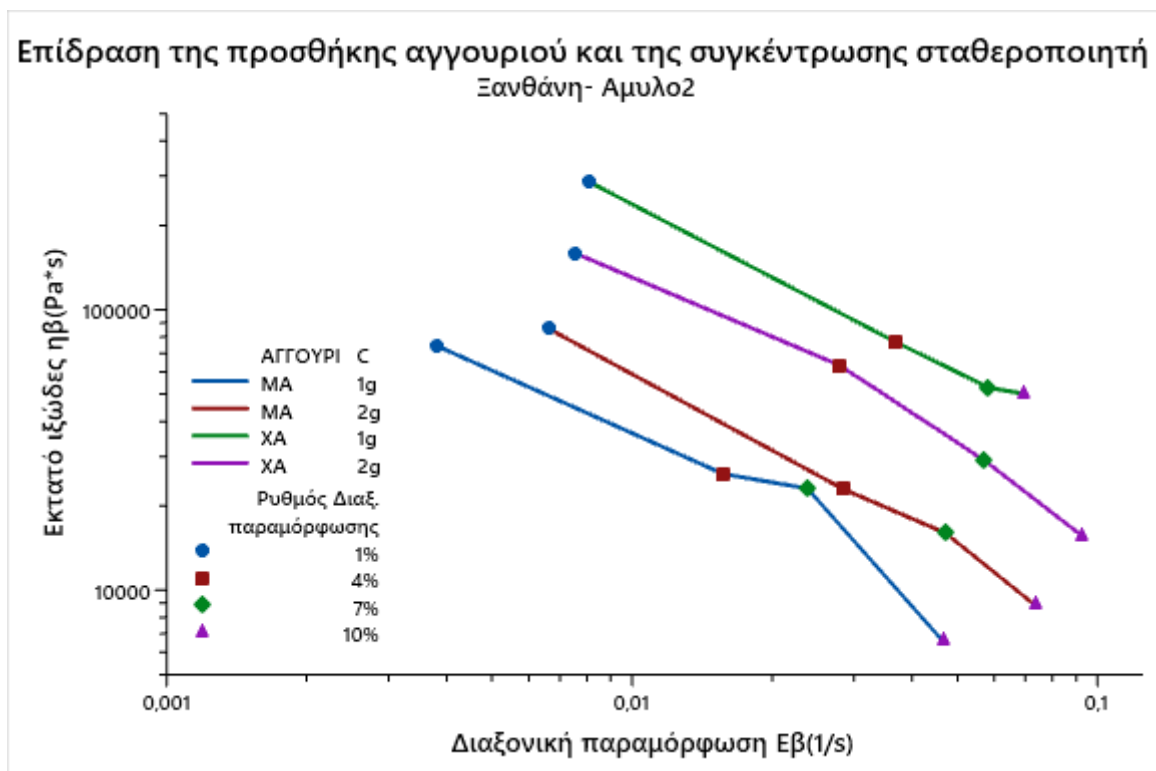
Σχήμα 17. Εκτατό ιξώδες τζατζικίου χωρίς προσομοίωση αγγουριού και συγκέντρωση μίγματος σταθεροποιητή Αμυλο1-Ξανθάνη 1 και 2 % (μπλε και κόκκινη γραμμή αντίστοιχα), και με προσομοίωση αγγουριού 1 και 2% (πράσινη και μωβ γραμμή αντίστοιχα).



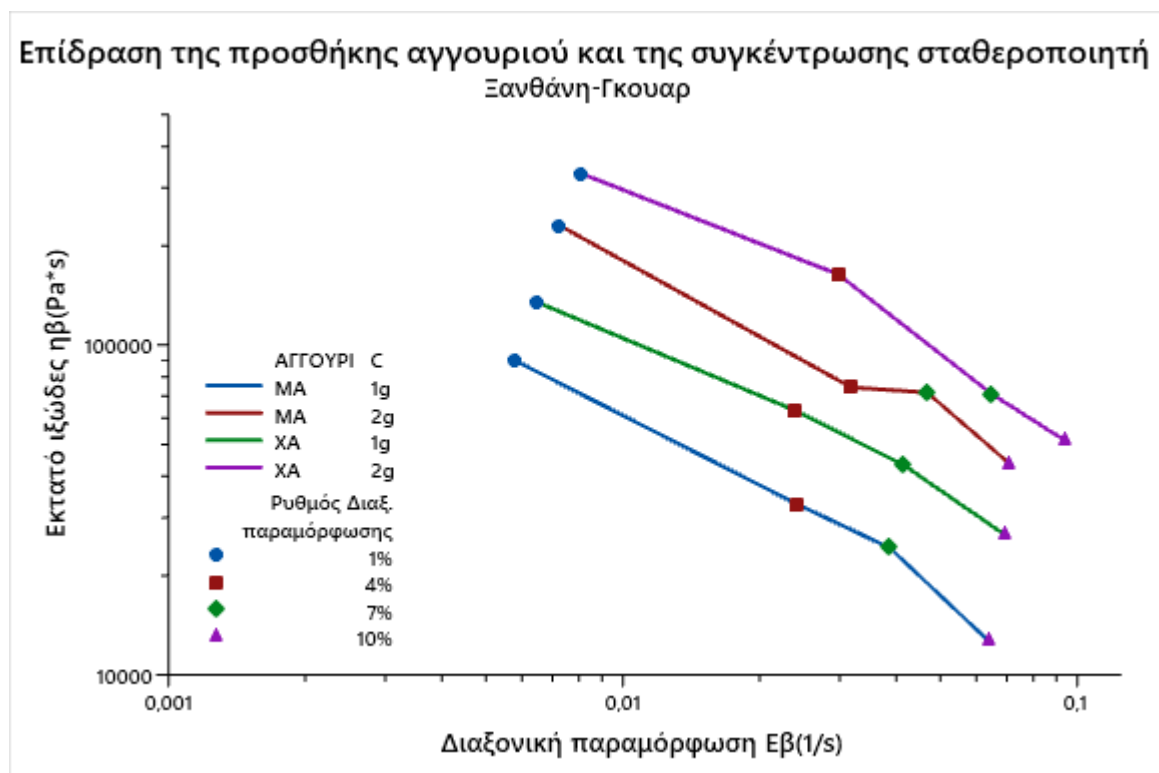
Σχήμα 18. Εκτατό ιξώδες τζατζικίου χωρίς προσομοίωση αγγουριού και συγκέντρωση σταθεροποιητή Γκουαρ 1 και 2% (μπλε και κόκκινη γραμμή αντίστοιχα), και με προσομοίωση αγγουριού 1 και 2% (πράσινη και μωβ γραμμή αντίστοιχα).



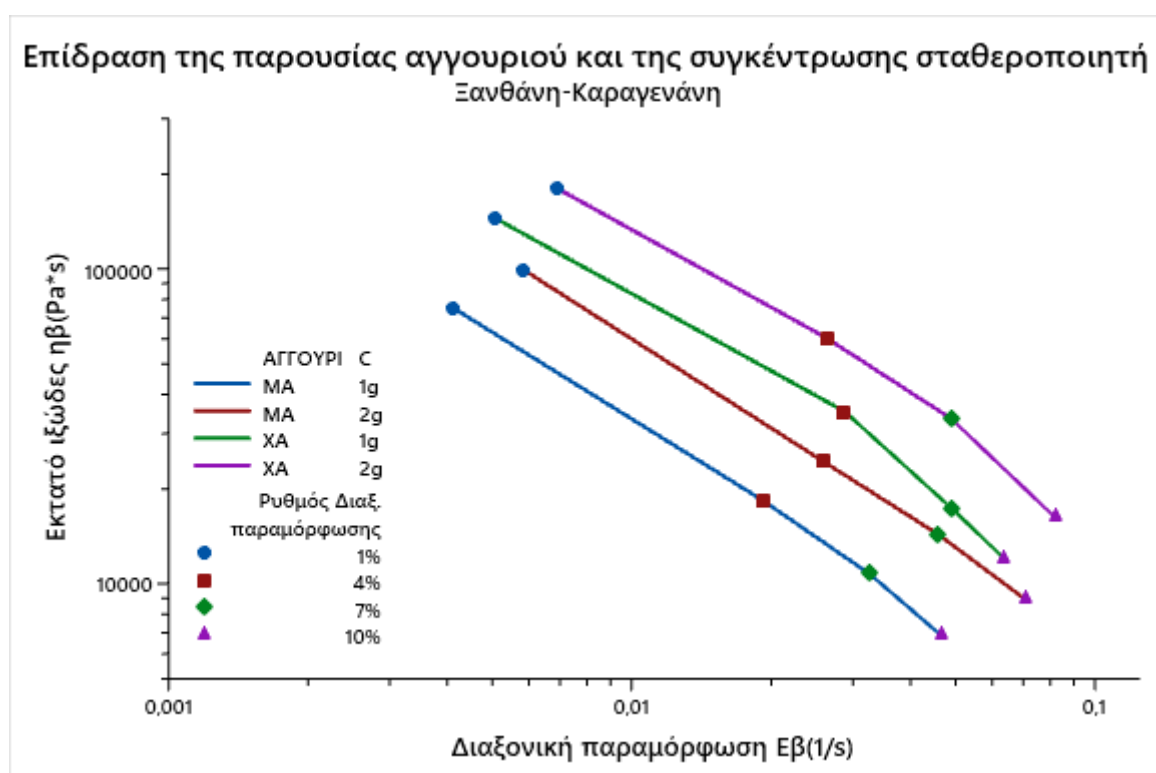
Σχήμα 19. Εκτατό ιξώδες τζατζικίου χωρίς προσομοίωση αγγουριού και συγκέντρωση σταθεροποιητή Ξανθάνη 1 και 2% (μπλε και κόκκινη γραμμή αντίστοιχα), και με προσομοίωση αγγουριού 1 και 2% (πράσινη και μωβ γραμμή αντίστοιχα).



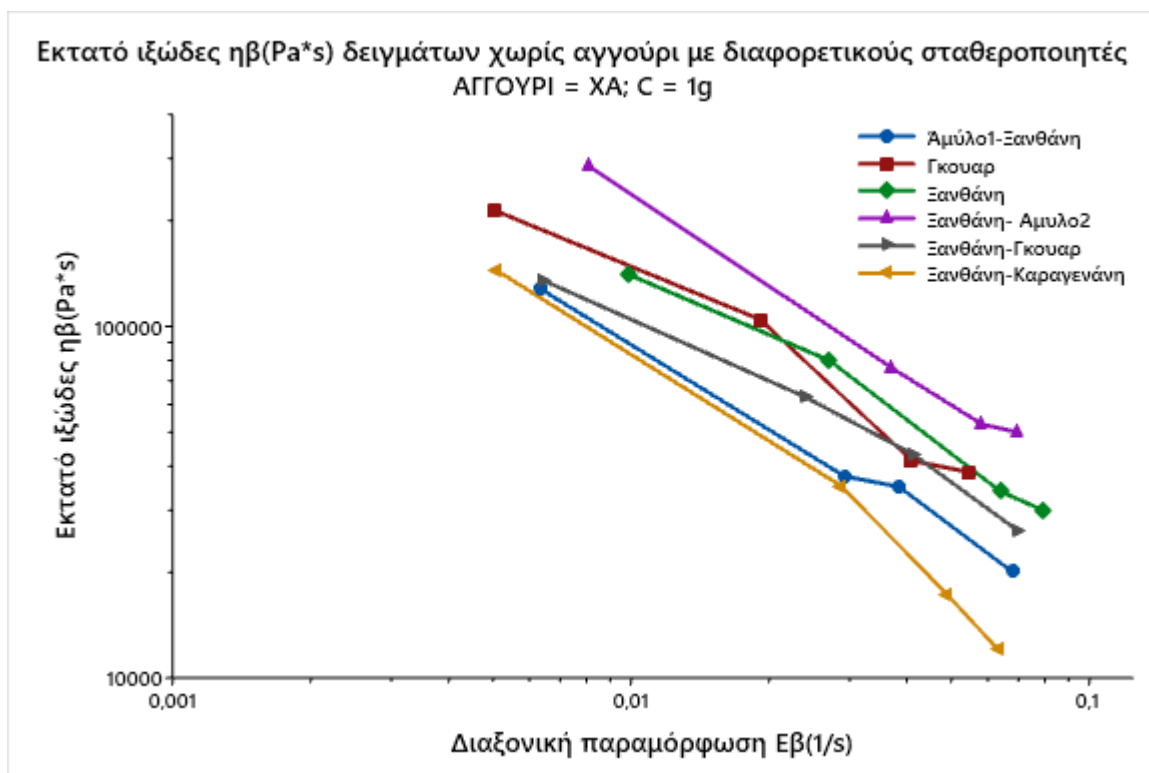
Σχήμα 20. Εκτατό ιξώδες τζατζικίου χωρίς προσομοίωση αγγουριού και συγκέντρωση μίγματος σταθεροποιητή Ξανθάνη-Αμυλο2, 1 και 2% (μπλε και κόκκινη γραμμή αντίστοιχα), και με προσομοίωση αγγουριού 1 και 2% (πράσινη και μωβ γραμμή αντίστοιχα).



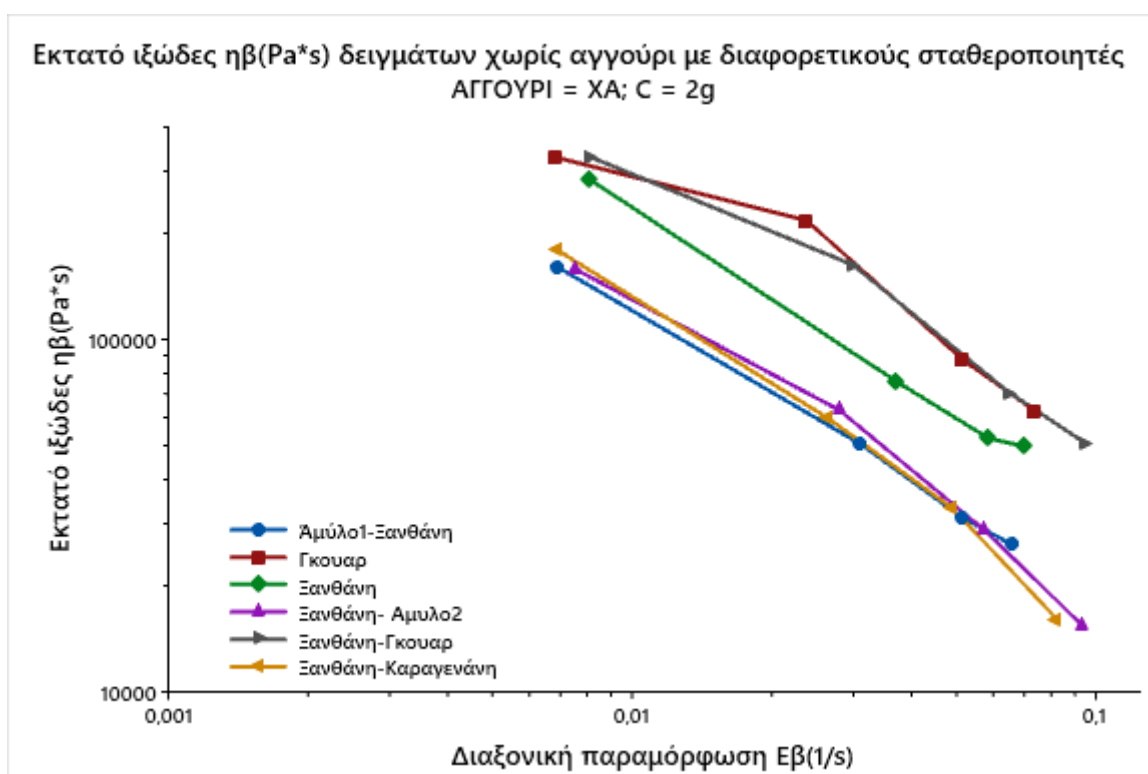
Σχήμα 21. Εκτατό ιξώδες τζατζικιού χωρίς προσομοίωση αγγουριού και συγκέντρωση μίγματος σταθεροποιητή Ξανθάνη-Γκουαρ, 1 και 2% (μπλε και κόκκινη γραμμή αντίστοιχα), και με προσομοίωση αγγουριού 1 και 2% (πράσινη και μωβ γραμμή αντίστοιχα).



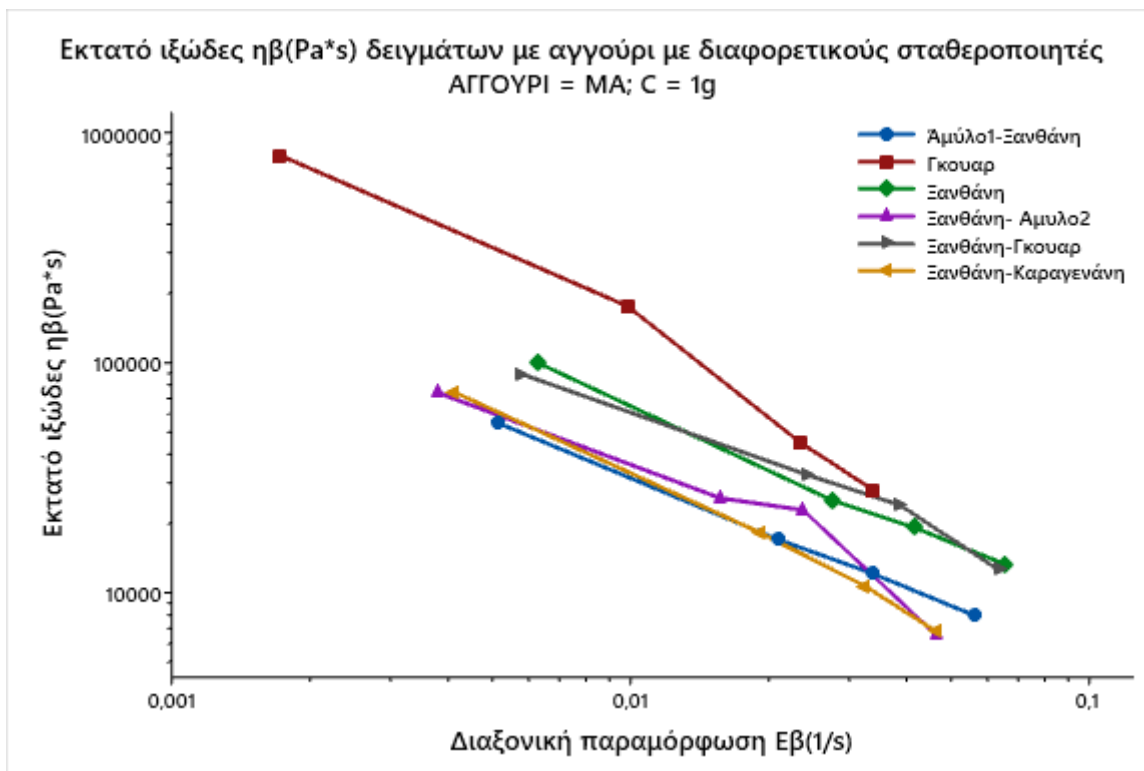
Σχήμα 22. Εκτατό ιξώδες τζατζικιού χωρίς προσομοίωση αγγουριού και συγκέντρωση μίγματος σταθεροποιητή Ξανθάνη-Καραγενάνη, 1 και 2% (μπλε και κόκκινη γραμμή αντίστοιχα), και με προσομοίωση αγγουριού 1 και 2% (πράσινη και μωβ γραμμή αντίστοιχα).



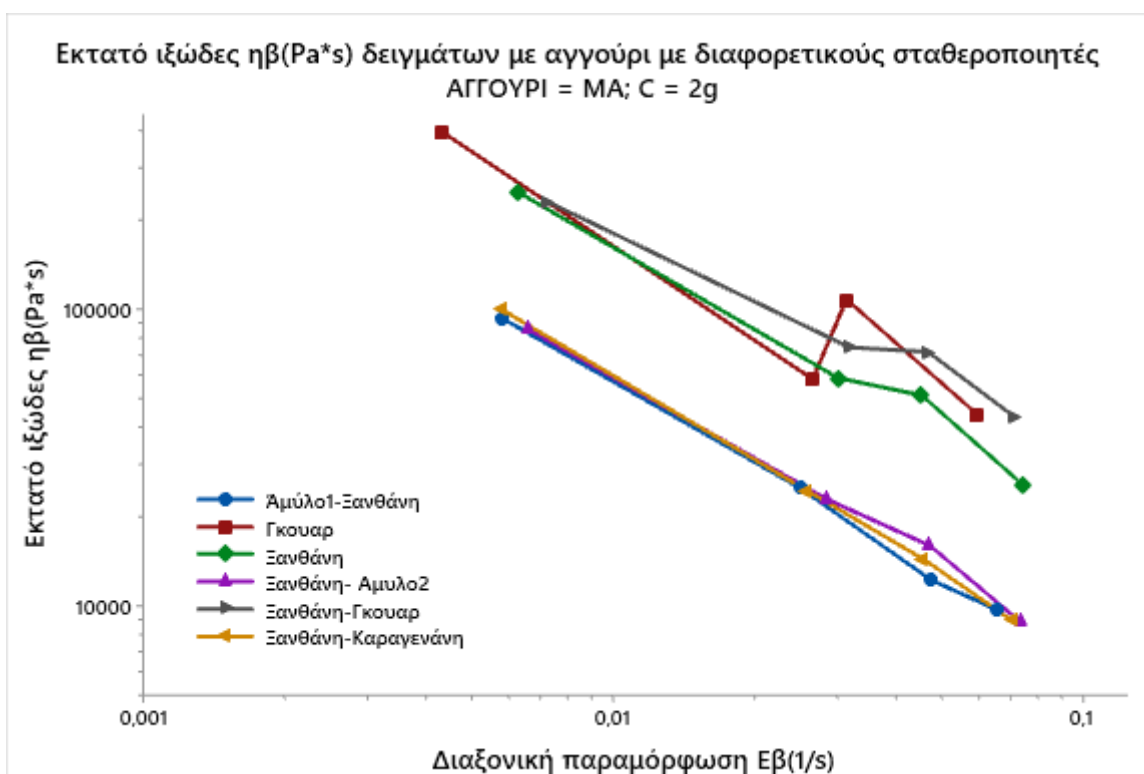
Σχήμα 23. Συγκριτική παρουσίαση του Εκτατού ιξώδους των δειγμάτων τζατζικιού με τους διαφορετικούς σταθεροποιητές που χρησιμοποιήθηκαν σε συγκέντρωση 1% και χωρίς την προσθήκη αγγουριού.



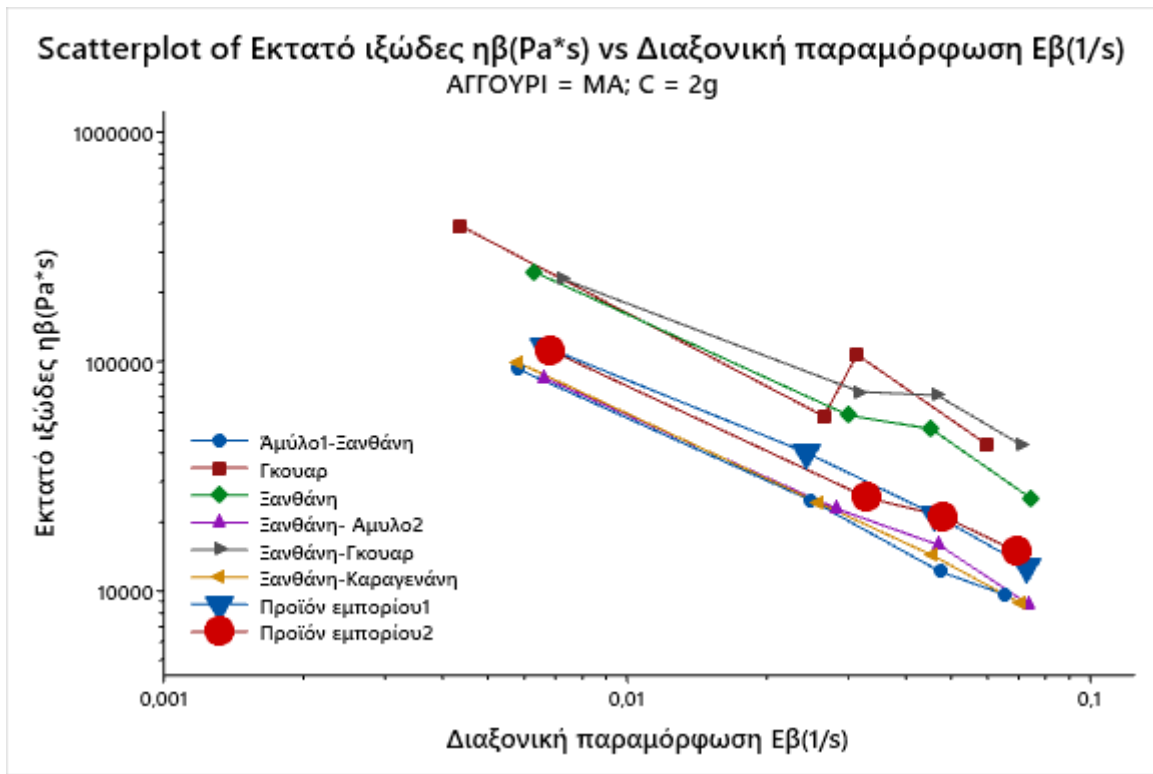
Σχήμα 24. Συγκριτική παρουσίαση του Εκτατού ιξώδους των δειγμάτων τζατζικιού με τους διαφορετικούς σταθεροποιητές που χρησιμοποιήθηκαν σε συγκέντρωση 2% και χωρίς την προσθήκη αγγουριού.



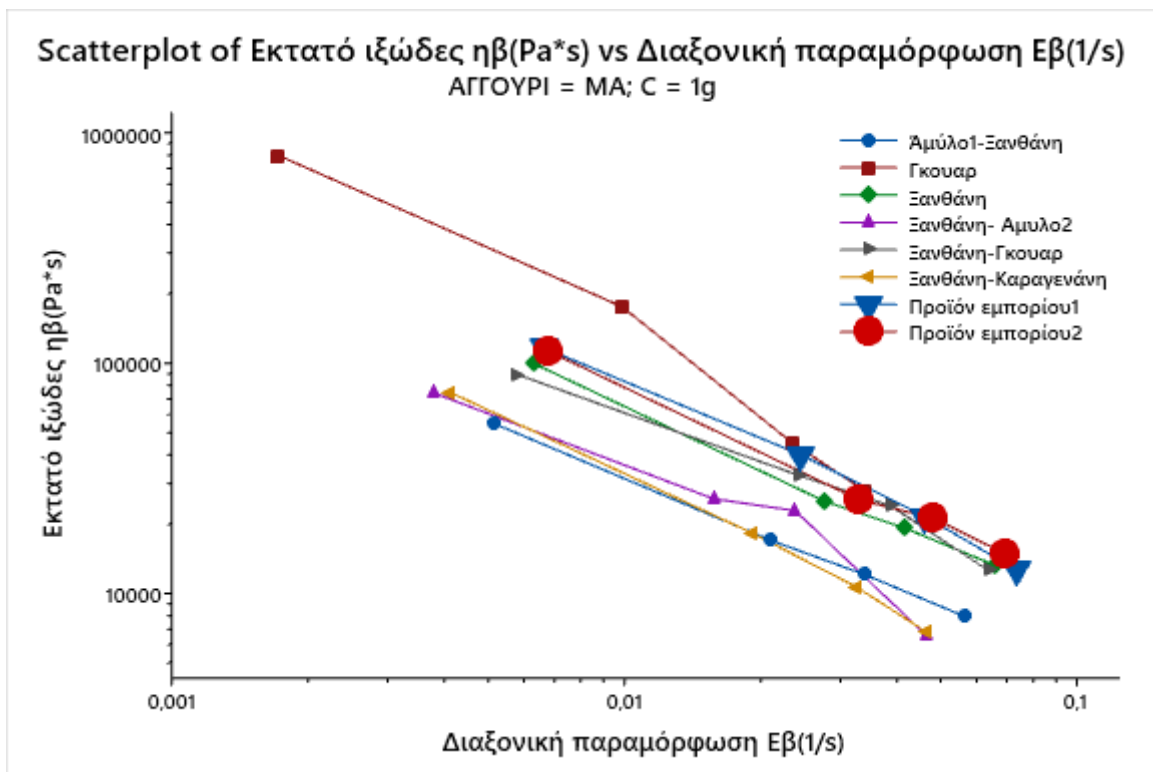
Σχήμα 25. Συγκριτική παρουσίαση του Εκτατού ιξώδους των δειγμάτων τζατζικιού με τους διαφορετικούς σταθεροποιητές που χρησιμοποιήθηκαν σε συγκέντρωση 1% και με την προσθήκη αγγουριού.



Σχήμα 26. Συγκριτική παρουσίαση του Εκτατού ιξώδους των δειγμάτων τζατζικιού με τους διαφορετικούς σταθεροποιητές που χρησιμοποιήθηκαν σε συγκέντρωση 2% και με την προσθήκη αγγουριού.



Σχήμα 27. Σύγκριση Εκτατού ιξώδους των δειγμάτων τζατζικιού με δύο τζατζίκια του εμπορίου (μπλε και κόκκινη διακεκομμένη γραμμή) άγνωστης συγκέντρωσης σταθεροποιητή 1: ζελατίνη και 2: Ζελατίνη και άμυλο αντίστοιχα).



Σχήμα 28. Σύγκριση Εκτατού ιξώδους των δειγμάτων τζατζικιού με δύο τζατζίκια του εμπορίου (μπλε και κόκκινη διακεκομμένη γραμμή) άγνωστης συγκέντρωσης σταθεροποιητή 1: ζελατίνη και 2: Ζελατίνη και άμυλο αντίστοιχα).

## 6. Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας έδειξαν τα ακόλουθα:

- Δεν προέκυψε καμία συνεργιστική συμπεριφορά μεταξύ σταθεροποιητών που είναι γνωστό ότι παρουσιάζουν τέτοια συμπεριφορά σε άλλα συστήματα πχ μαγιονέζας όπως είναι η ξανθάνη με το κόμμι γκουαρ.
- Συστήματα που περιείχαν μίγματα τροποποιημένου κηρώδους αμύλου και ξανθάνης έδειξαν την συμπεριφορά που εμφανίζει και η ξανθάνη όταν προστίθεται μόνη της.
- Συστήματα που περιείχαν ξανθάνη και καραγενάνη εμφανίζουν μεγαλύτερους χρόνους ροής γεγονός που πιθανώς υποδηλώνει ότι τα συστήματα αυτά μπορεί να είναι επιρρεπή στο να εμφανίσουν συναίρεση όταν προστεθούν ως συστατικά στο τζατζίκι.
- Η παρουσία του συστατικού επιδόρπιου είναι κατά βάση αυτό που καθορίζει την συνεκτικότητα του τζατζικιού ενώ οι σταθεροποιητές παίζουν τον ρόλο του παρεμποδιστή της συναίρεσης

Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

- Τα συστήματα των σταθεροποιητών που μελετήθηκαν εργαστηριακά να χρησιμοποιηθούν για μελέτη της συμπεριφοράς τους σε πραγματικές συνθήκες που απαντώνται στην βιομηχανία για την παραγωγή όμοιων προϊόντων
- Να γίνουν δοκιμές προσδιορισμού διάρκειας ζωής (shelf -life) των προϊόντων αυτών αναφορικά με φαινόμενα συναίρεσης σε ενδεδειγμένες συνθήκες αποθήκευσης
- Να γίνουν οργανοληπτικές δοκιμές των πλέον υποσχόμενων συστημάτων αναφορικά με την αποδοχή τους από τους καταναλωτές



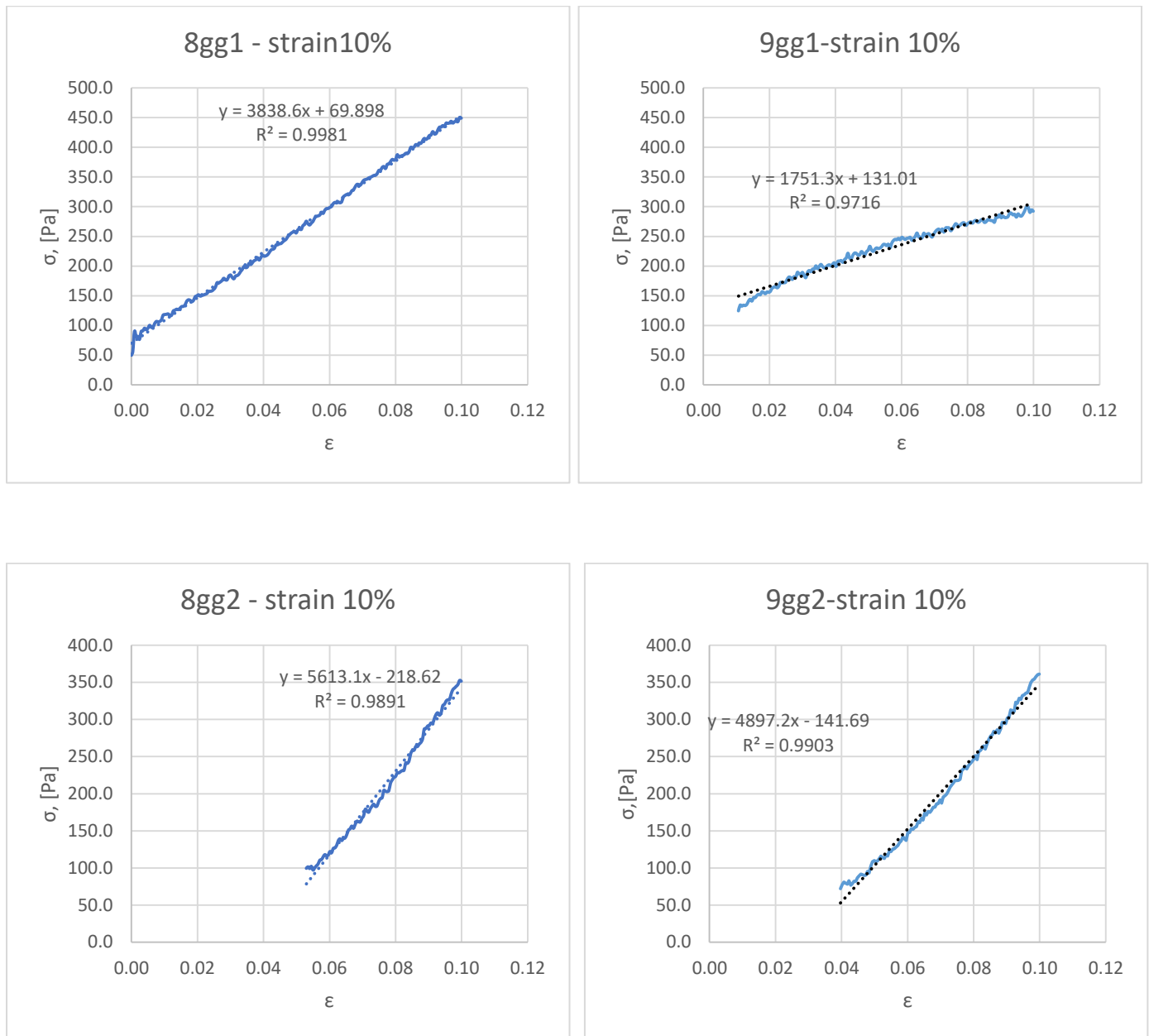
## 7. Βιβλιογραφία

- Bourne Malcolm, 2002 Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement Ed. 2<sup>nd</sup>. Academic Press, New York.
- Cui W.S. (2005). Food Carbohydrates. Chemistry, Physical Properties and Applications. CRC Press, Boca Raton.
- Engmann J. Servais C. Burbidge A.S. (2005). Squeeze flow theory and applications to rheometry: A review. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mech.* 132, 1–27.
- Imeson A. (2010). Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents. Wiley-Blackwell Publishing Ltd, Oxford.
- Macosko C.W. (1994). Rheology. Principles Measurements and Applications. Wiley-VCH, New York.
- Campanella O.H. and Peleg M. (2002). squeezing Flow Viscometry for Nonelastic Semiliquid Foods — Theory and Applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42(3):241–264. <https://doi.org/10.1080/10408690290825547>
- Phillips G.O. and Williams P.A (2009). Handbook of hydrocolloids. Ed. 2<sup>nd</sup> CRC Press, Boca Raton.
- Rao A. (2014). Rheology of Fluid, Semisolid, and Solid Foods. Springer, New York.
- Steffe J.F. (1996). Rheological methods in Food Process Engineering. Ed.2<sup>nd</sup>. Freeman Press, Michigan.
- Stephen A.M. Phillips G.O. Williams P.A. (2006). Food Polysaccharides and Their Applications. CRC Press, Boca Raton.
- Tanner R.I. and Walters K. (1998). Rheology: An historical perspective. Elsevier, Amsterdam.
- Van Vliet T. (2014). Rheology and Fracture Mechanics of Foods. CRC Press, Boca Raton.
- Whistler R.L. and BeMiller J. (1993). Industrial Gums. Polysaccharides and Their Derivatives. Ed. 3<sup>rd</sup>. Academic Press, San Diego.

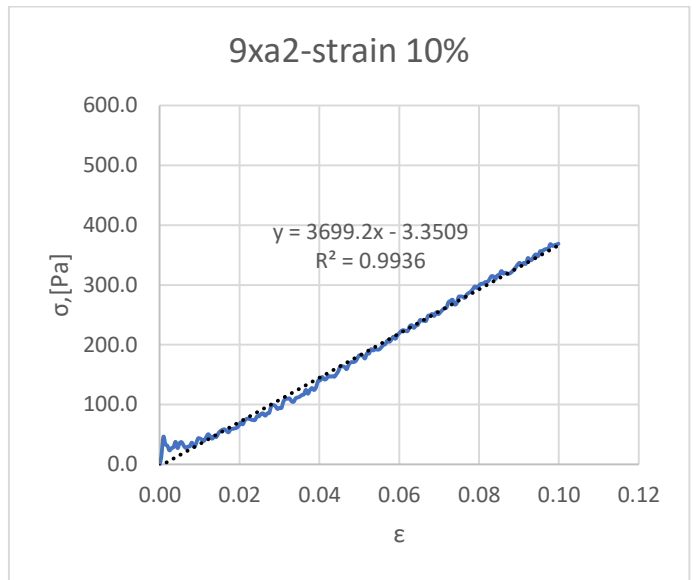
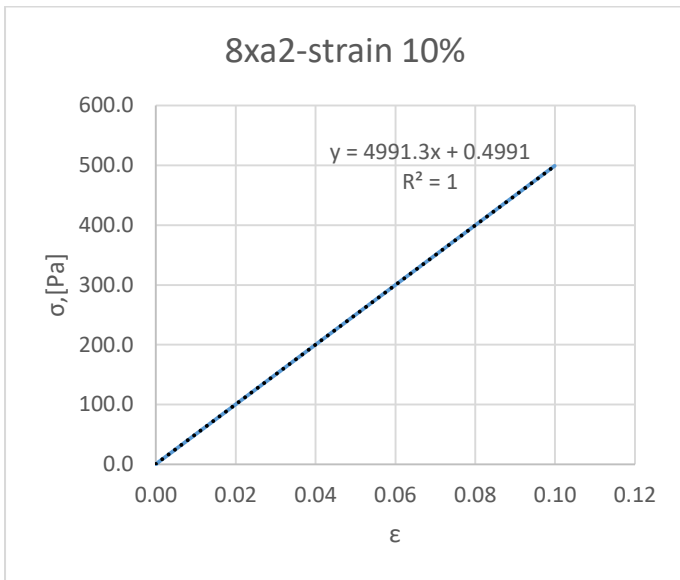
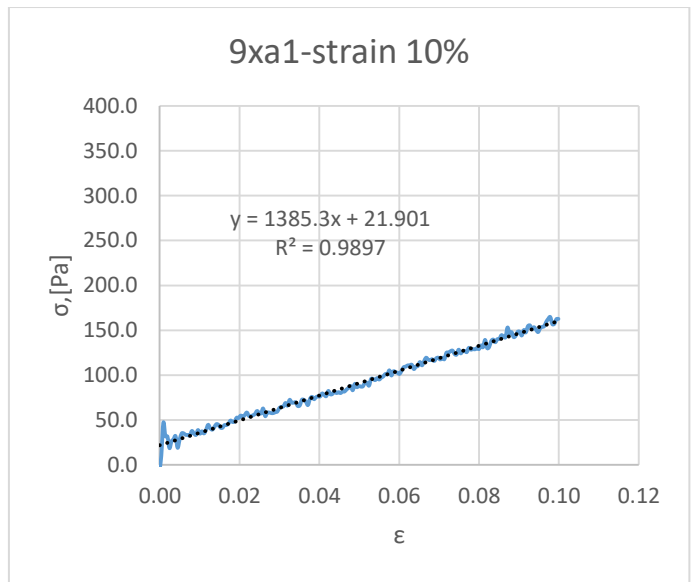
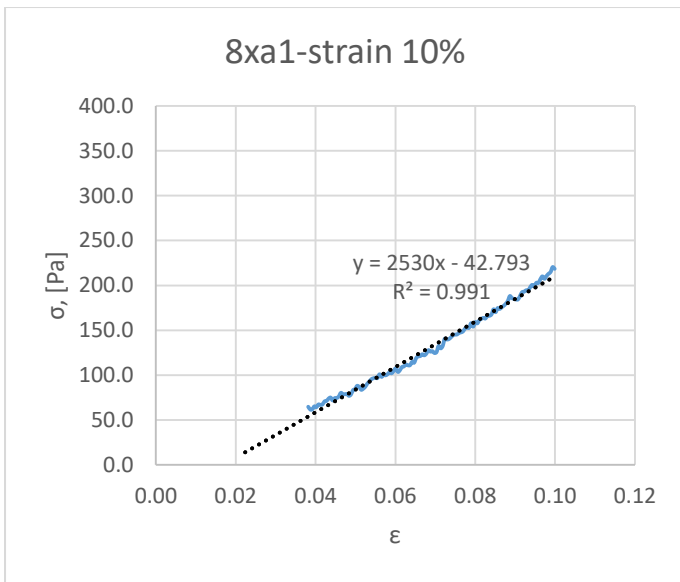
# Παράρτημα

## A. Μέτρο ελαστικότητας του Young

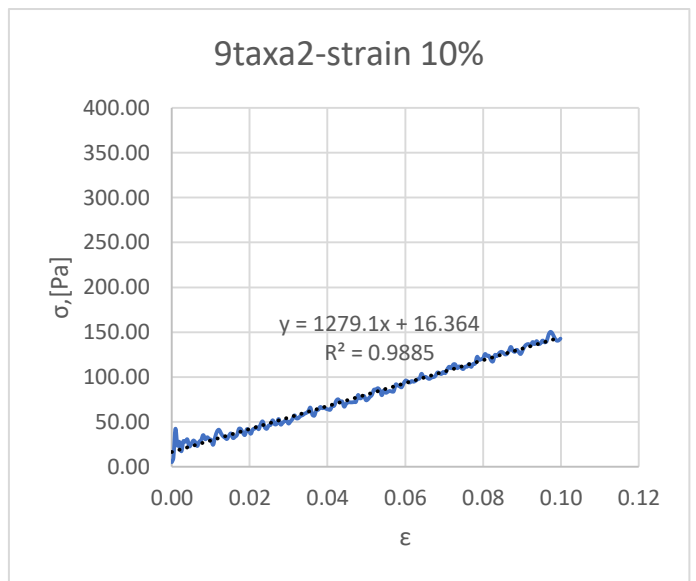
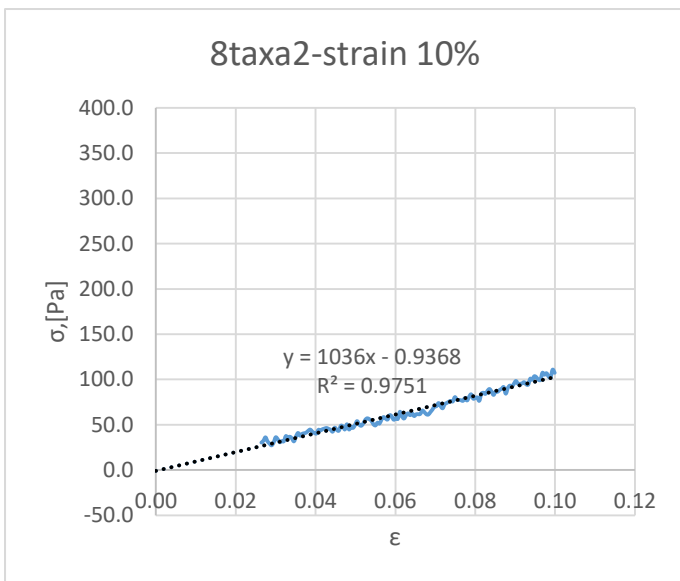
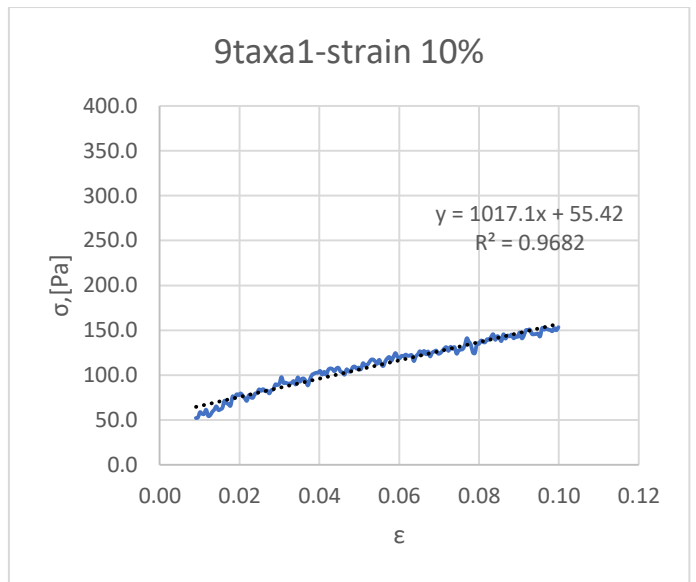
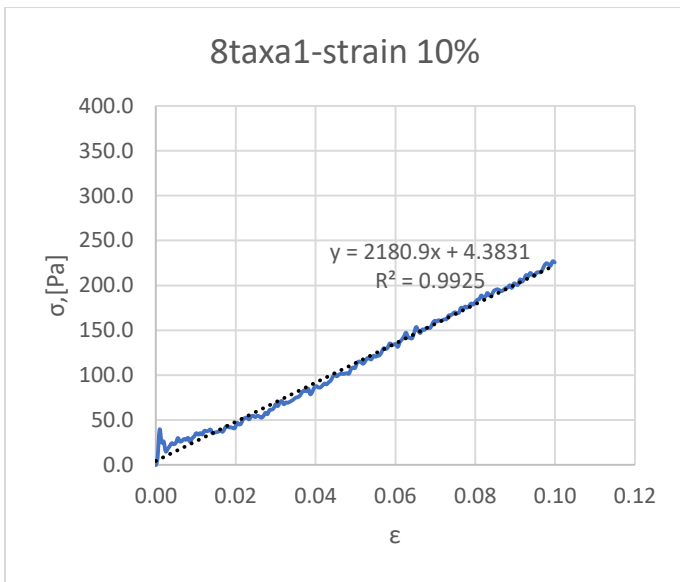
Αποτελέσματα από τον προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας του Young σε προσομοίωση δειγμάτων τζατζικιού με διαφορετικούς σταθεροποιητές με δύο επίπεδα συγκέντρωσης.



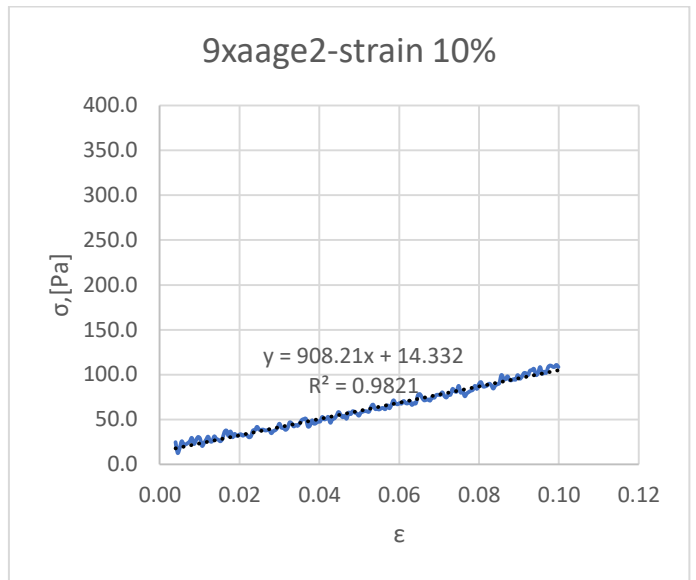
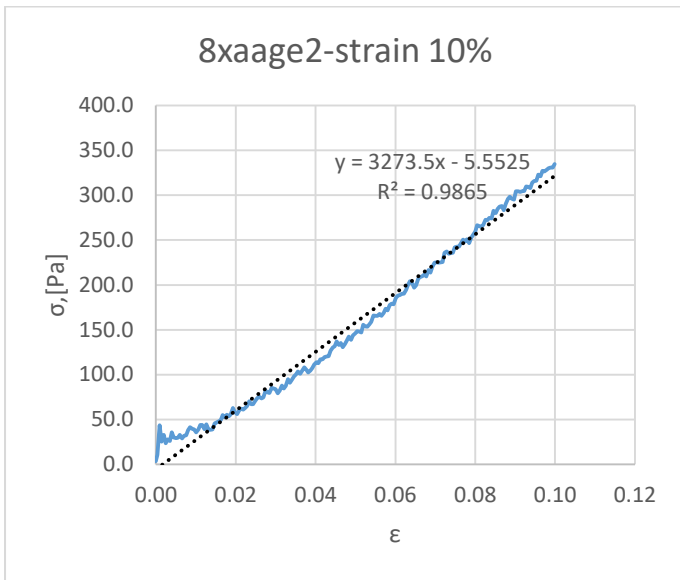
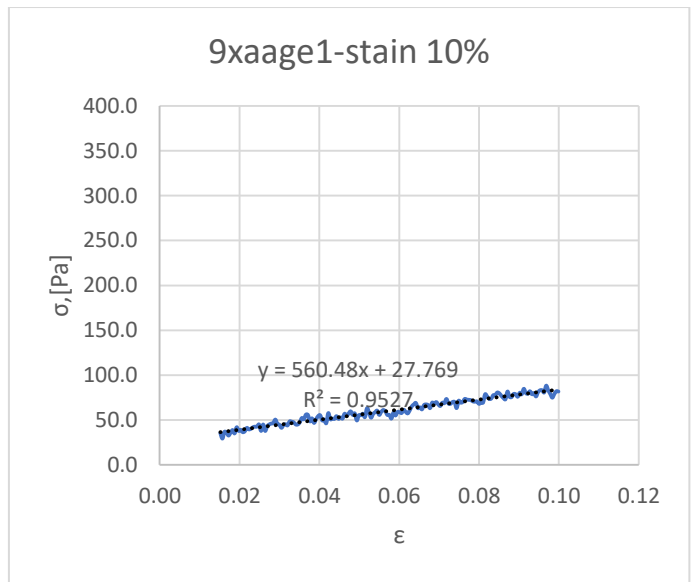
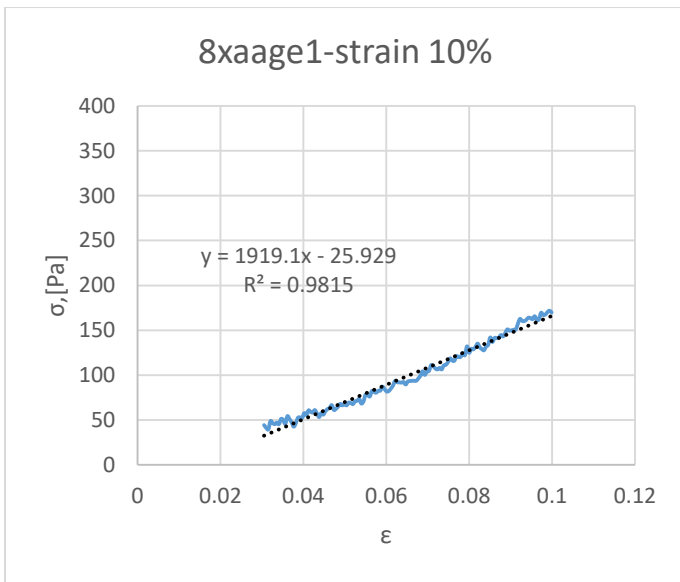
Σχήμα29. Παρουσίαση του μέτρου ελαστικότητας των δειγμάτων τζατζικιού με Γκουαρ



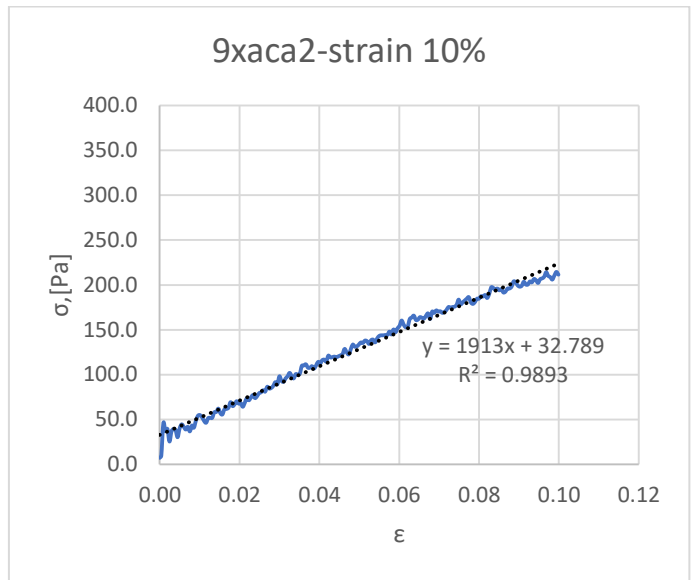
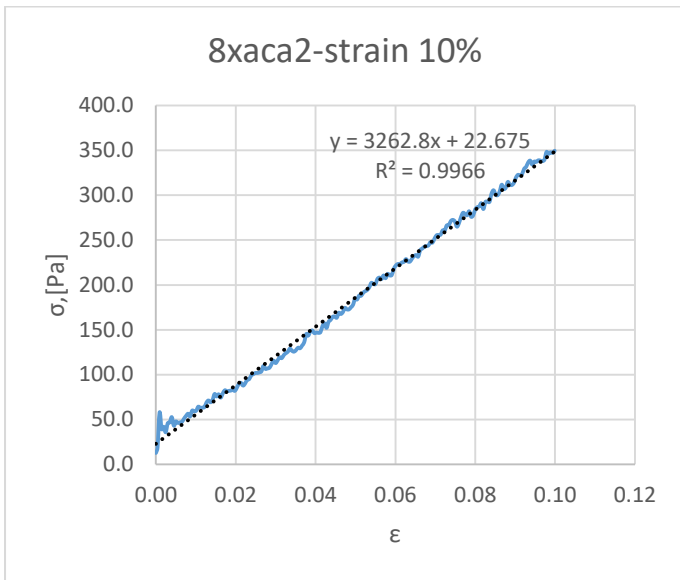
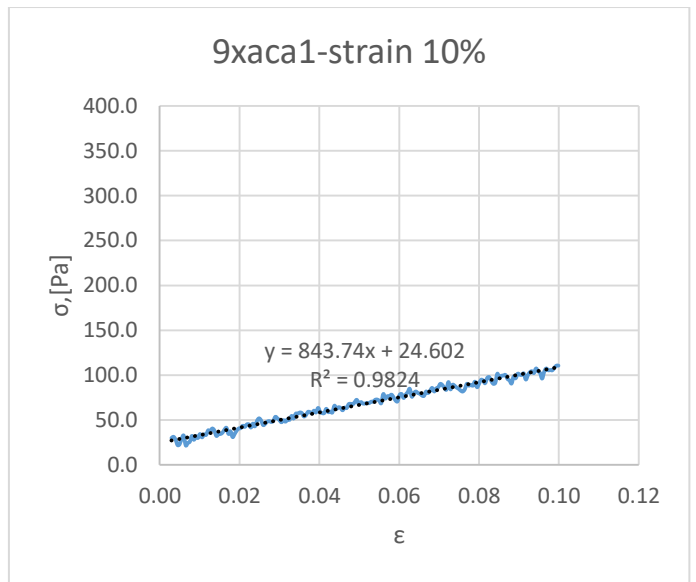
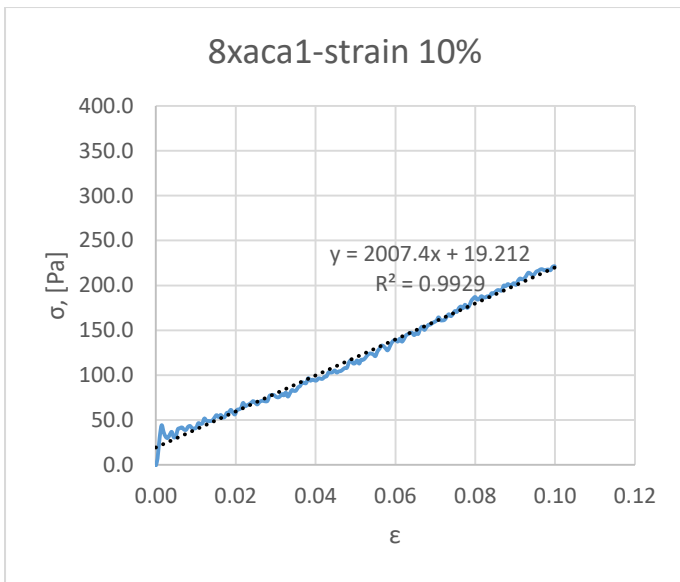
Σχήμα30. Παρουσίαση του μέτρου ελαστικότητας των δειγμάτων τζατζικιού με Ξανθάνη.



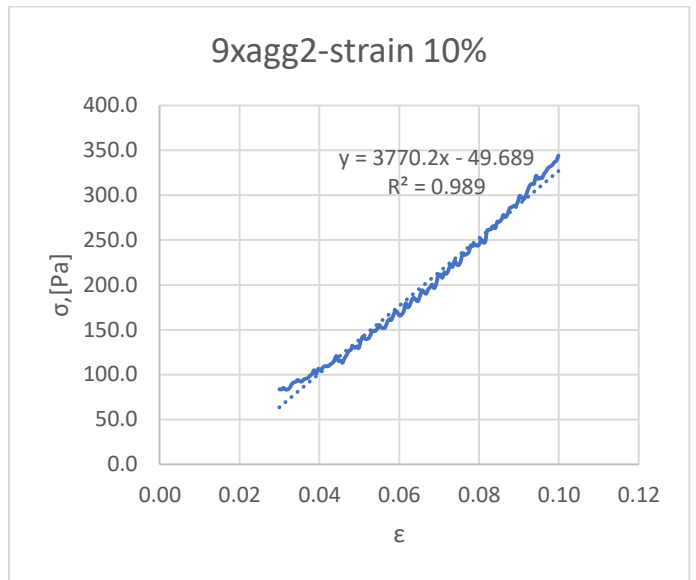
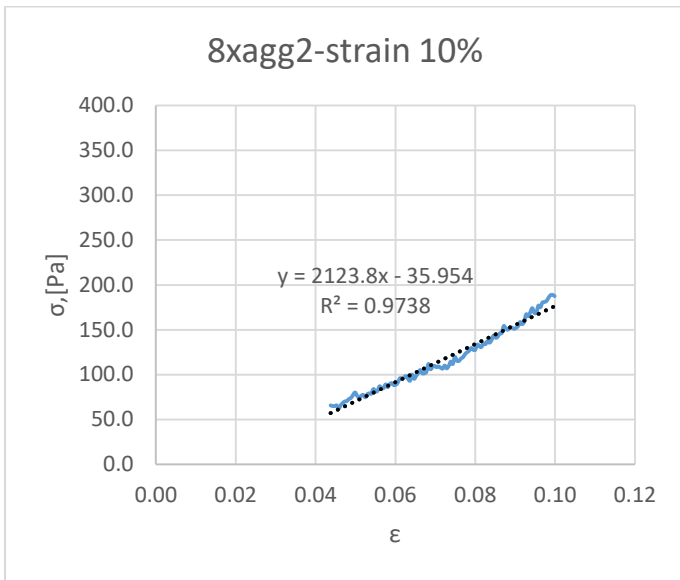
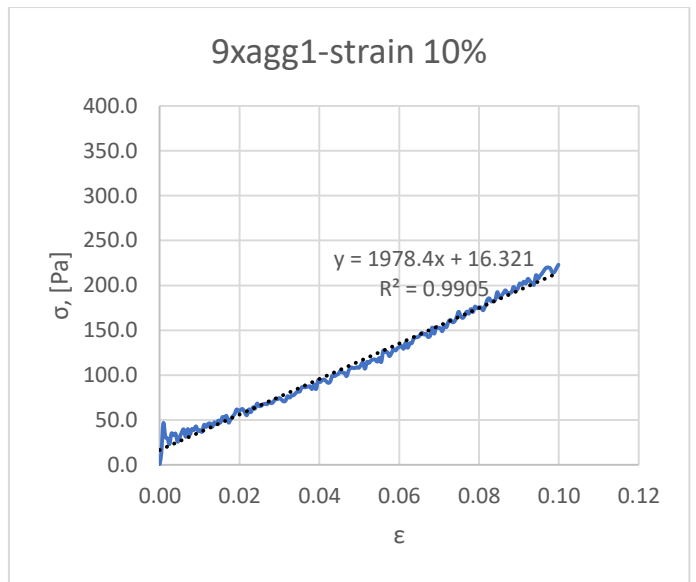
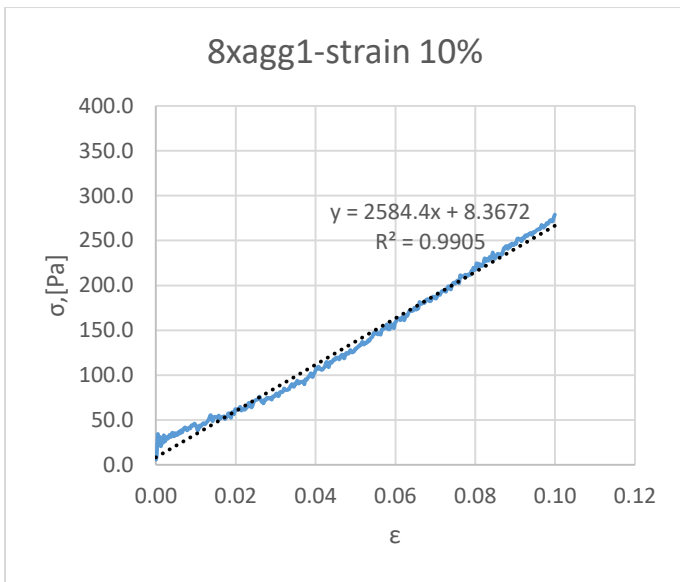
Σχήμα30. Παρουσίαση του μέτρου ελαστικότητας των δειγμάτων τζατζικιού με Αμυλο1-Ξανθάνη.



Σχήμα 31. Παρουσίαση του μέτρου ελαστικότητας των δειγμάτων τζατζικιού με Ξανθάνη-Άμυλο2.



Σχήμα 32. Παρουσίαση του μέτρου ελαστικότητας των δειγμάτων τζατζικιού με Ξανθάνη-Καραγενάνη.

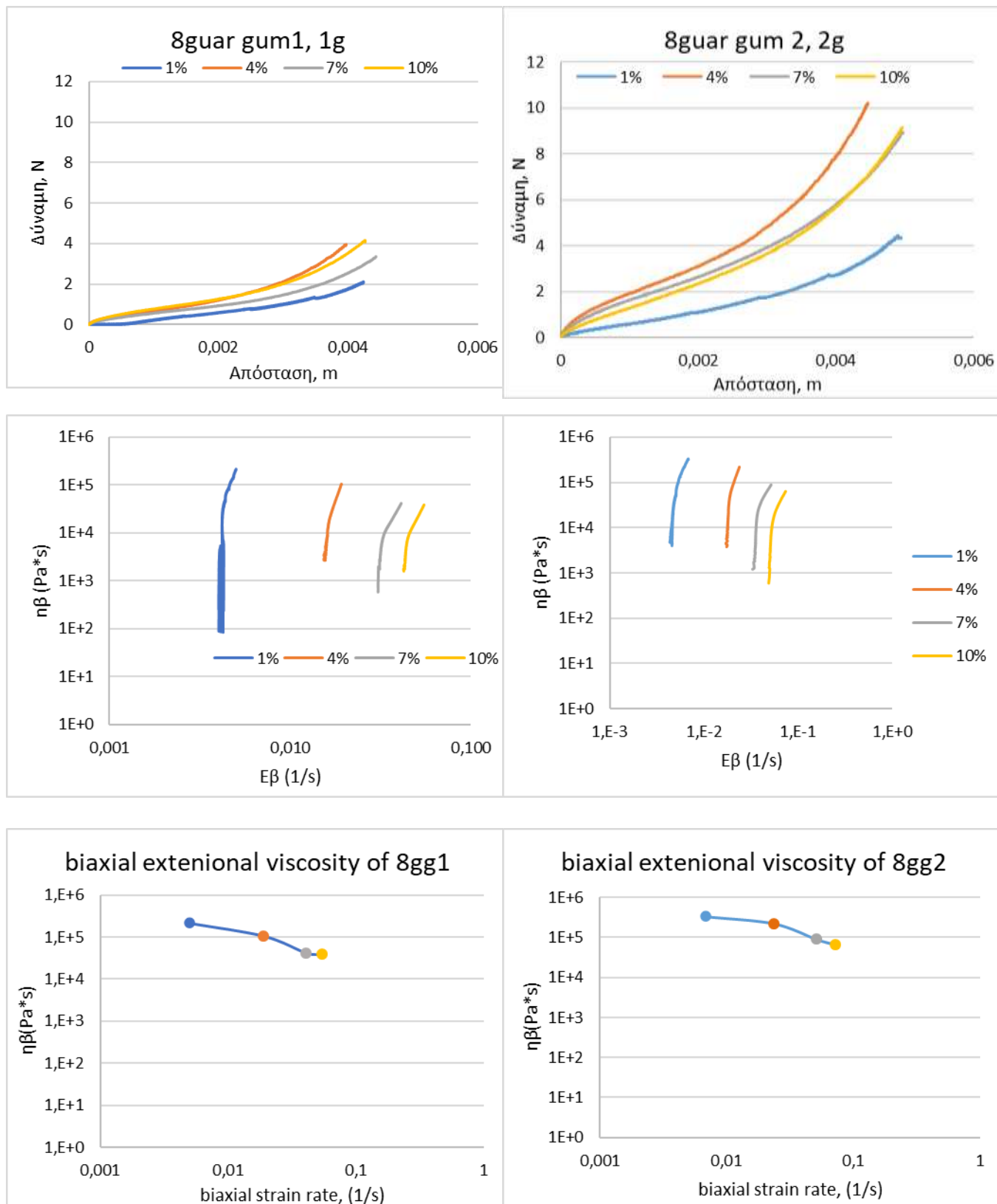


Σχήμα 33. Παρουσίαση του μέτρου ελαστικότητας των δειγμάτων τζατζικιού με Ξανθήνη-Γκουαρ.

## Β. Λιπαινόμενη συμπιεστή ροή (squeeze flow) – Προσδιορισμός Εκτατικού Ιξώδους.

Αποτελέσματα από τον προσδιορισμό του εκτατικού ιξώδους προσομοίωσης δειγμάτων τζατζικίου με διαφορετικούς σταθεροποιητές σε δύο επίπεδα συγκέντρωσης.

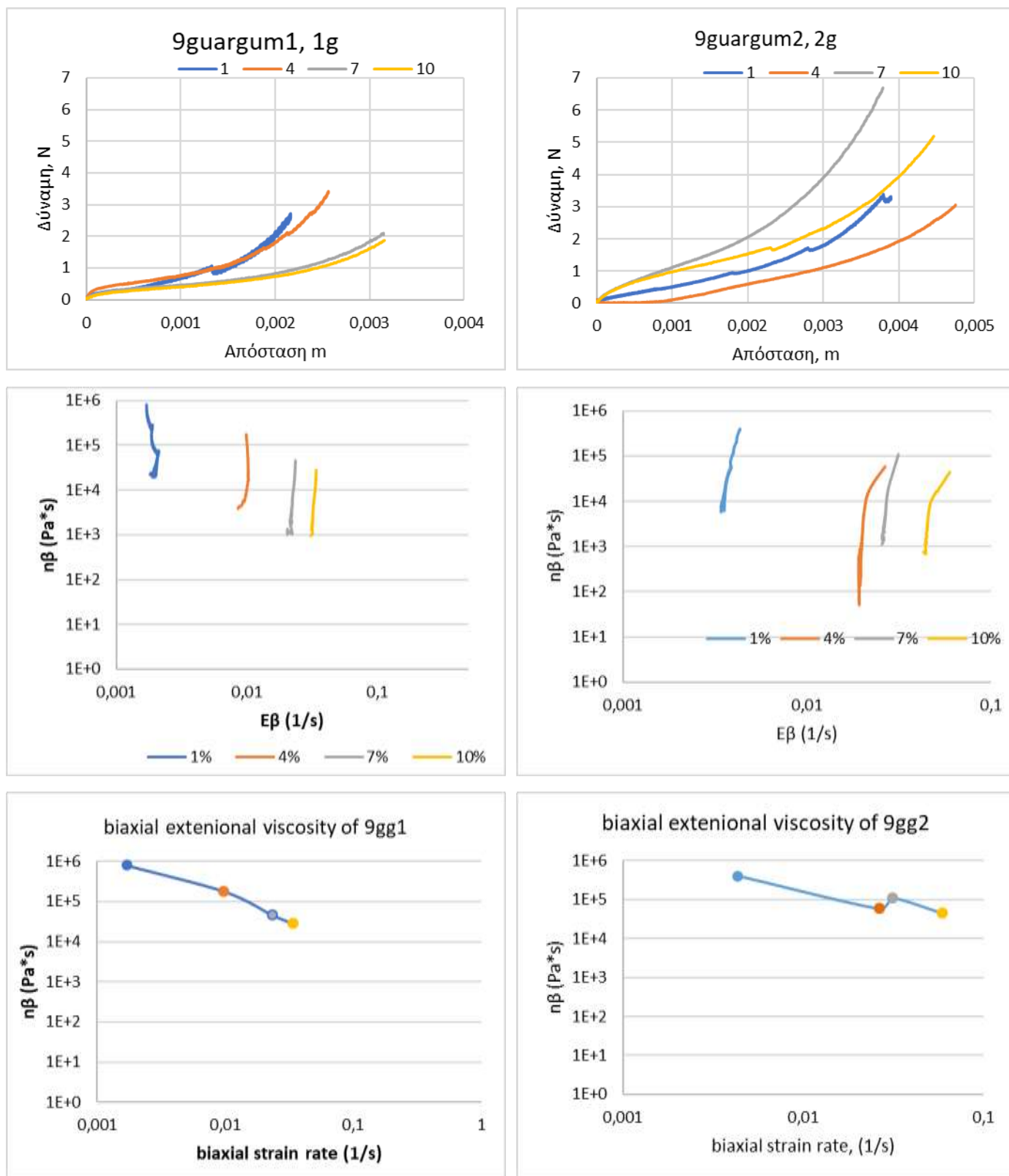
1. 8guar gum 1g και 2g.



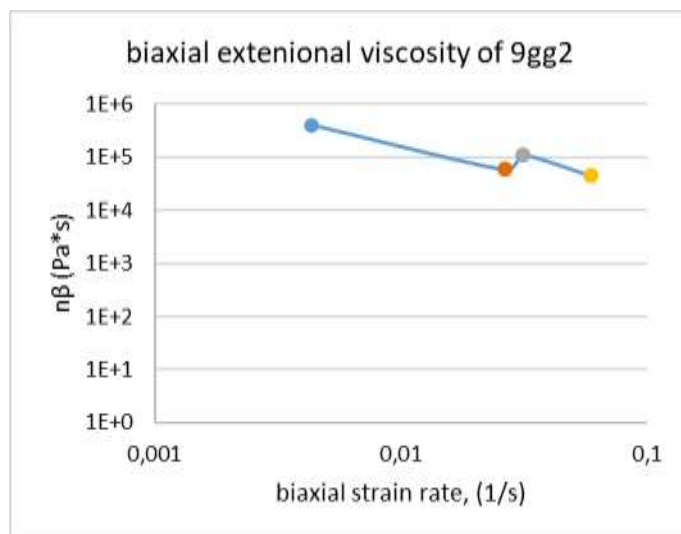
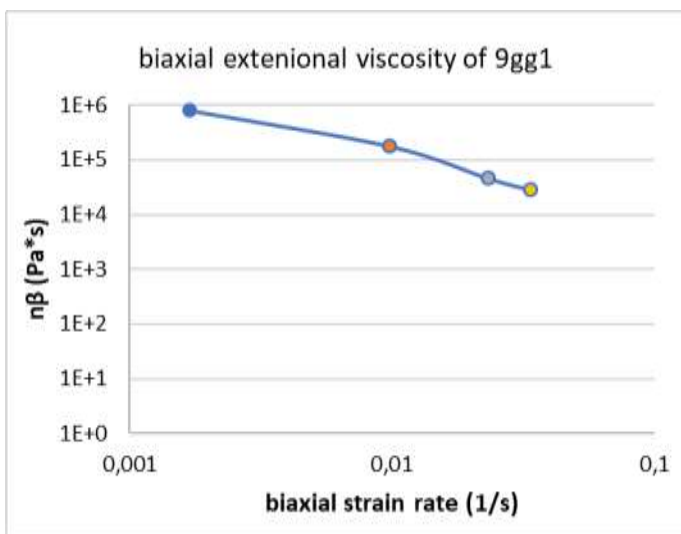
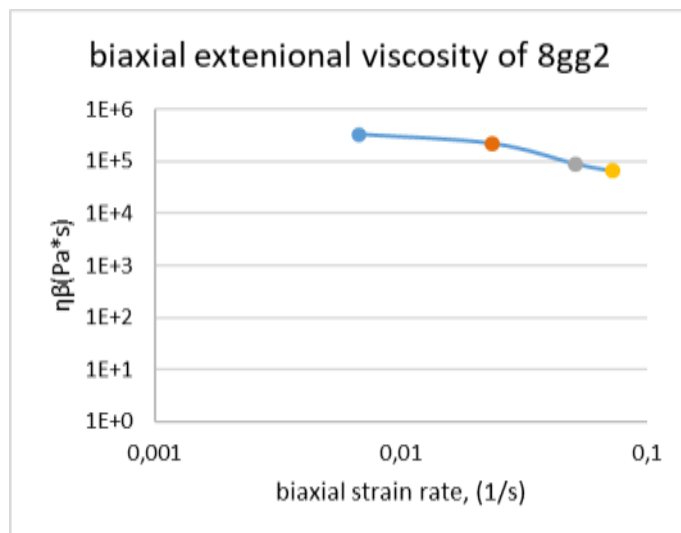
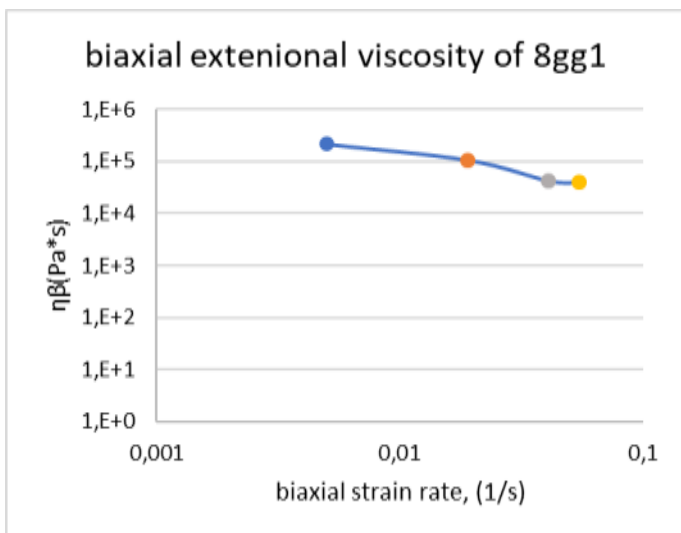
Σχήμα 34. Προσδιορισμός του διαζονικού εκτατού ιξώδους του δείγματος τζατζικί χωρίς προσθήκη αγγουριού με σταθεροποιητή guar gum σε συγκεντρώσεις 1g και 2g (8gg1) και (8gg2) αντίστοιχα.



2. 9guar gum 1g και 2g.

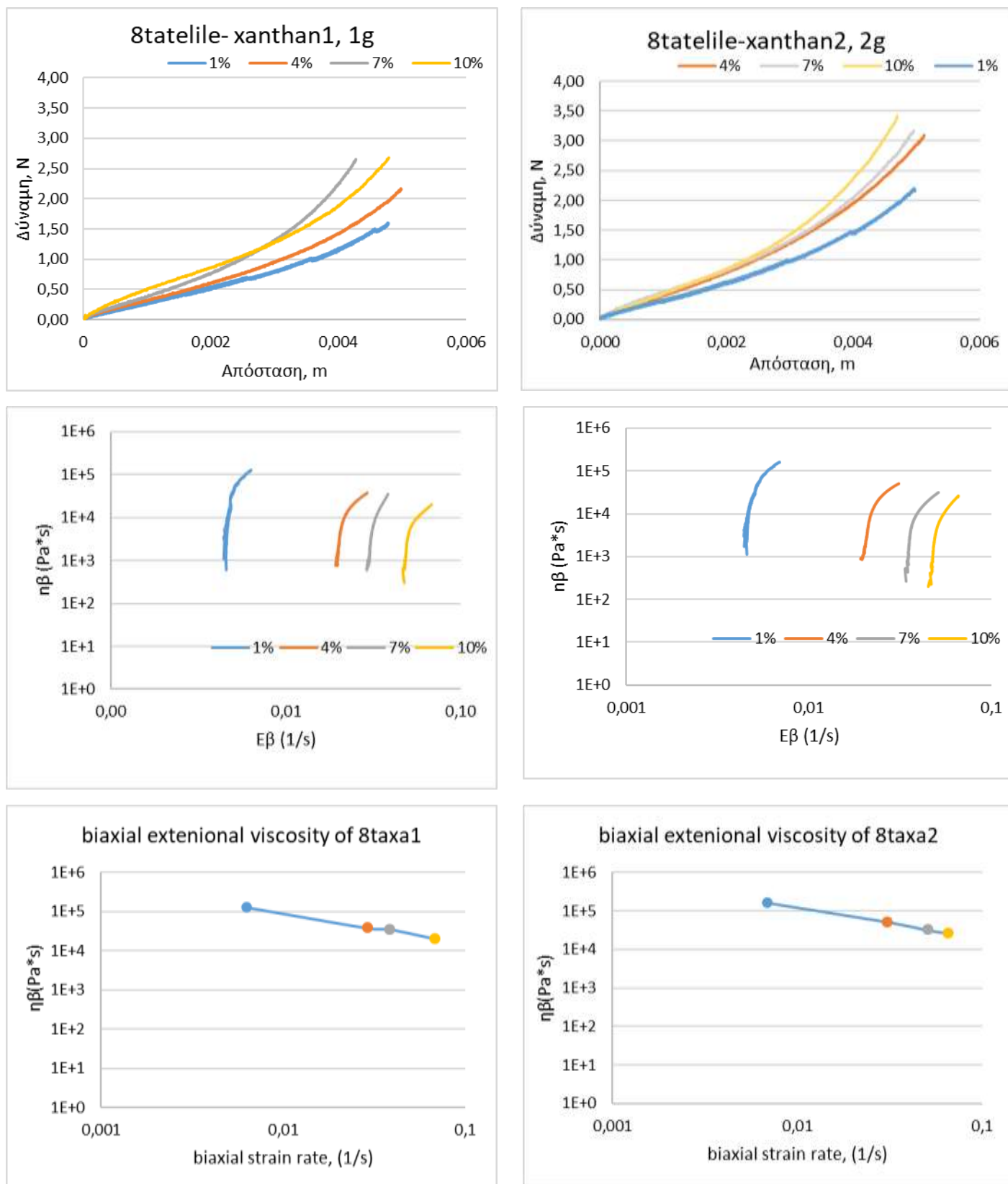


Σχήμα 35. Προσδιορισμός του διαξονικού εκτατού ιξώδους του δείγματος τζατζίκι με προσθήκη αγγουριού με σταθεροποιητή guar gum σε συγκεντρώσεις 1g και 2g (9gg1) και (9gg2) αντίστοιχα.



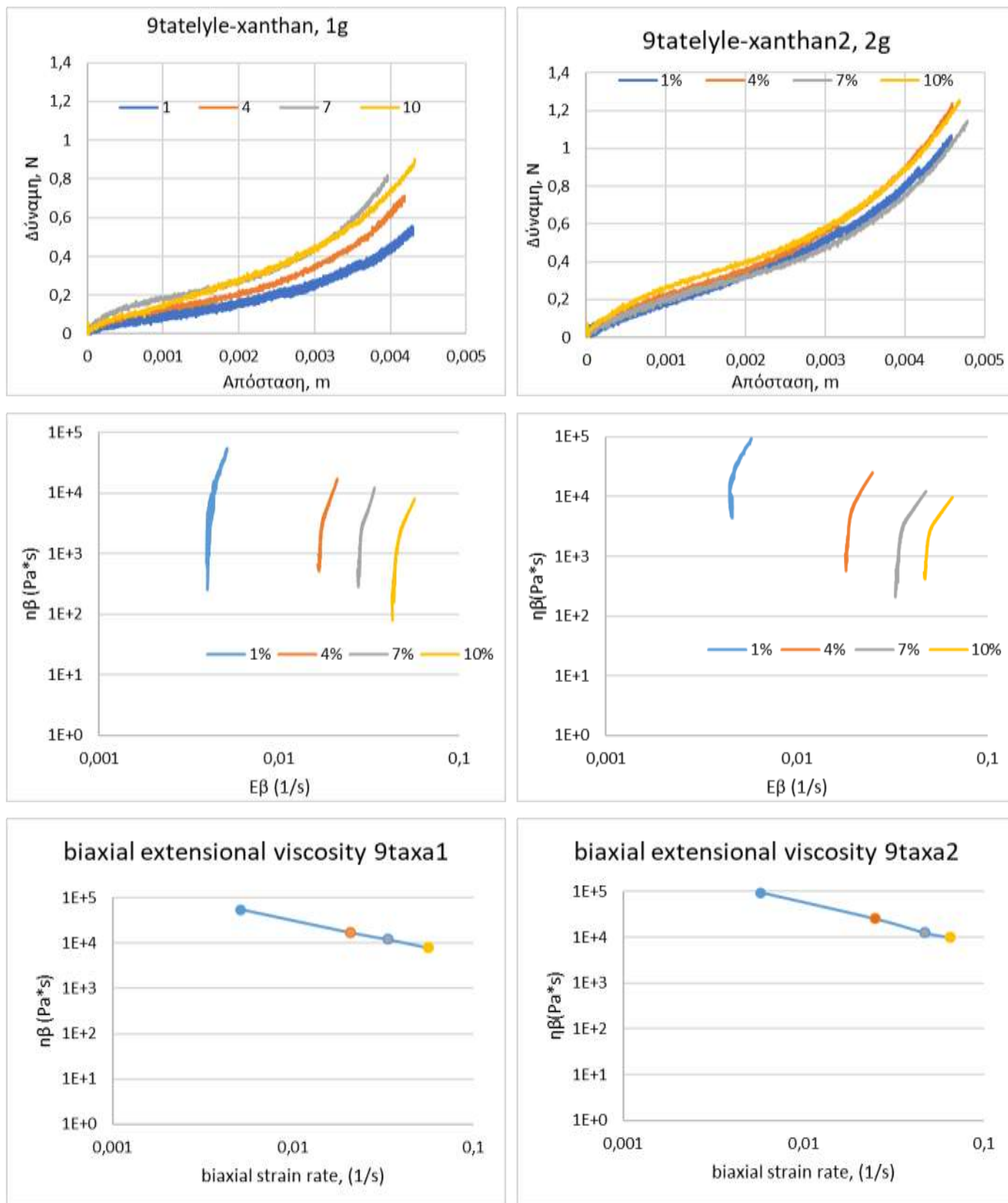
Σχήμα 36. Συγκριτική παρουσίαση του εκτατού ιξώδους τζατζικιού χωρίς (8), και με προσθήκη αγγουριού (9), με προσθήκη γκουαρ σε συγκέντρωση 1 και 2 g.

3. 8statelyle-xathan 1g και 2g.

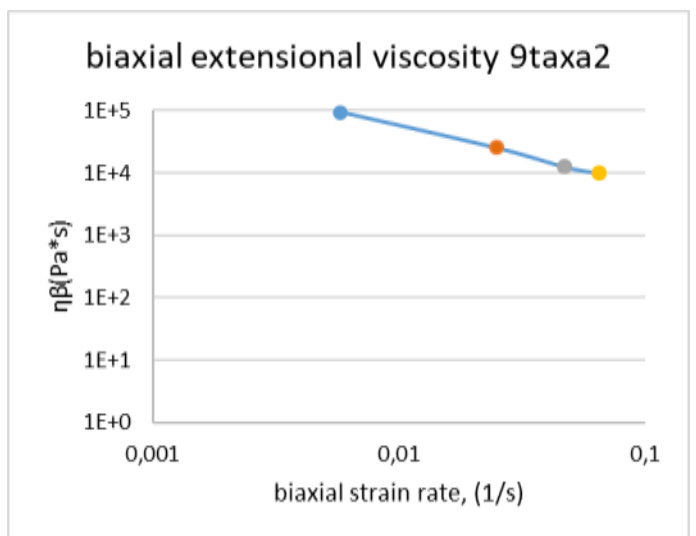
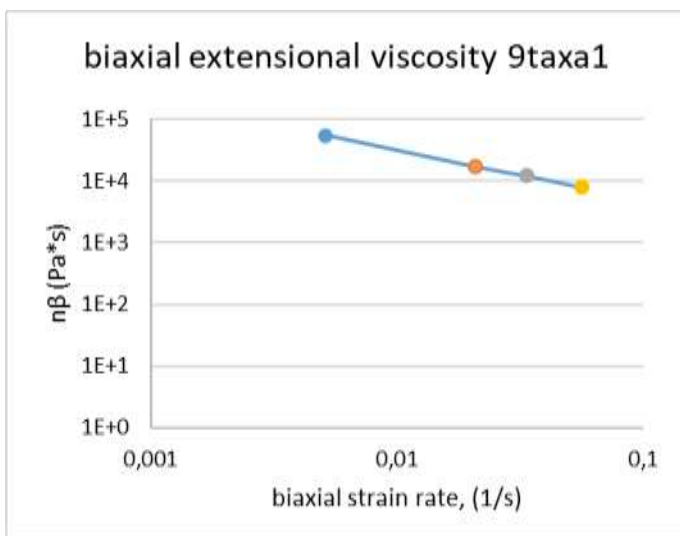
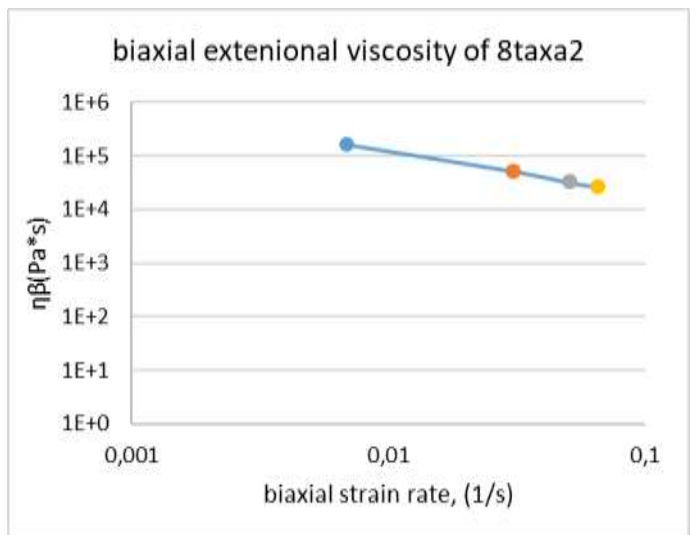
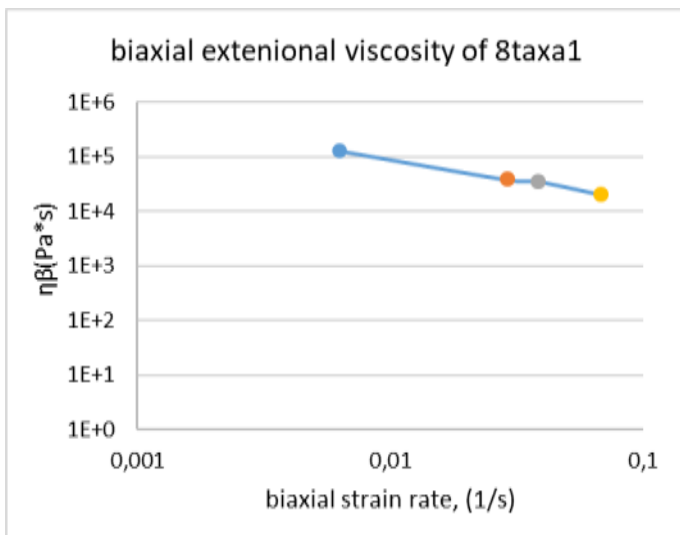


Σχήμα 37. Προσδιορισμός του διαξονικού εκτατού ιξώδους του δείγματος τζατζίκι χωρίς προσθήκη αγγουριού με μίγμα σταθεροποιητή προζελατινοποιημένου αμύλου(tl)-ξανθάνης σε συγκεντρώσεις 1g και 2g (8taxa1) και (8taxa2) αντίστοιχα.

4. 9tatelyle-xanthan 1g και 2g.

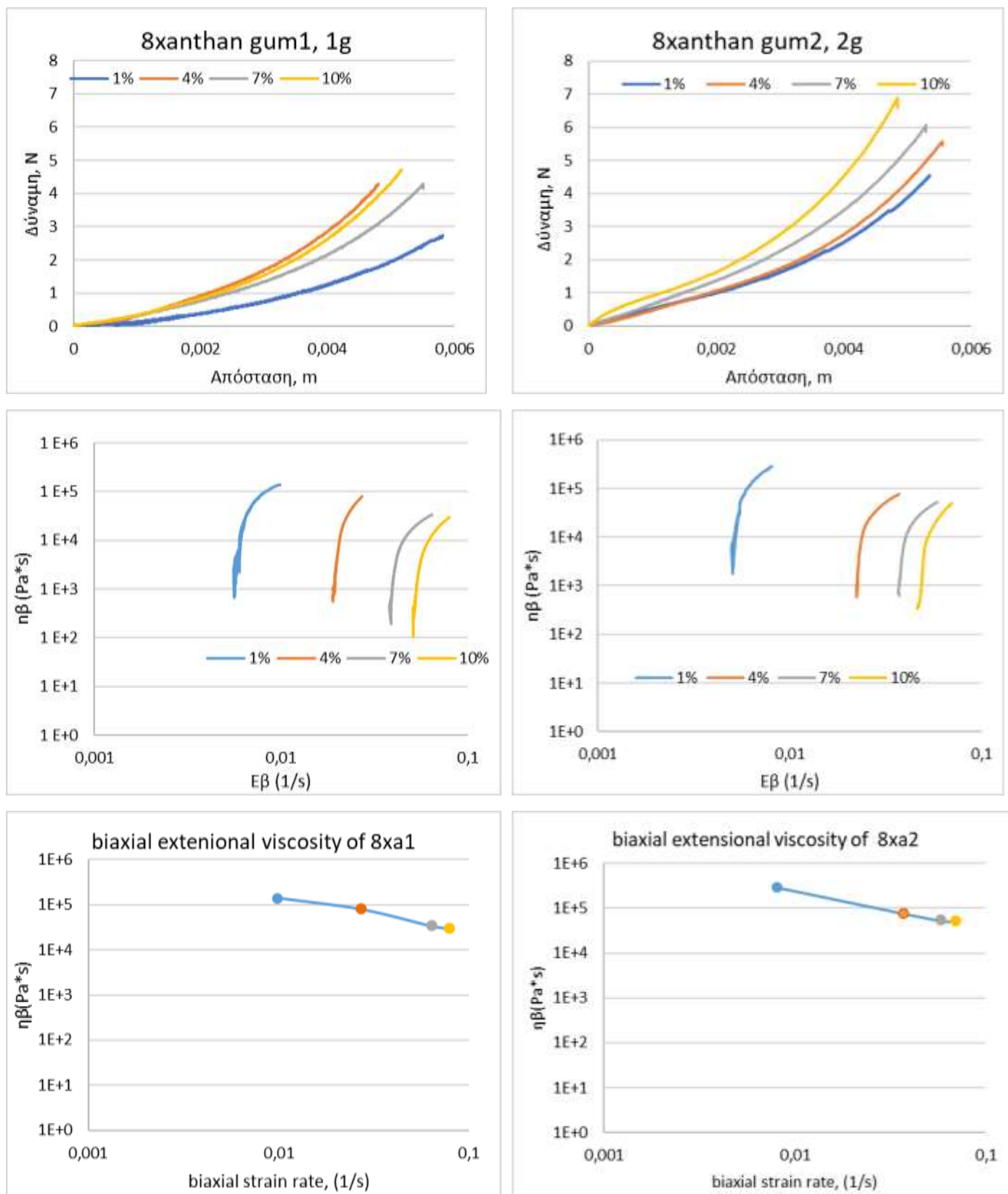


Σχήμα 38. Προσδιορισμός του διαζονικού εκτατού ιξώδους του δείγματος τζατζίκι χωρίς προσθήκη αγγουριού με μίγμα σταθεροποιητή προζελατινοποιημένου αμύλου(tl)-xanthan gum σε συγκεντρώσεις 1g και 2g .(8taxa1) και (8taxa2) αντίστοιχα.



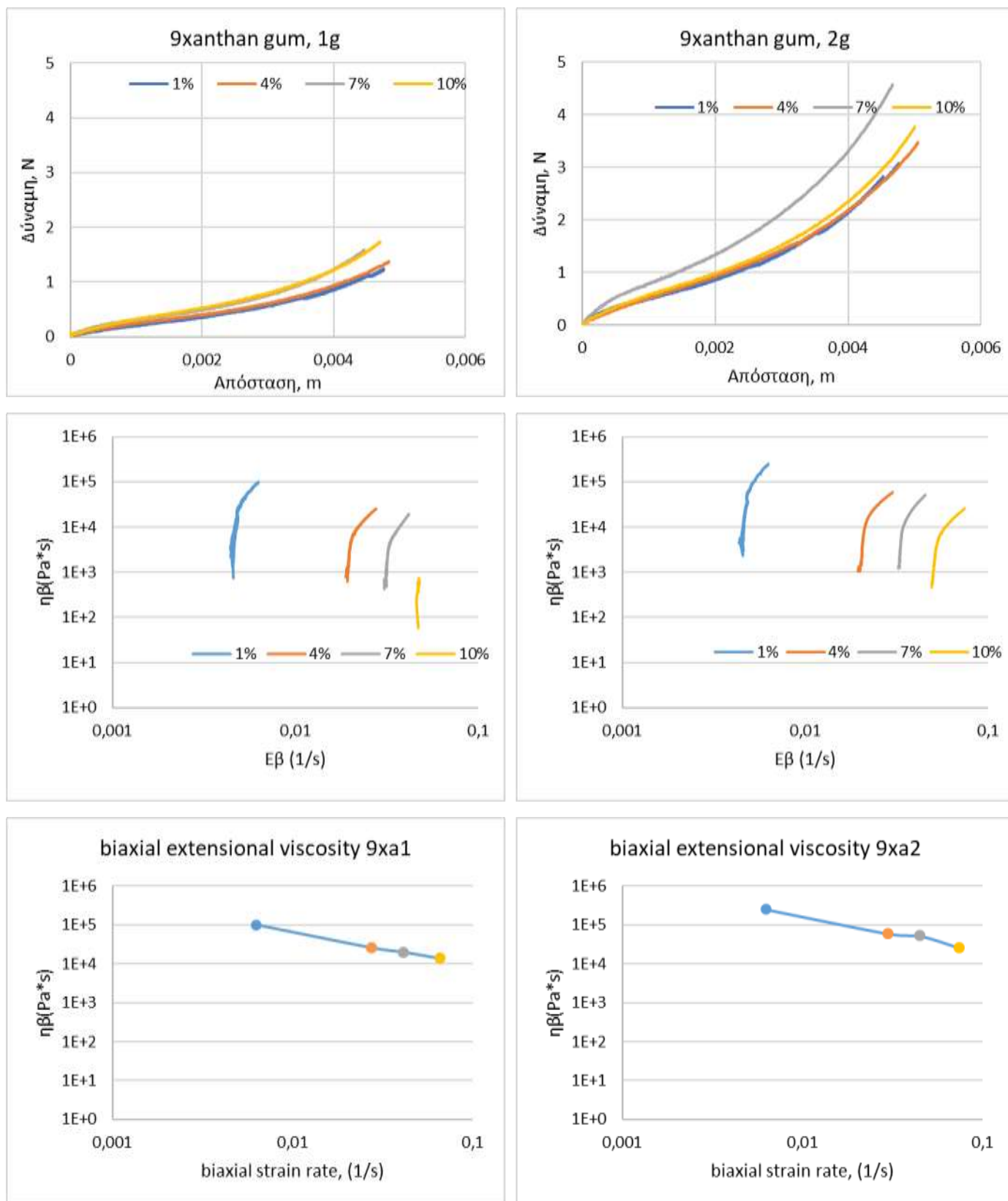
Σχήμα 39. Συγκριτική παρουσίαση του εκτατού ιζώδους τζατζικιού χωρίς (8), και με προσθήκη αγγουριού (9), με προσθήκη μίγματος προζελατινοποιημένου αμόλου(τl)-ξανθάνης σε συγκέντρωση 1 και 2 g.

5. 8xanthan gum 1g και 2g.

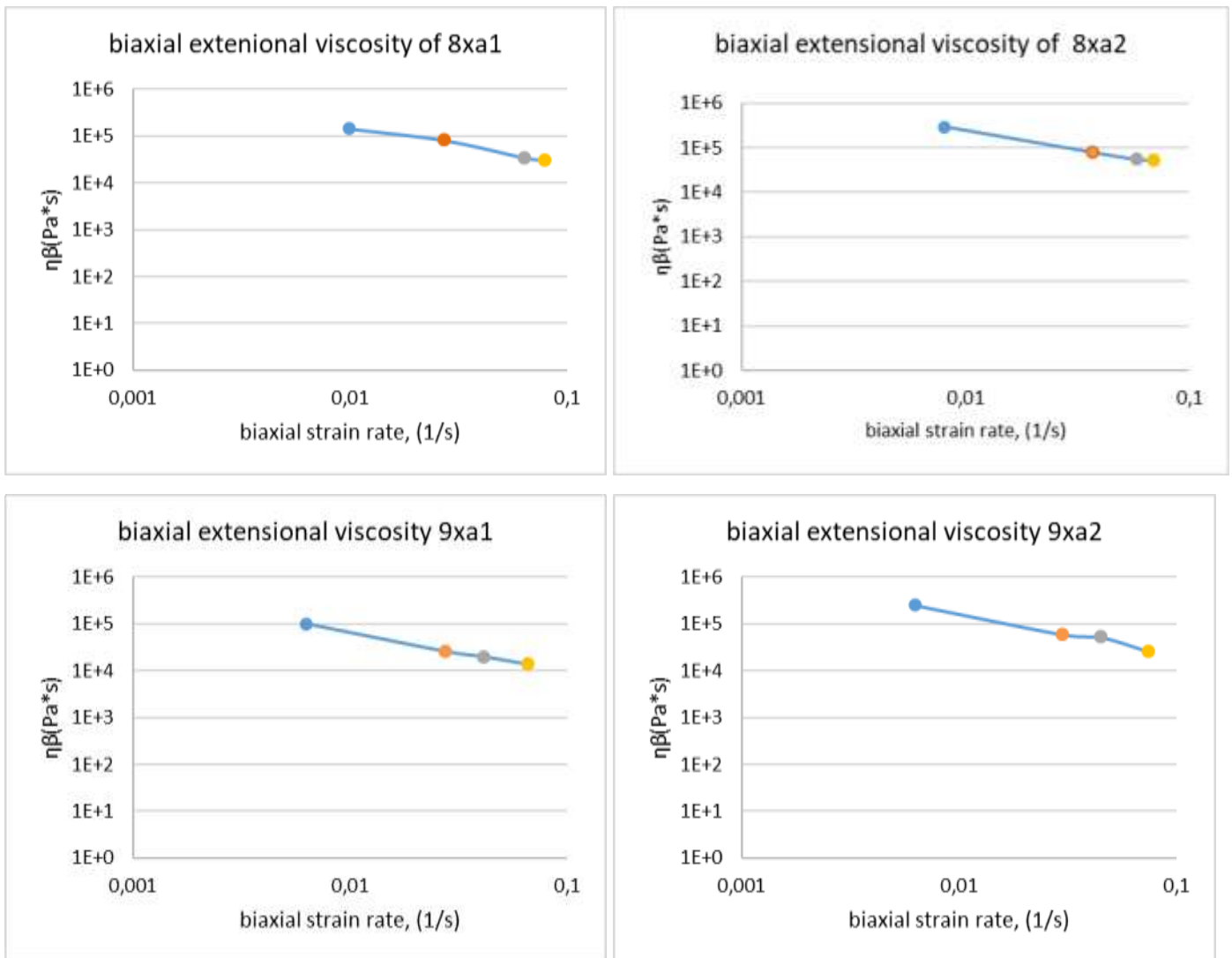


Σχήμα 40. Προσδιορισμός του διαζωνικού εκτατού ιξώδους του δείγματος τζατζίκι χωρίς προσθήκη αγγουριού με σταθεροποιητή ξανθάνης σε συγκεντρώσεις 1g και 2g .(8xa1) και (8xa2) αντίστοιχα.

6. 9xanthan gum 1g και 2g.



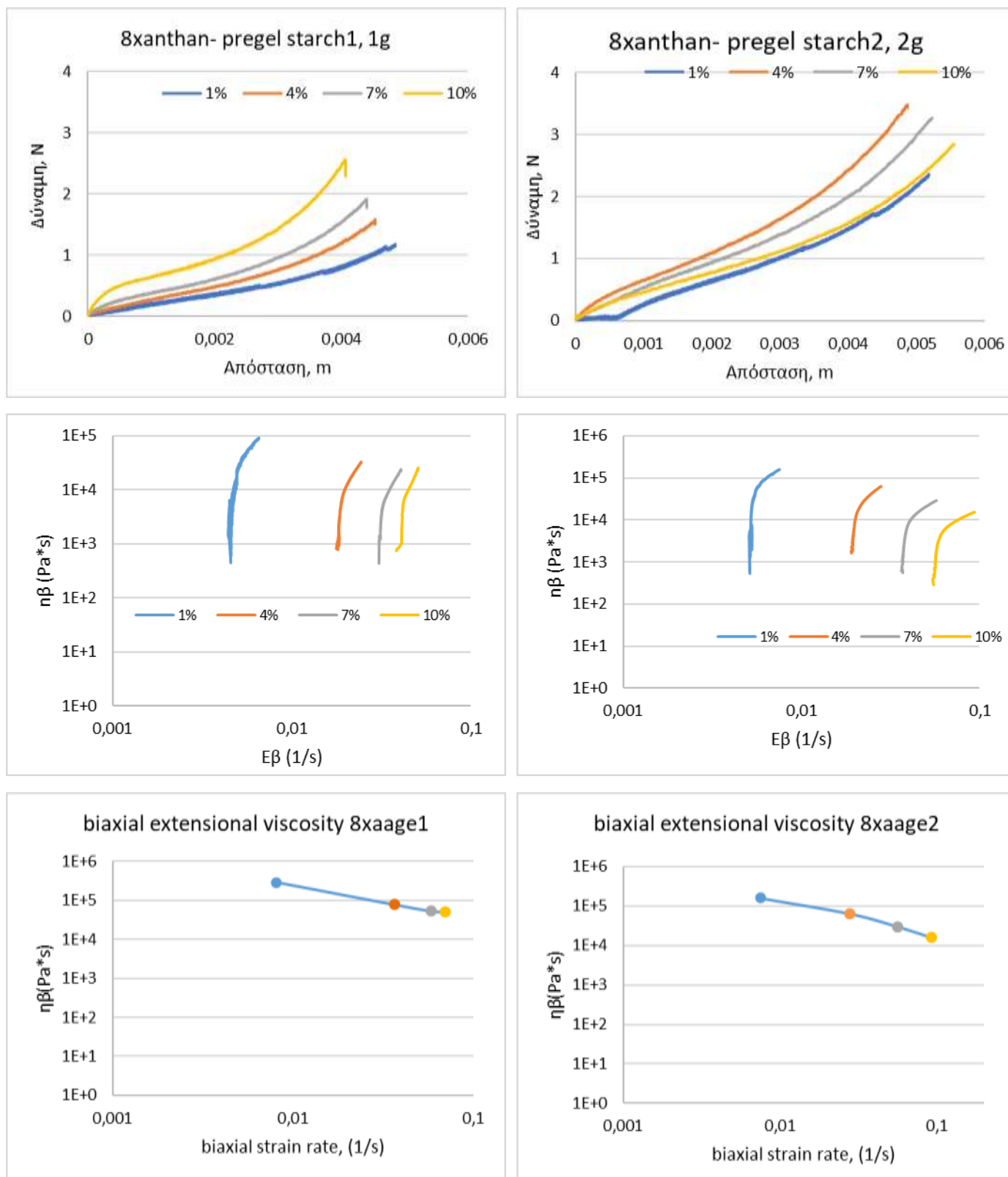
Σχήμα 41. Προσδιορισμός του διαξονικού εκτατού ιξώδους του δείγματος τζατζίκι με προσθήκη αγγουριού με σταθεροποιητή ξανθάνης σε συγκεντρώσεις 1g και 2g .(9xa1) και (9xa2) αντίστοιχα.



Σχήμα 42. Συγκριτική παρουσίαση του εκτατού ιζώδους τζατζικιού χωρίς (8), και με προσθήκη αγγουριού (9), με προσθήκη ξανθάνης σε συγκέντρωση 1 και 2 g.

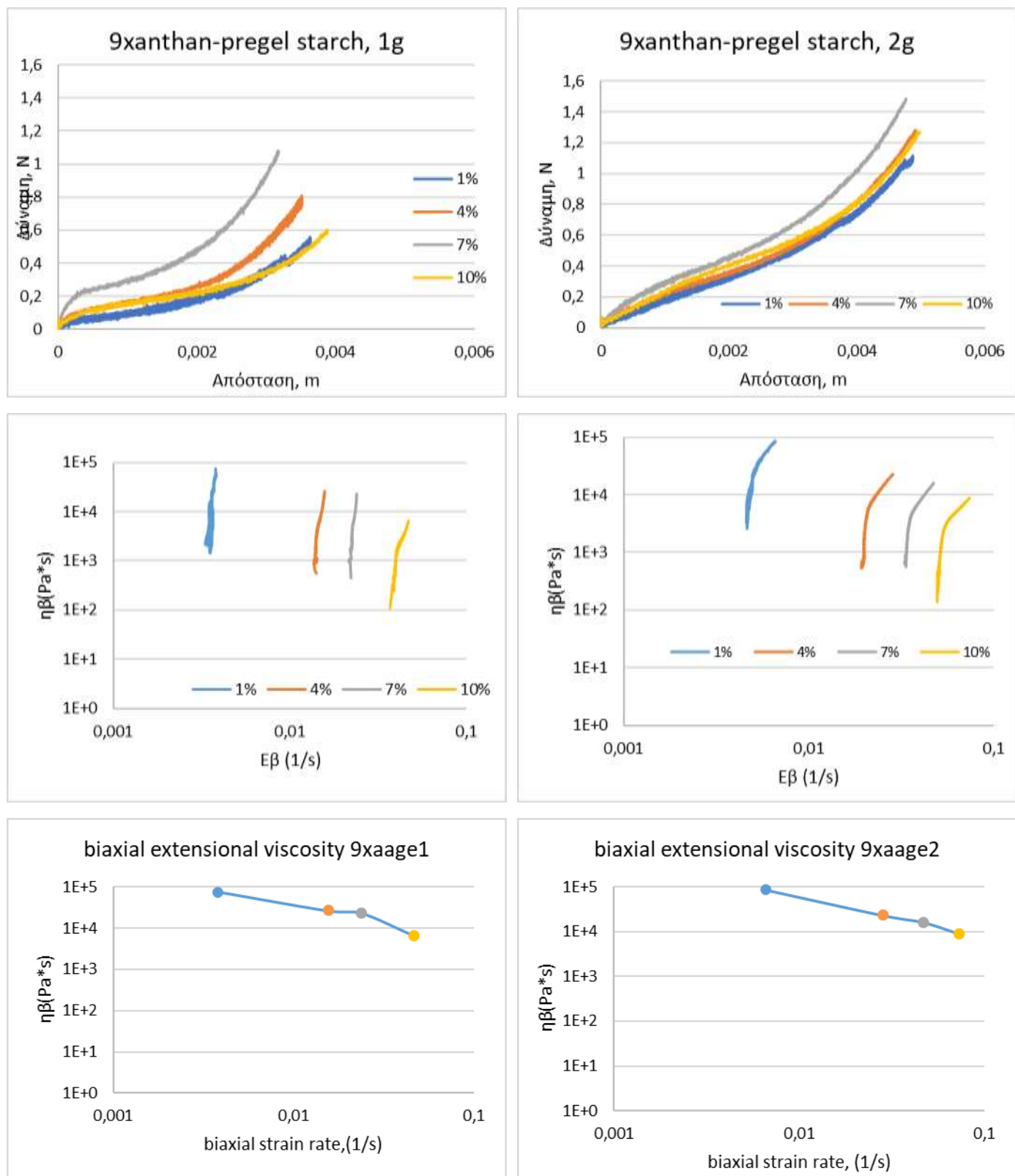


7. 8xanthan-agenajel (pregel starch) 1g και 2g.

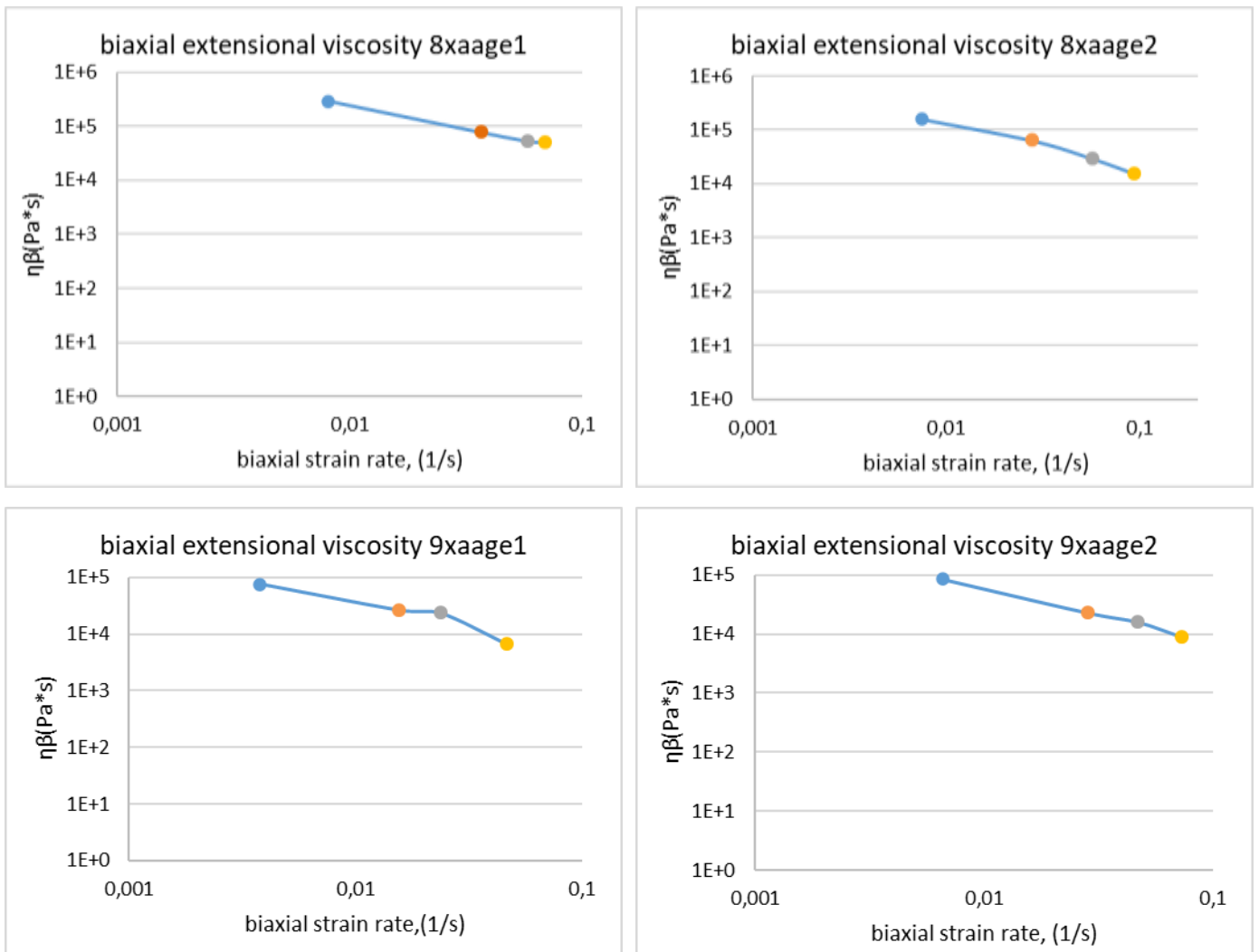


Σχήμα 43. Προσδιορισμός του διαζονικού εκτατού ιξώδους του δείγματος τζατζίκι χωρίς προσθήκη αγγουριού και με σταθεροποιητών ξανθάνης-προζελατινοποιημένου αμύλου (age) σε συγκεντρώσεις 1g και 2g .(8xaage1) και (8xaage2) αντίστοιχα.

8. 9xanthan-agenajel (pregel starch) 1g και 2g.

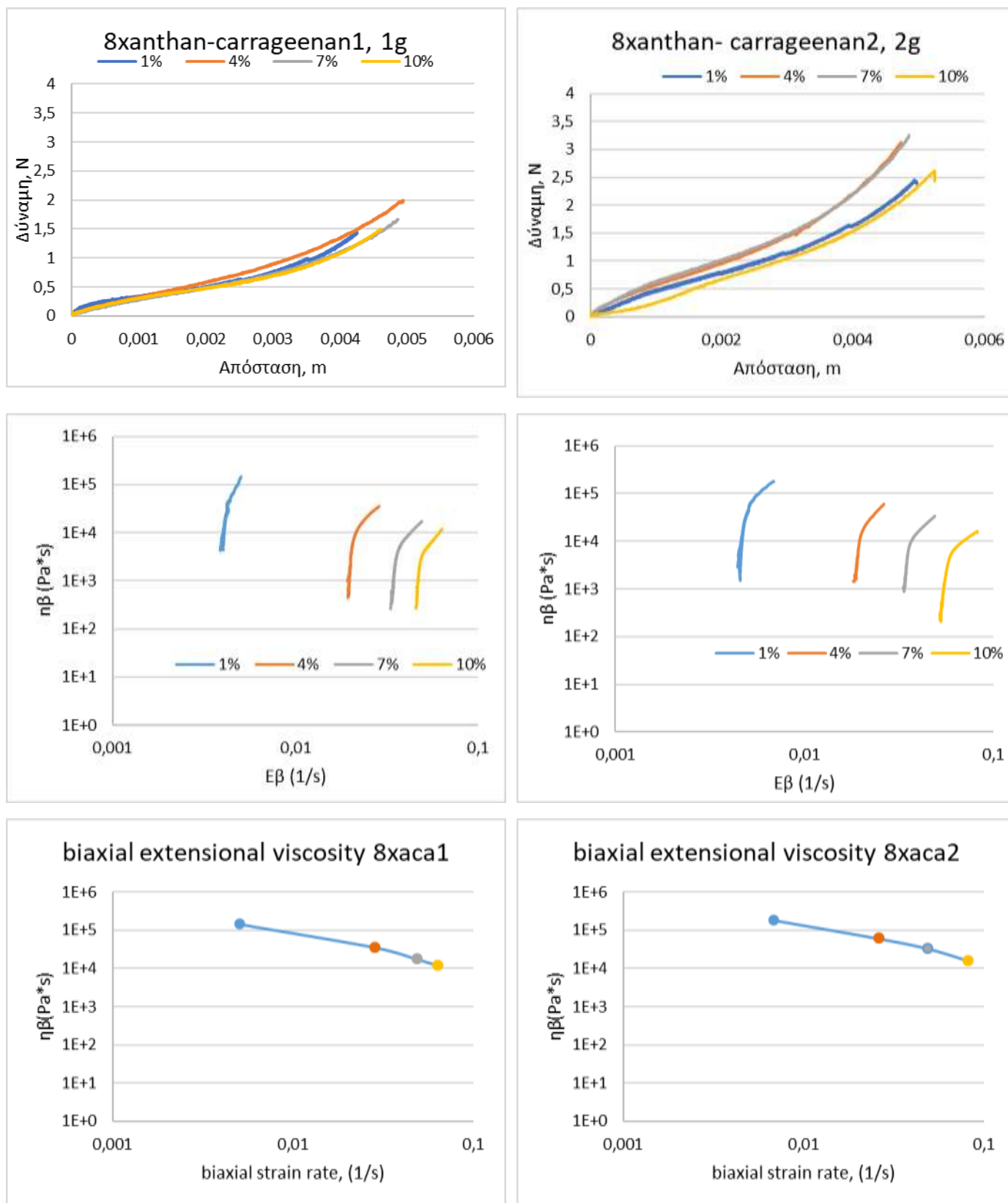


Σχήμα 44. Προσδιορισμός του διαξονικού εκτατού ιξώδους του δείγματος τζατζίκι με προσθήκη αγγουριού και με μίγμα σταθεροποιητών ξανθάνης-προζελατινοποιημένου αμύλου (age) σε συγκεντρώσεις 1g και 2g .(9xaage1) και (9xaage2) αντίστοιχα.



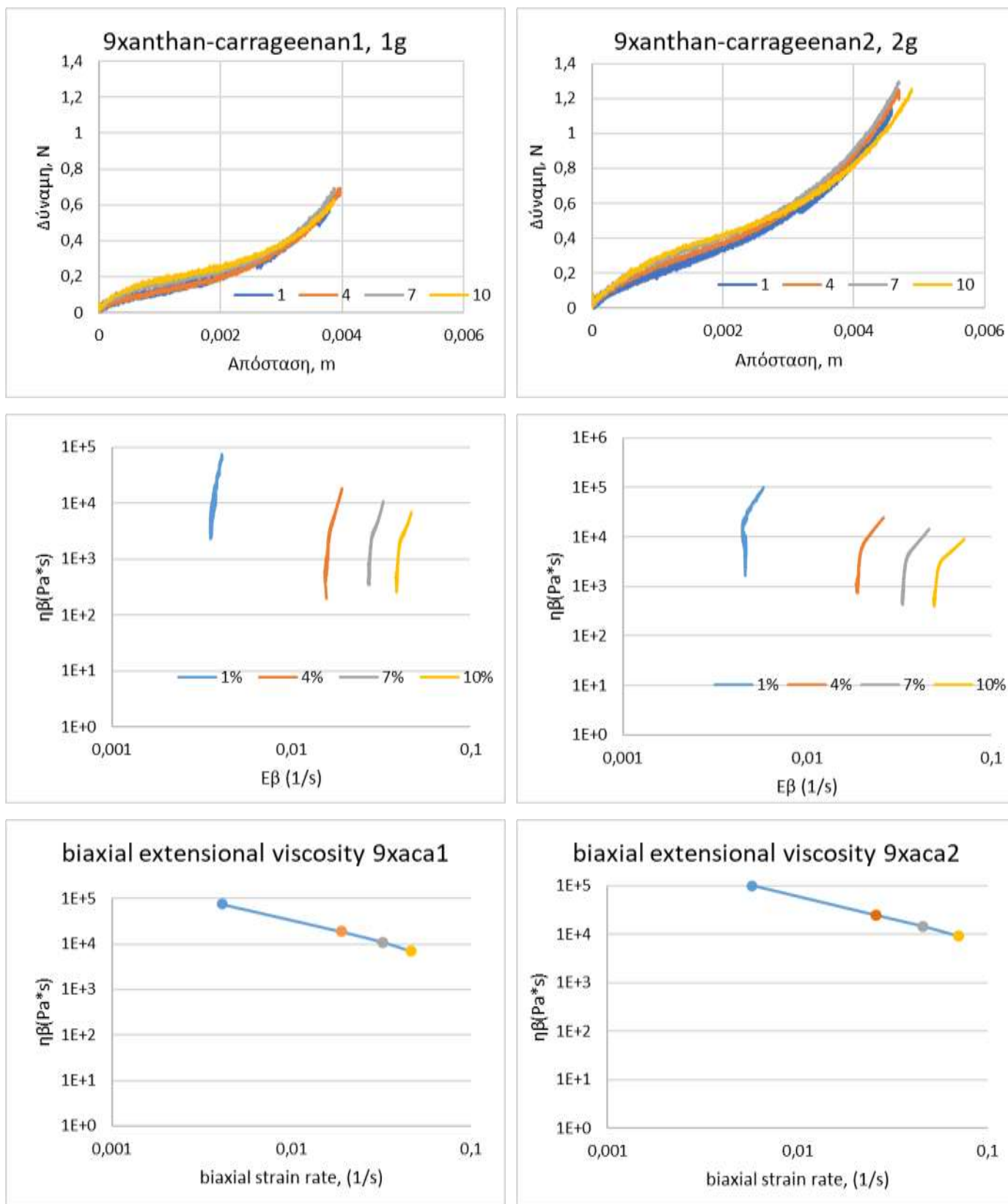
Σχήμα 45. Συγκριτική παρουσίαση του εκτατού ιξώδους τζατζικιού χωρίς (8), και με προσθήκη αγγουριού (9), με προσθήκη μίγματος ξανθάνης-προζελατινοποιημένου αμύλου (age) σε συγκέντρωση 1 και 2 g.

9. 8xanthan-carrageenan 1g και 2g.

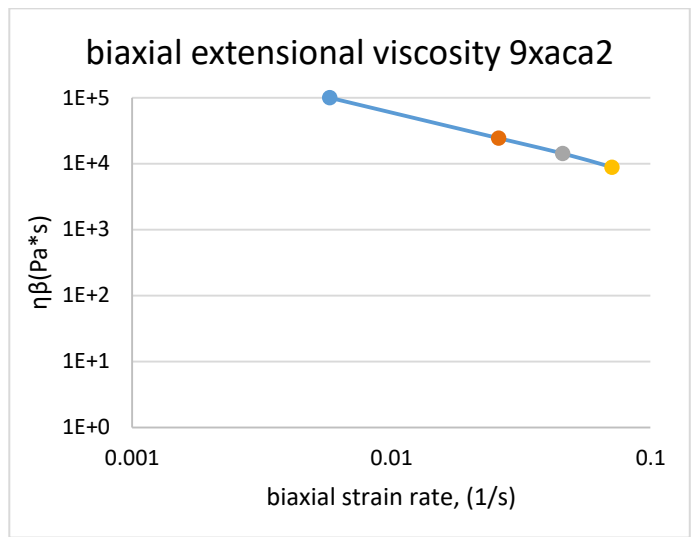
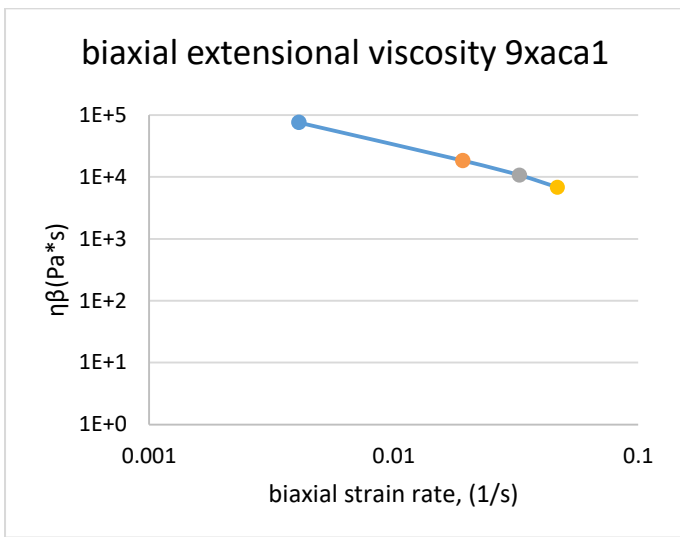
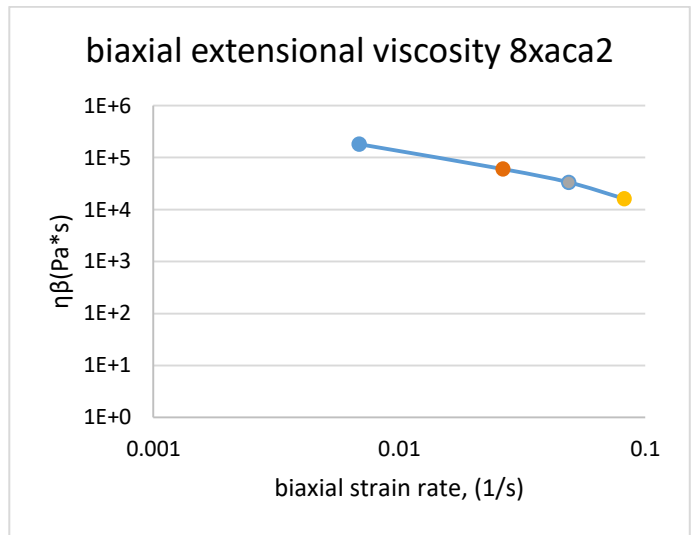
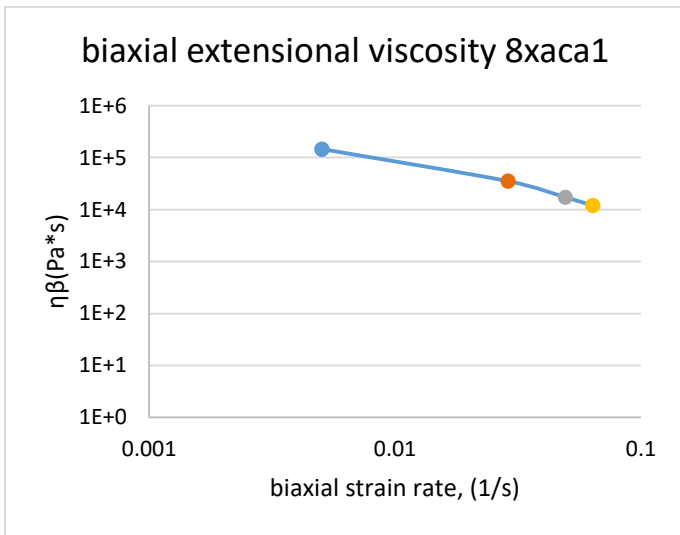


Σχήμα 46. Προσδιορισμός του διαξονικού εκτατού ιξώδους του δείγματος τζατζίκι χωρίς προσθήκη αγγουριού και με μίγμα σταθεροποιητών ξανθάνης-καραγενάνης σε συγκεντρώσεις 1g και 2g .(8xaca1) και (8xaca2) αντίστοιχα.

10. 9xanthan-carrageenan 1g και 2g.

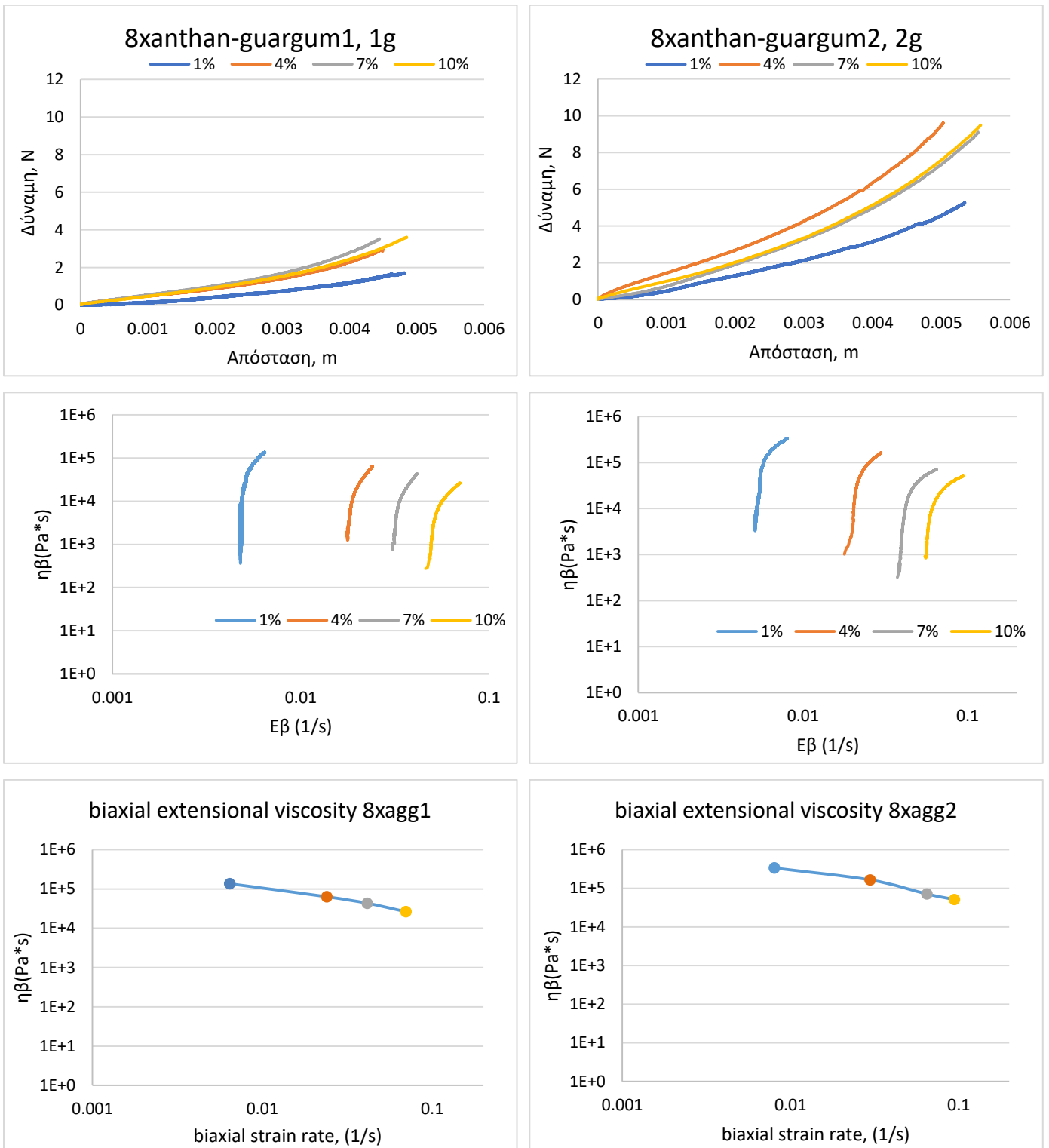


Σχήμα 47. Προσδιορισμός του διαξονικού εκτατού ιξώδους του δείγματος τζατζίκι με προσθήκη αγγουριού και με μίγμα σταθεροποιητών ξανθάνης-καραγενάνης σε συγκεντρώσεις 1g και 2g .(9xaca1) και (9xaca2) αντίστοιχα.



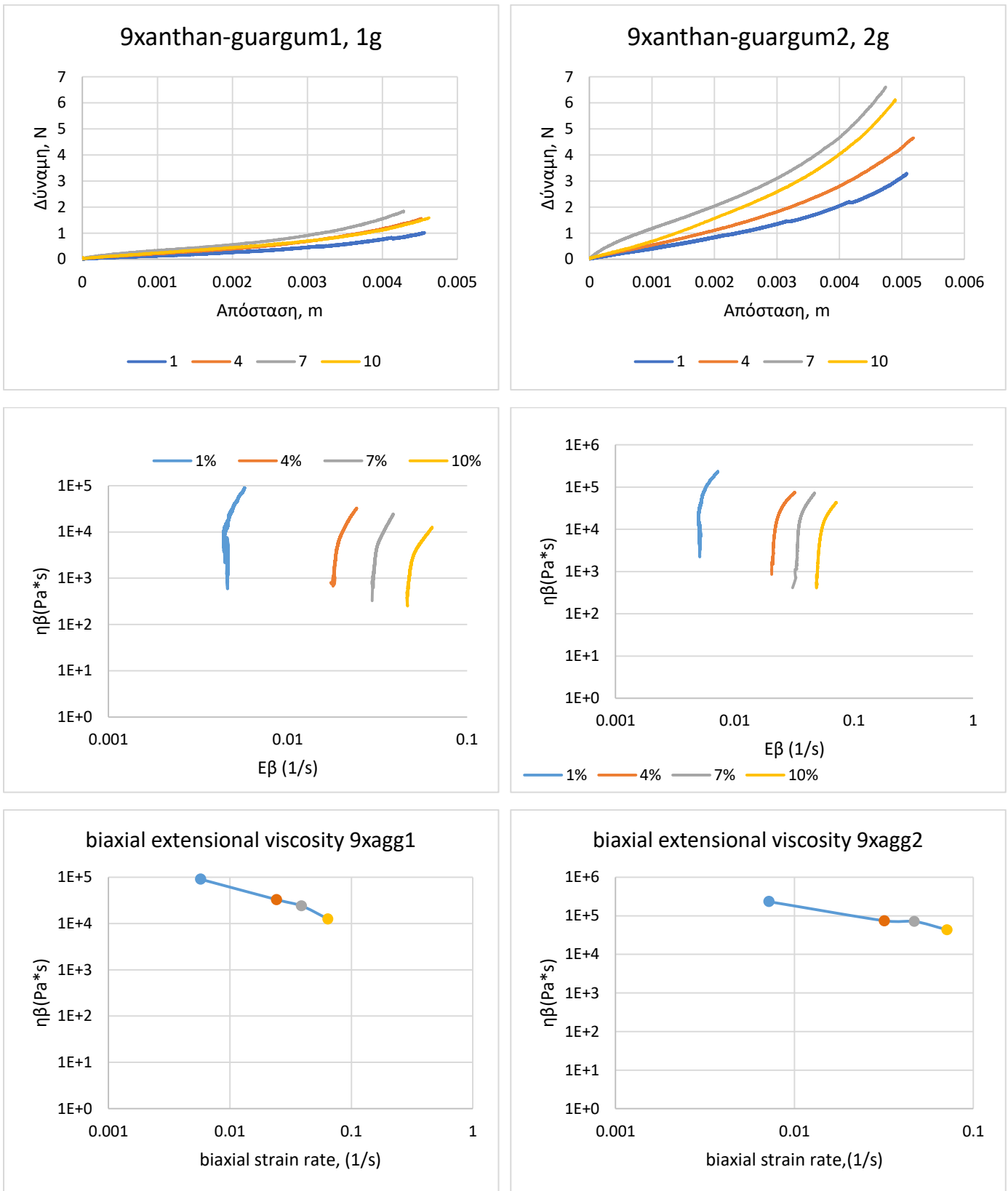
Σχήμα 48. Συγκριτική παρουσίαση του εκτατού ιξώδους τζατζικιού χωρίς (8), και με προσθήκη αγγουριού (9), με προσθήκη μίγματος ξανθάνης-καραγενάνης σε συγκέντρωση 1 και 2 g.

11.  $\delta$ xanthan-guar gum 1g και 2g.



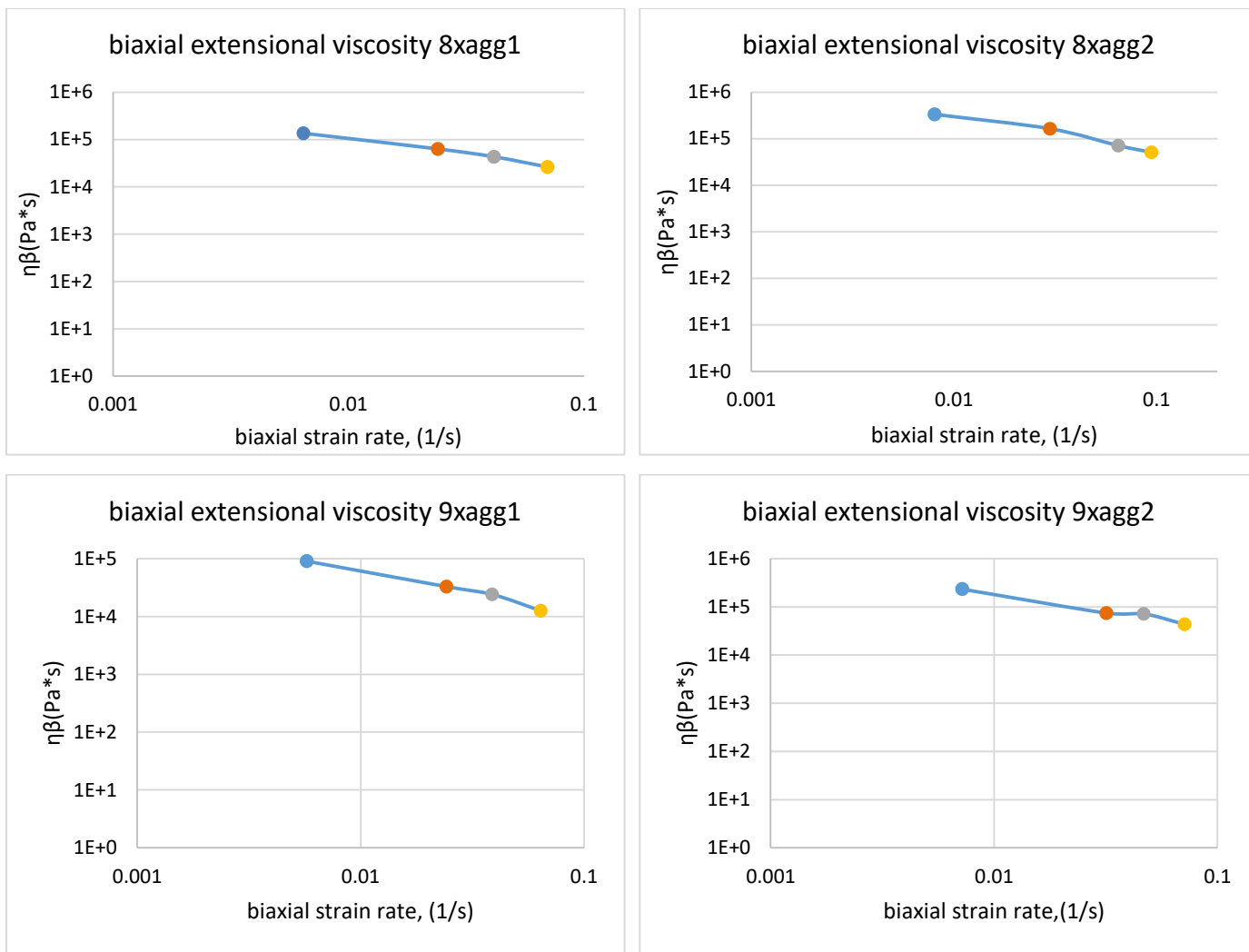
Σχήμα 49. Προσδιορισμός του διαζωνικού εκτατού ιξώδους του δείγματος τζατζίκι χωρίς προσθήκη αγγουριού και με μίγμα σταθεροποιητών ξανθάνης-γκουαρ σε συγκεντρώσεις 1g και 2g .( $\delta$ xagg1) και ( $\delta$ xagg2) αντίστοιχα.

12. 9xanthan-guar gum 1g και 2 g.



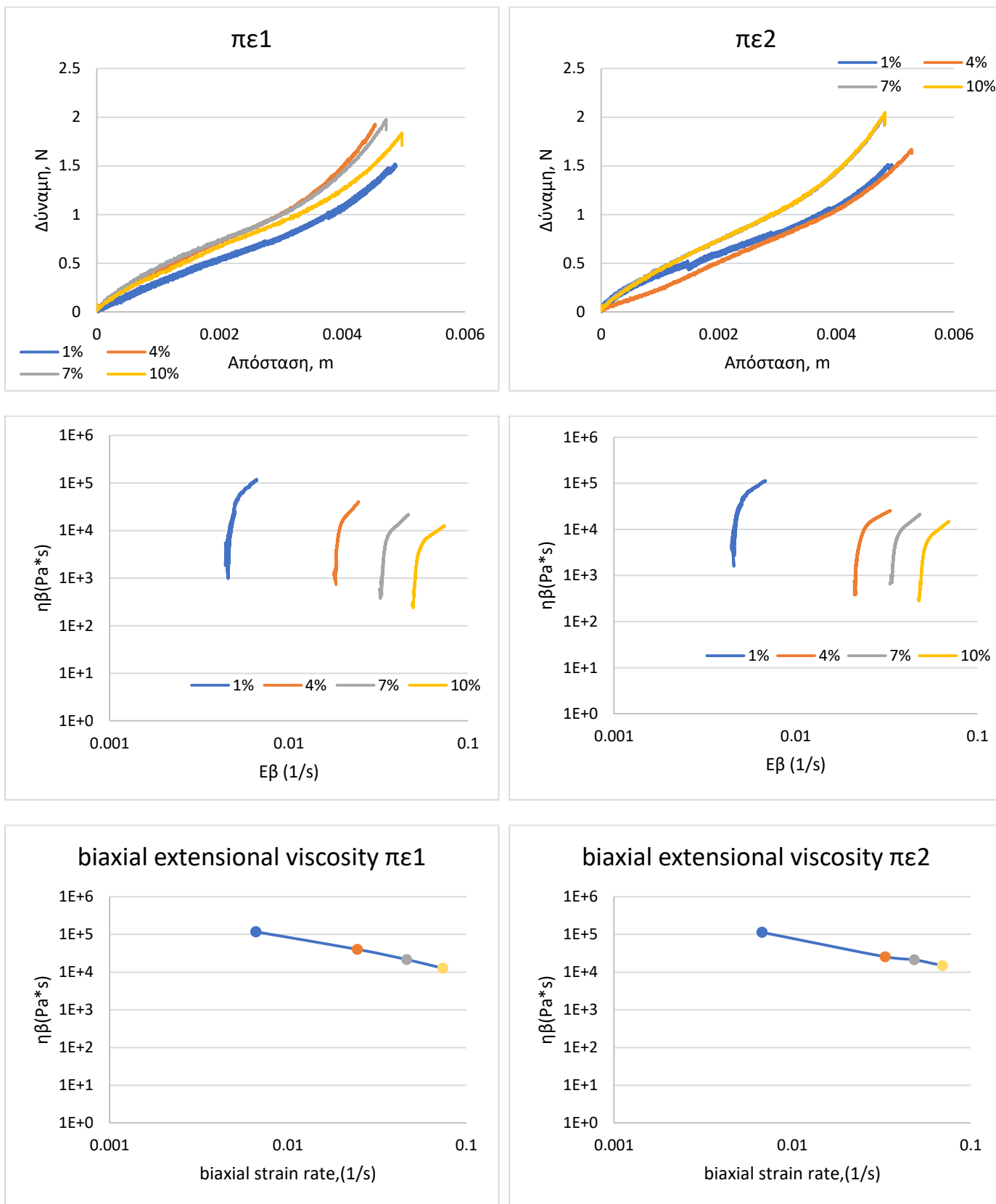
Σχήμα 50. Προσδιορισμός του διαξονικού εκτατού ιξώδους του δείγματος τζατζίκι με προσθήκη αγγουριού και με μίγμα σταθεροποιητών ξανθάνης-γκουαρ σε συγκεντρώσεις 1g και 2g .(9xagg1) και (9xagg2) αντίστοιχα.



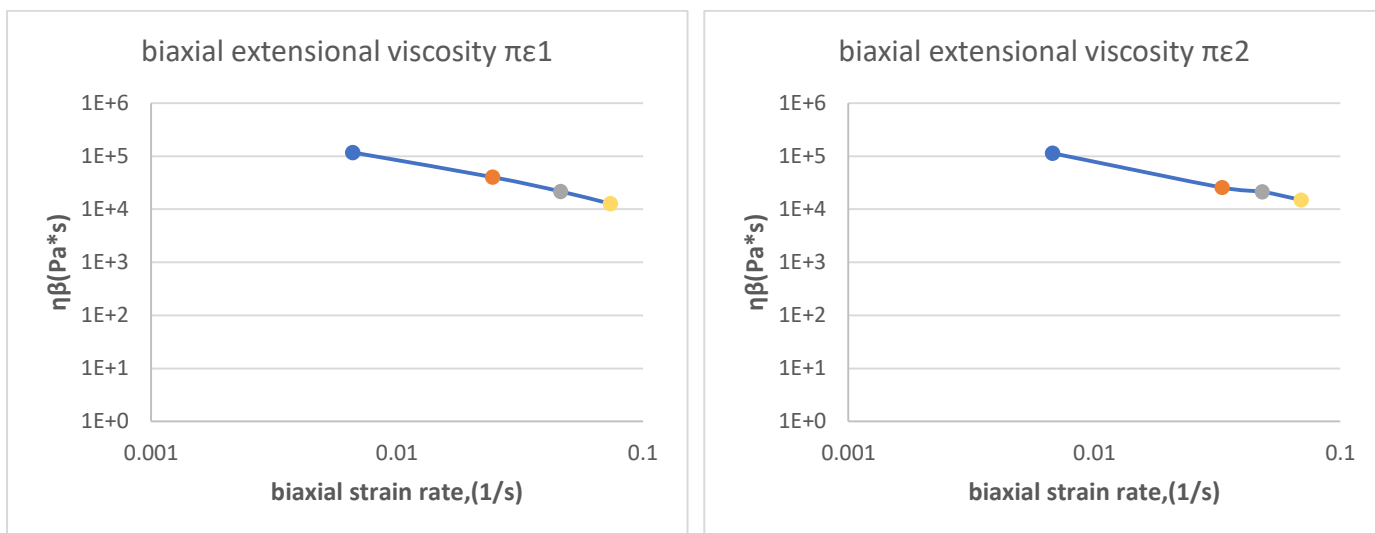


Σχήμα 51. Συγκριτική παρουσίαση του εκτατού ιξώδους τζατζικιού χωρίς (8), και με προσθήκη αγγουριού (9), με προσθήκη μίγματος ξανθάνης-γκουαρ σε συγκέντρωση 1 και 2 g.

13. Εμπορικό προϊόν 1



Σχήμα 52. Προσδιορισμός του διαξονικού εκτατού ιξώδους του δείγματος τζατζίκι του εμπορίου από τοπική υπεραγορά με κωδικό πε1 και πε2 τα οποία χρησιμοποιούν συνδυασμό τροποποιημένο αμυλο-ζελατίνη και ζελατίνη αντίστοιχα εκτός των άλλων συστατικών τους.



Σχήμα 53. Συγκριτική παρουσίαση του εκτατού ιξώδους τζατζικιού εμπορίου από τη τοπική υπεραγορά όπου θεωρούνται συγκρίσιμα.

Στα παραπάνω σχήματα απεικονίζονται οι καμπύλες του εκτατού ιξώδους που προέκυψαν από δοκιμές λιπαινόμενης συμπίεστης ροής που πραγματοποιήθηκαν για όλα τα δείγματα που μελετήθηκαν. Παρατηρείται ότι όλα τα δείγματα εμφανίζουν ψευδοπλαστική συμπεριφορά και σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα βρίσκονται σε συμφωνία με αυτά που προέκυψαν από τις πειραματικές μετρήσεις των δοκιμών του μέτρου Young και του Bostwick. Επίσης, προσομοιάζουν τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα δύο εμπορικά δείγματα.

ΤΕΛΟΣ