

---

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων & Διατροφής του Ανθρώπου**

**Εργαστήριο Χημείας & Ανάλυσης Τροφίμων**

---

# **Παρασκευή και μελέτη μεμβρανών από άλευρα**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ**

**Ηλίας Ν. Πελαβά**

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:**

**Επικ. Καθηγήτρια Ευαγγελίου Βασιλική**

**ΑΘΗΝΑ 2016**

---

# **ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων & Διατροφής του Ανθρώπου**

**Εργαστήριο Χημείας & Ανάλυσης Τροφίμων**

---

## **Παρασκευή και μελέτη μεμβρανών από άλευρα**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ**

**Ηλίας Ν. Πελαβά**

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:**

**Επικ. Καθηγήτρια Ευαγγελίου Βασιλική**

**Εξεταστική επιτροπή:**

**Επικ. Καθηγήτρια Ευαγγελίου Βασιλική**

**Επικ. Καθηγήτρια Μαντάλα Ιωάννα**

**Καθηγητής Φασσέας Κωνσταντίνος**

## Περίληψη

Η ευθύνη για προστασία του περιβάλλοντος, για μείωση απορριμμάτων και μη βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων δημιούργησε έντονη την ανάγκη για δημιουργία μεμβρανών φιλικών προς το περιβάλλον, από διάφορες ανανεώσιμες πηγές με ιδιαίτερο ενδιαφέρον στις βρώσιμες μεμβράνες για παράταση της διάρκειας ζωής των τροφίμων.

Η παρούσα μελέτη ασχολείται με την παρασκευή μεμβρανών από άλευρα. Το αλεύρι έχοντας στη χημική του σύσταση άμυλο, πρωτεΐνες και λιπίδια επιτρέπει την παρασκευή εδωδιμων μεμβρανών οι οποίες παρουσιάζουν βιοσυμβατότητα και καλή εμφάνιση, βιοδιασπώνται και αποτελούν εμπόδιο αλληλεπίδρασης με το εξωτερικό περιβάλλον. Χρησιμοποιήθηκαν άλευρα από σίτο και σίκαλη καθώς και μίγματά τους σε αναλογία 1:1. Τα άλευρα σίκαλης διέφεραν μεταξύ τους ως προς την κοκκομετρία. Πιο συγκεκριμένα, το μητρικό άλευρο σίκαλης υπεβλήθη σε άλεση με πεπιεσμένο αέρα σε δυο διαφορετικές ταχύτητες τροφοδοσίας οπότε προέκυψαν δύο αλέσματα μικρότερης κοκκομετρίας. Ως πλαστικοποιητής χρησιμοποιήθηκε η γλυκερόλη. Αρχικά και για τα άλευρα μόνα τους, η γλυκερόλη προστέθηκε σε τρεις διαφορετικές αναλογίες. Η αναλογία εκείνη που έδωσε τα πιο καλά αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκε στις μεμβράνες με μίγματα αλεύρων.

Οι μεμβράνες μελετήθηκαν ως προς χρώμα, το πάχος, τη θολερότητα, την υγρασία, και τη διαλυτότητα. Επίσης, προσδιορίστηκαν οι μηχανικές ιδιότητες τους σε τρία διαφορετικά χρονικά διαστήματα και το ιζώδες.

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, υπάρχει συσχετισμός του χρώματος με τις πρώτες ύλες παρασκευής της μεμβράνης (άσπρο χρώμα από άλευρο σίτου και κίτρινο από άλευρο σίκαλης) όπως επίσης και της ποσότητας γλυκερόλης με την υγρασία, το πάχος και τη θολερότητα των μεμβρανών. Όσον αφορά τις μηχανικές ιδιότητες των μεμβρανών αυτές συνδέθηκαν άμεσα με τον τύπο αλεύρου, αλλά και την περιεκτικότητα σε πλαστικοποιητή. Όλα τα διαλύματα παρουσίασαν ψευδοπλαστική συμπεριφορά. Η κοκκομετρία των αλεύρων σίκαλης ήταν σημαντική για τις μηχανικές ιδιότητες των μεμβρανών.

**Λέξεις Κλειδιά:** Αλεύρι Σίτου, Αλεύρι Σίκαλης, Κοκκομετρία, Μηχανικές ιδιότητες, Μεμβράνες, Γλυκερόλη

## **Abstract**

Edible films have emerged as an alternative to synthetic plastics for food applications, receiving considerable attention from food researchers in the last decades. The main advantage of such films over traditional synthetics is that they can be consumed with the products.

In the present study wheat and rye flour films were developed. The rye films differed in their particle size as two of them resulted from jet milling at two different feed rates. Increasing concentrations of glycerol were used as a plasticizer. Films with mixtures of flours were also studied in the presence of a constant glycerol concentration. Colour, moisture content, solubility, thickness, viscosity, microstructure and mechanical properties were assessed.

A correlation of colour with the botanical origin of the flour (white colour from wheat flour and yellow from rye flour) as well as of glycerol concentration with moisture content, thickness and opacity was reported. Regarding the mechanical properties of the films, they were connected to the type of flour, as well as glycerol content. All filmogenic solutions exhibited shear thinning behaviour. Particle size was found important for the mechanical properties.

**Keywords: Rye flour; Wheat flour; Jet mill; Mechanical properties; Films**

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην Επίκουρη Καθηγήτρια κ. Δρ. Ευαγγελίου Βασιλική για την δυνατότητα και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, να πραγματοποιήσω τη μεταπτυχιακή μου εργασία. . Θα ήθελα επίσης να την ευχαριστήσω για τις γνώσεις, τις συμβουλές που μου παρείχε καθ'όλη τη διάρκεια της εργασίας, αλλά και για τη γενικότερη βοήθεια που μου πρόσφερε

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο Διδάκτορα κ. Αντώνη Δράκο για το χρόνο που διέθεσε για την περάτωση της παρούσας εργασίας.

# Περιεχόμενα

Περίληψη .....	iii
Abstract.....	iv
I. Εισαγωγή.....	1
1. Άλευρα .....	1
1.2 Σύσταση Αλεύρου .....	1
1.2.1 Πρωτεΐνες.....	2
1.2.2 Υδατάνθρακες.....	3
Άμυλο .....	3
Μη Αμυλούχοι πολυσακχαρίτες.....	5
1.2.3 Λιπαρές ύλες.....	6
1.2.4 Ανόργανα συστατικά .....	6
1.2.4 Βιταμίνες.....	6
1.3 Ένζυμα.....	6
1.4 Υγρασία .....	9
1.5 Άλεση .....	9
1.5.1 Τεχνική Άλεσης με πεπιεσμένο αέρα – Jet milling .....	10
1.5.2 Εφαρμογές άλεσης με πεπιεσμένο αέρα .....	11
1.5.3 Βαθμός άλεσης .....	12
1.6 Πρόσθετα αλεύρων σίτου.....	16
2. Μεμβράνες .....	17
2.1 Εδώδιμες μεμβράνες .....	18
3 Χρωματόμετρο (Chroma Meter).....	21
4. Φασματοφωτόμετρο (Spectrophotometer) .....	22
5. Μηχανικές Ιδιότητες .....	23
6. Ιξώδες.....	24
II. Πειραματικό μέρος .....	26

Σκοπός του πειράματος: .....	26
1.Υλικά και μέθοδοι.....	26
1.1 Υλικά.....	26
1.2 Μέθοδοι.....	27
1.2.1Παρασκευή Μεμβρανών .....	27
1.2.2 Προσδιορισμός Χρώματος.....	27
1.2.3 Προσδιορισμός Πάχους .....	28
1.2.4 Προσδιορισμός Υγρασίας .....	28
1.2.5 Προσδιορισμός διαλυτότητας .....	28
1.2.6. Θολερότητα .....	29
1.2.7 Scanning electron microscopy (SEM).....	29
1.2.8 Ιξώδες.....	29
1.2.9 Μηχανικές ιδιότητες.....	29
III. Αποτελέσματα.....	30
VI.Συζήτηση.....	42
V Βιβλιογραφία.....	46





# I. Εισαγωγή

## 1. Άλευρα

Το αλεύρι είναι μια λεπτή σκόνη που προέρχεται τόσο από τα δημητριακά όσο και από άλλα αμυλούχα φυτά. Συνήθως παράγεται από άλεση σιταριού, αλλά και καλαμποκιού, σικάλεως, κριθαριού και ρυζιού. Είναι επίσης δυνατόν να παραχθεί από όσπρια, όπως τη σόγια, τα φιστίκια, τα αμύγδαλα, και από καρπούς δέντρων. Το αλεύρι που παράγεται από σιτάρι ανάλογα με το ποσοστό του καθαρισμένου και πλυμένου σιταριού που χρησιμοποιείται κατά τη διαδικασία της άλεσης έχει διαφορετικό τύπο. Έτσι τα μέρη βάρους αλεύρου που παράγονται από την άλεση 100 μερών βάρους σιταριού μας δίνουν και την ονομασία του τύπου και είδους του αλεύρου

Το αλεύρι χρησιμοποιείται ως συστατικό σε πολλά τρόφιμα και προϊόντα της αρτοποιίας, μπισκοτοποιίας και ζαχαροπλαστικής (Δημόπουλος, 1987) και ανήκει στις πρώτες ύλες που παίζουν σημαντικό ρόλο στην διατροφή του ανθρώπου (Lorenz & Kulr, 1991).

Η διαδικασία που ακολουθείται για την παραγωγή του αλεύρου είναι η εξής:

1. Κοσκίνισμα.
2. Αποφλοίωση
3. Διαχωρισμός κόκκων ανά μέγεθος και άλεση

## 1.2 Σύσταση Αλεύρου

Η χημική σύσταση του αλεύρου καθορίζει τόσο τις χημικές ιδιότητές του όσο και τη θρεπτική του αξία, ενώ διαφοροποιείται για κάθε κατηγορία λόγω προσθήκης διαφορετικών ποσοτικών τμημάτων του καρπού κατά την διάρκεια της άλεσης του.

Αναλυτικότερα, το αλεύρι αποτελείται από υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπαρές ύλες, ανόργανα συστατικά, βιταμίνες και ένζυμα (Πίνακας 1).

**Πίνακας 1:** Χημική σύσταση αλεύρου (Stear, 1990).

<b>Χημική σύσταση</b>	<b>Ποσοστιαία περιεκτικότητα σύστασης (%)</b>
Νερό	11 - 15
Ανόργανα άλατα	0,5 - 2
Λίπος	0,5 - 0,6
Λευκώματα (αλβουμίνη, γλοβουμίνη, γλουτένη)	7 - 14
Υδατάνθρακες (άμυλο)	65 - 70

### **1.2.1 Πρωτεΐνες**

Οι πρωτεΐνες των αλεύρων ανήκουν στις παρακάτω κατηγορίες:

α. Αλβουμίνες: Αποτελούν το 15% της συνολικής πρωτεΐνης. Είναι υδατοδιαλυτές. Συνεισφέρουν στην αρτοποιητική ικανότητα του αλεύρου. Στην ποσότητα αυτών των υδατοδιαλυτών πρωτεϊνών περιέχονται 19 ενώσεις. Έχει λιγότερα αμινοξέα γλουταμίνης και προλίνης και περισσότερα από τα βασικά αμινοξέα, καθώς και κυστεΐνη.

β. Γλοβουλίνες: Αποτελούν το 3% της συνολικής πρωτεΐνης. Είναι διαλυτές σε διάλυμα άλατος (0,5M NaCl). Χαρακτηρίζονται από χαμηλή περιεκτικότητα σε θρυπτοφάνη και υψηλή περιεκτικότητα σε αργινίνη. Δεν συνεισφέρουν στην αρτοποιητική ικανότητα του αλεύρου. Στο κλάσμα αυτό των διαλυτών πρωτεϊνών έχουν ταυτοποιηθεί 19 ενώσεις. Έχει λιγότερα αμινοξέα γλουταμίνης και προλίνης και περισσότερα από τα βασικά αμινοξέα , καθώς και κυστεΐνη.

γ. Προλαμίνη: Είναι πρωτεΐνη που συναντάται στα δημητριακά. Αποτελεί το 33% της συνολικής πρωτεΐνης του αλεύρου. Είναι διαλυτή σε υδατικό διάλυμα αλκοόλης 70%. Μια σημαντική προλαμίνη είναι η γλοιαδίνη.

δ. Γλουτελίνες: Αποτελούν το 16% της συνολικής πρωτεΐνης. Είναι διαλυτή σε αραιά διαλύματα οξέος ή βάσεως. Μια σημαντική γλουτελίνη είναι η γλουτενίνη. Η γλουτενίνη είναι ένα μεγάλο μόριο που αποτελείται από πρωτεϊνικές αλυσίδες. Κάποιες από αυτές είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους με δισουλφιδικούς δεσμούς. Είναι διαλυτή σε οξικό οξύ 0,5M.

ε. Γλουτένη: Αποτελεί το 6-13% του αλεύρου και Η γλουτένη είναι ένα σύνθετο πρωτεϊνών, της γλοιαδίνης (30-45%) και της γλουτελίνης (55-75%), οι οποίες είναι ενωμένες με άμυλο στο ενδοσπέρμιο του σπόρου. Βρίσκεται πιο συχνά στο σιτάρι και σε άλλα συναφή δημητριακά όπως το κριθάρι και η σίκαλη. Είναι καθοριστική για τις αρτοποιητικές ικανότητες του αλεύρου γιατί έχει την ικανότητα να προσδίδει ελαστικότητα, να φουσκώνει και να κρατάει σε σχήμα μια ζύμη. Η χαρακτηριστική φύση της γλουτένης μπορεί να εξηγηθεί από τα αμινοξέα γλουταμίνη, προλίνη, κυστεΐνη (κύρια συμμετοχή), και άλλες δευτερεύουσας σημασίας. Η γλουτένη είναι αδιάλυτη στο νερό. Παρόλα αυτά όμως απορροφά νερό τουλάχιστον σε διπλάσια ποσότητα του βάρους της, με αποτέλεσμα να διογκώνεται και να δημιουργεί ένα πλέγμα σύνδεσης των συστατικών του ζυμαριού ενώ παράλληλα εγκλωβίζει τα παραγόμενα αέρια. Η ποσότητα και η ποιότητα της γλουτένης καθορίζουν τον χαρακτηρισμό ενός αλεύρου σε δυνατό ή αδύνατο (Pomeranz, 1988).

### 1.2.2 Υδατάνθρακες

Στους υδατάνθρακες του αλεύρου αυτός που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό περιεκτικότητας είναι το άμυλο (70%), ενώ περιέχονται σε πολύ μικρά ποσοστά και διάφορα διαλυτά σάκχαρα όπως είναι η κυτταρίνη και οι πεντοζάνες (Pomeranz, 1988).

### Άμυλο

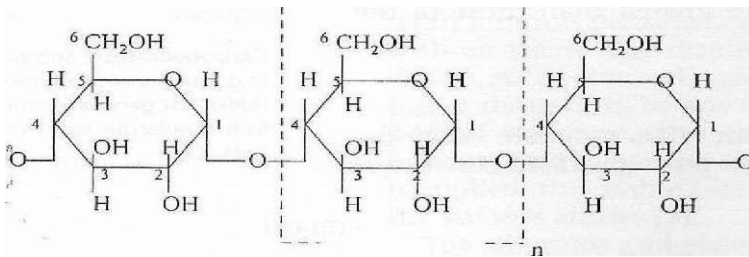
Το άμυλο έχει ως δομικό στοιχείο τη γλυκόζη ( $C_6H_{12}O_6$ ) είναι φτιαγμένο από δύο διαφορετικές γλυκάνες: την αμυλόζη και την αμυλοπηκτίνη. Γενικά αποτελεί το 63-72% στο αλεύρι, βρίσκεται με την μορφή κόκκων (μικροί σφαιρικοί και μεγάλοι στενόμακροι ή αλλιώς με μορφή πατάτας) και περιέχει 25% αμυλόζη και 75% αμυλοπηκτίνη (Tharathan, 1995) Το άμυλο είναι ένα από αυτά τα φυσικά πολυμερή που υπάρχουν σε μια ποικιλία από φυτά, όπως το καλαμπόκι, το σιτάρι, το ρύζι, και άλλα. Τα κύρια πλεονεκτήματα αυτών των υλικών είναι το γεγονός ότι είναι βιοδιασπώμενα, και διατίθενται σε χαμηλό κόστος (Carvalho et al., 2003). Εξάλλου, αυτά τα υλικά μπορούν εύκολα να πάρουν τη μορφή λεπτών μεμβρανών. Έτσι, υπάρχει ενδιαφέρον για την ανάπτυξη μεμβρανών με βάση το άμυλο αλεύρου.

Η λειτουργικότητα και ιδιότητες του αμύλου εξαρτώνται από:

- χημικές τροποποιήσεις
- τη θερμοκρασία επεξεργασίας

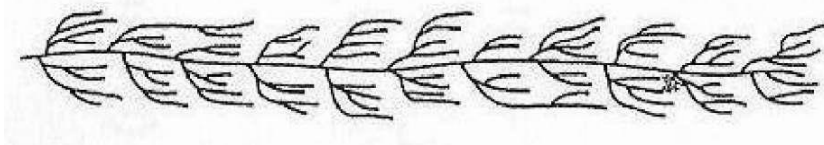
- το μοριακό βάρος
- το μέγεθος και τη δομή του κόκκου του αμύλου,
- την αμυλόζη και την αμυλοπηκτίνη.

α. Η αμυλόζη είναι ουσιαστικά μια ευθεία σύνδεση α-1,4 μορίων γλυκόζης. Αποτελείται συνήθως από 1.500 έως 6.000 μόρια αυτής και έχει την τάση τελικά η αλυσίδα να δημιουργεί ελικοειδή διάταξη στον χώρο.



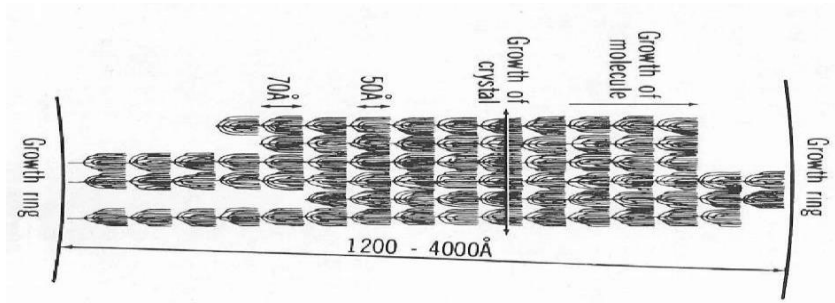
**Εικόνα 1:** Δομή αμυλόζης (Atwell, 2001).

β. Η αμυλοπηκτίνη έχει πολύ υψηλό ποσοστό διακλαδώσεων και έχει μεγαλύτερο μέγεθος από την αμυλόζη. Ένα μόνο μόριο αμυλοπηκτίνης, αποτελείται από 300.000-3.000.000 μόρια γλυκόζης. Η αμυλοπηκτίνη έχει λιγότερο ελικοειδή μορφή από την αμυλόζη και αυτό οφείλεται στο ότι το 4-6% των δεσμών των μορίων γλυκόζης είναι α-1,6, το οποίο αναστέλλει-μειώνει την ελικοειδή δομή της αλυσίδας.



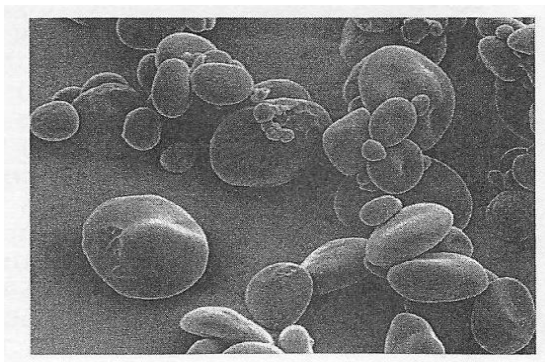
**Εικόνα 2:** Δομή αμυλοπηκτίνης (Atwell, 2001).

Τα μόρια της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης παρουσιάζονται υπό τη μορφή κόκκων αμύλου οι οποίοι κατά 30% είναι κρυσταλλοποιημένοι. Μέσα στη δομή του κόκκου, η αμυλοπηκτίνη παρέχει την κρυσταλλικότητα, ενώ η αμυλόζη την άμορφη μάζα.



**Εικόνα 3:** Δομή αμυλοπηκτίνης στο κόκκο αμύλου (Carl Hoseneay,1998).

Οι κόκκοι αμύλου γενικώς συναντώνται σε δύο σχήματα. Οι μικροί κόκκοι με διάμετρο 1 μm είναι πιο στρογγυλοί και οι μεγάλοι κόκκοι με διάμετρο 20 έως 45μm δεν είναι τόσο σφαιρικοί , αλλά το σχήμα τους μοιάζει με αυτό της πατάτας.



**Εικόνα 4:** Δομή κόκκων αμύλου (Atwell, 2001).

## Μη Αμυλούχοι πολυσακχαρίτες

Τα αλεύρι, εκτός από το άμυλο, περιέχει και άλλους πολυσακχαρίτες. Κάποια από αυτά είναι οι ημικυτταρίνες που άλλες είναι αδιάλυτες στο νερό και άλλες είναι πολύ διαλυτές.

α. Η πεντοζάνη, η οποία περιέχεται κατά 2,4% στο αλεύρι, δομείται από πεντόζες και κυρίως από αραβινόζη και ξυλόζη. Η αραβινοξυλόζη, που αποτελεί το 1-1,5% του αλεύρου, αποτελείται από μια σειρά από ξυλόζες (αδιάλυτες), οι οποίες συνδέονται πλευρικώς με α-1,4 δεσμούς με ένα μόνο μόριο αραβινόζης. Το μέγεθος του μορίου και ο αριθμός της

συνδεδεμένης αραβινόζης στην αλυσίδα των ξυλοζών επηρεάζει τη διαλυτότητα της πεντοζάνης. Όσο πιο πολλά μόρια αραβινόζης συνδέονται στην αλυσίδα των μορίων ξυλόζης, τόσο περισσότερο διαλυτή γίνεται η πεντοζάνη, καθώς επίσης και όσο το μόριο της πεντοζάνης αυξάνει σε μέγεθος, τόσο πιο αδιάλυτο γίνεται.

β. Η β-γλυκάνη είναι ένας άλλος τύπος μη αμυλούχου πολυσακχαρίτη που συναντάται στο αλεύρι που προέρχεται από το σιτάρι. Η ποσότητα της β-γλυκάνης στο αλεύρι αποτελεί μόνο το ένα τρίτο της ποσότητας της πεντοζάνης. Η β-γλυκάνη μοιάζει με το άμυλο γιατί αποτελείται από γλυκόζη αλλά παράλληλα διαφέρει από αυτό στο ότι η β-γλυκάνη έχει δεσμούς β-1,3 και β-1,4 και στο ότι δεν υπάρχουν διακλαδώσεις.

Η β-γλυκάνη και η αραβινοξυλόζη αποτελούν τα φυσικά συστατικά του αμυλούχου ενδοσπερμίου και πιο ειδικά των κυτταρικών τοιχωμάτων. Εντοπίζονται σε μεγάλες ποσότητες στο στρώμα αλευρώνης. Μικρές ποσότητες τους μπορούν να επηρεάσουν τις ιδιότητες-ποιότητα των αλεύρων, αναφορικά με την ικανότητά τους να συγκρατούν νερό.

### **1.2.3 Λιπαρές ύλες**

Οι λιπαρές ύλες επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την ελαστικότητα της γλουτένης, ωστόσο η σημασία τους στις αρτοποιητικές ικανότητες του αλεύρου δεν είναι μεγάλη λόγω της διακύμανσης της περιεκτικότητας σε λιπαρά (Matz, 1989).

### **1.2.4 Ανόργανα συστατικά**

Τα ανόργανα συστατικά επηρεάζουν θετικά την γλουτένη κυρίως κατά την διαδικασία του ψησίματος. Από πλευράς περιεκτικότητας του αλεύρου σε ανόργανα συστατικά, ανάλογα με την ποικιλία του σιταριού διαφέρουν αντίστοιχα (Matz, 1989).

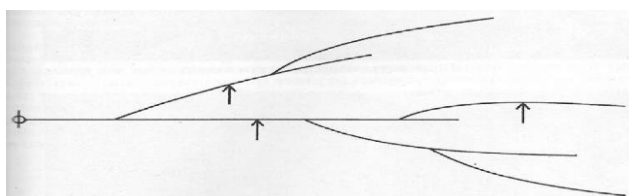
### **1.2.4 Βιταμίνες**

Το σιτάρι είναι πλούσιο σε βιταμίνες E και B (B1, B2, B3), που περιέχονται σε αφθονία κυρίως στο φύτρο και το πίτυρο του καρπού, για τον λόγο αυτό όσο πιο λευκό είναι το αλεύρι τόσο φτωχότερο είναι σε βιταμίνες (Macrae et al., 1993).

## **1.3 Ένζυμα**

Τα κυριότερα ένζυμα που περιέχονται στο άλευρο είναι τα αμυλολυτικά (αμυλάσες), τα πρωτεολυτικά (πρωτεάσες) και τα λιπολυτικά (λιπάσες), που βοηθούν στην διεξαγωγή αντιδράσεων (Κεφαλάς, 2002).

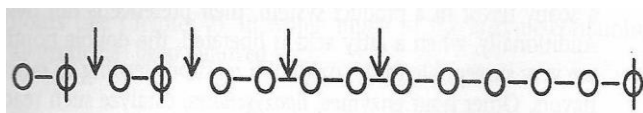
α. Αμυλάσες: Είναι ένζυμα τα οποία υδρολύουν τους δεσμούς της γλυκόζης στα μόρια της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης. Η α-αμυλάση είναι ένα ένζυμο το οποίο απαντάται στα άλευρα και επιτίθεται στα πολυμερή του αμύλου. Διανοίγει τους α-1,4 δεσμούς εντός της αμυλόζης ή της αμυλοπηκτίνης, αλλά δεν μπορεί να υδρολύσει τους δεσμούς α-1,6 ή τους α-1,4 οι οποίοι είναι κοντά σε σημείο διακλάδωσης. Επομένως, αν η α-αμυλάση δράσει για μεγάλο χρονικό διάστημα., θα διασπάσει το άμυλο σε μικρά διακλαδισμένα ή ευθέα κομμάτια, τις δεξτρίνες.



**Εικόνα 5:** Διαγραμματική απεικόνιση της δράσης της α-αμυλάσης σε πολυμερές αμύλου. Τα βέλη δεικνύουν τα σημεία επενέργειας πάνω στους α-1,4 δεσμούς (Carl Hoseneay, 1998).

Η α-αμυλάση δρα βραδέως πάνω στον κόκκο αμύλου, αλλά μπορεί να υδρολύσει πολύ γρήγορα το ζελατινοποιημένο άμυλο. Αν και η α-αμυλάση μετουσιώνεται και καθίσταται ανενεργή κατά την θέρμανση, αυτό το ένζυμο του αλεύρου είναι ενεργό πάνω από την θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου. Επομένως παρά την θερμική επίδραση κατά την διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, μπορεί να επηρεάσει το τελικό προϊόν (πχ ψωμί). Το αλεύρι περιέχει επίσης το ένζυμο β-αμυλάση, το οποίο επίσης υδρολύει τους α-1,4 δεσμούς. Η επίδραση αυτού του ενζύμου είναι πάνω σε κάθε δεύτερο δεσμό α-1,4 του πολυμερούς του αμύλου. Έτσι απελευθερώνεται η μαλτόζη. Η μαλτόζη αποτελείται από δύο μόρια γλυκόζης συνδεδεμένα με δεσμό α-1,4.

Η β-αμυλάση δεν μπορεί να υδρολύσει τους δεσμούς α-1,6, έτσι η επίδρασή της σταματά στα σημεία διακλάδωσης. Η β-αμυλάση διασπά την αμυλόζη κυρίως σε μαλτόζη, αλλά αποσπά μόνο τις εξωτερικές αλυσίδες της αμυλοπηκτίνης. Η δεξτρίνη που παράγεται από την δράση της β-αμυλάσης πάνω στην αμυλοπηκτίνη ονομάζεται β-οριακή δεξτρίνη (β-limit dextrin). Η ενεργότητα της β-αμυλάσης στο αλεύρι είναι πάντα υψηλή.



**Εικόνα 6:** Διαγραμματική απεικόνιση της δράσης της β-αμυλάσης σε πολυμερές αμύλου. Τα βέλη δεικνύουν τα σημεία επενέργειας πάνω στους δεσμούς α-1,4( Atwell, 2001).

Συνδυαζόμενα τα δύο αυτά ένζυμα δρουν έτσι ώστε να μειώνουν το άμυλο, μετατρέποντας το σε μαλτόζη και δεξτρίνη. Αυτά τα παραπροϊόντα μπορούν να προκαλέσουν φαινόμενα αμαύρωσης . Όταν η δράση της α-αμυλάσης είναι έντονη στο αλεύρι, τότε τα τελικά προϊόντα μπορούν να παρουσιάσουν φαινόμενα αμαύρωσης μετά το φούρνισμα ή ψήσιμο. Η μαλτόζη που παράγεται μπορεί να μεταβολιστεί από ζύμες και για αυτό να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή διογκωτικών αερίων. Επιπλέον η παραγόμενη μαλτόζη μπορεί να αυξήσει την ήδη υπάρχουσα ποσότητα ζάχαρης που έχουμε προσθέσει σε μια συνταγή. Επίσης όταν το άμυλο μειώνεται σε δεξτρίνες, αυξάνεται η ικανότητα συγκράτησης νερού, το οποίο μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητα αποτελέσματα στο τελικό μας προϊόν. Αυτό συμβαίνει, γιατί οι δεξτρίνες είναι πιο διαλυτές από τα μεγαλύτερα μόρια αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης.

β. Πρωτεάσες: Είναι ένζυμα τα οποία υδρολύουν τους πεπτιδικούς δεσμούς των πρωτεϊνών. Οι πρωτεάσες που υπάρχουν στο αλεύρι είναι λίγες και είναι χαμηλής ενεργότητας. Έτσι η επίδρασή τους πάνω στη γλουτένη ή σε οποιαδήποτε άλλη πρωτεΐνη είναι μικρή. Στη ζύμη μπορούν να προστεθούν πρωτεάσες από βακτήρια ή μύκητες, για να μειώσουν την υπάρχουσα γλουτένη. Αυτό υποβοηθά στην πιο εύκολη ανάμιξη της ζύμης, επειδή τα πολυμερή της γλουτένης είναι μικρότερα, αλλά παράλληλα μειονεκτεί στο ότι μπορεί να μειώσει την ικανότητα της ζύμης να συγκρατεί τα αέρια κατά τη διαδικασία ψήσιματος ή φουρνίσματος. Επειδή είναι δύσκολο να ελεγχθεί μια ενζυμική αντίδραση, συνήθως προστίθενται κάποιοι άλλοι χημικοί παράγοντες (κάλιο, μεταδισουλφίδιο του νατρίου, υδροχλωρική κυστεΐνη) για να επιτύχουμε το ίδιο αποτέλεσμα στην ανάμιξη.

γ. Λιπάσες: είναι ένζυμα τα οποία υδρολύουν τους δεσμούς μεταξύ των λιπαρών οξέων και της γλυκερόλης στα τριγλυκερίδια. Επειδή τα ελεύθερα λιπαρά οξέα ενδέχεται να προκαλέσουν μια σαπωνοειδή γεύση στην παραγωγική διαδικασία, η παρουσία τους είναι ανεπιθύμητη. Επίσης είναι ευαίσθητα στην οξειδωση προκαλώντας ανεπιθύμητα φαινόμενα όπως η τάγγιση.

δ. Λιποξειδάσες: είναι ένζυμα τα οποία καταλύουν την οξειδωση των ακόρεστων λιπαρών οξέων.



ε. Πεντοζανάσες: Είναι ένζυμα τα οποία υδρολύουν τις πεντοζάνες. Επειδή οι πεντοζάνες κάνουν δεσμούς με το νερό, οι πεντοζανάσες μπορούν να επηρεάσουν την περιεχόμενη υγρασία της ζύμης.

ζ. Φυτάση: Είναι ένζυμο το οποίο υδρολύει το μόριο που λέγεται φυτικό οξύ (phytate). Υδρολύόμενο αυτό, δίνει μόρια φωσφορικά και μόρια ινοσιτόλης (αλλά και μόρια ασβεστίου και μαγνησίου), επαυξάνοντας την διαθεσιμότητα αυτών των μορίων για τις θρεπτικές ανάγκες του ανθρώπου.

η. Οξειδάση πολυφαινολών: Αυτό το ένζυμο καταλύει τον πολυμερισμό των φαινολικών συστατικών του αλεύρου. Αυτό το φαινόμενο προκαλεί τον αποχρωματισμό της ζύμης και παρουσιάζεται ένα πρόβλημα γνωστό ως "γκρι ζύμη". Αντιμετωπίζεται με την προσθήκη ασκορβικού οξέος (βιταμίνη C).

#### **1.4 Υγρασία**

Η προτεινόμενη υγρασία που συνίσταται να έχει το άλευρο είναι το 15%. Ξεπερνώντας την συνιστώμενη υγρασία προκύπτουν προβλήματα που αφορούν σε ανάπτυξη μυκήτων και δυσάρεστων οσμών, προσέλκυση εντόμων, ταχεία αποσύνθεση της γλουτένης και μικρότερη απορρόφηση νερού από το ζυμάρι (Pomeranz, 1988).

#### **1.5 Άλεση**

Η μέθοδος του αλέσματος αποτελεί μια διαδικασία που μπορεί και εξασφαλίζει μια ποικιλία χαρακτηριστικών για το άλευρο προκειμένου να παραχθούν προϊόντα – άλευρα για πολλαπλές εφαρμογές (Κριτσαντώνης, 2006). Σε μεγάλες βιομηχανίες παραγωγής αλεύρων, συχνά ακολουθούνται κάποιες διαδικασίες προκειμένου η μέθοδος της άλεσης να γίνει με επιτυχή τρόπο και να επιφέρει τα θεμιτά αποτελέσματα (Σαμακίδης, 2006).

Αρχικά το αλεύρι αποθηκεύεται σε ειδικά σιλό και στη συνέχεια μεταφέρεται σε μύλο με ειδικά μηχανήματα για να ξεκινήσει η διαδικασία του καθαρισμού και της άλεσης. Οι καρποί των δημητριακών καθαρίζονται σχολαστικά με την χρήση κατάλληλων συστημάτων διαχωρισμού προκειμένου να απομακρυνθούν όλα τα υπολείμματα από πέτρες, ρινίσματα μετάλλων, άχυρα, σκόνη, έντομα κ.α., καθώς και η τριχοειδής επιφάνεια του καρπού (Μποσδίκος, 2005). Στη συνέχεια, γίνεται πλύση και καθάρισμα των καρπών καθώς και προαιρετική ρύθμιση της υγρασίας και θερμοκρασίας που διευκολύνει το σπάσιμο των καρπών για την απομόνωση του ενδοσπερμίου. Η διαδικασία της άλεσης γίνεται με τη

χρήση κατάλληλα σχεδιασμένων κυλίνδρων, οι οποίοι εναλλάσσονται με κόσκινα και διαχωριστήρες προκειμένου να γίνει η απαραίτητη απομόνωση και απομάκρυνση στα διάφορα τμήματα του καρπού. Μετά το στάδιο της απομάκρυνσης των ανεπιθύμητων τμημάτων, ο καρπός επανατοποθετείται στους κυλίνδρους και επαναλαμβάνεται ξανά η ίδια διαδικασία μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Το στάδιο της άλεση αποτελεί μια σημαντική και κρίσιμη διαδικασία για την παραγωγή των τελικών προϊόντων, αφού κατά την διαδικασία της επανάληψης ο καρπός υφίσταται εν μέρει μηχανική καταπόνηση με αποτέλεσμα τα τελικά προϊόντα να είναι υποβαθμισμένα, ενώ παράλληλα αν δεν ακολουθηθεί η διαδικασία αυτή της επανάληψης τα προϊόντα θα πάσχουν από ανομοιογένεια και θα υπάρξουν δυσκολίες κατά την προετοιμασία, παρασκευή και ξήρανση της ζύμης (Κριτσαντώνης, 2006 ; Σαμακίδης, 2006 ; Μποσδίκος, 2005).

Μετά την διαδικασία της άλεσης και την παρασκευή του ζυμαριού ακολουθεί ο έλεγχος των φυσικοχημικών ιδιοτήτων και ρεολογικών χαρακτηριστικών. Όσον αφορά τις φυσικοχημικές ιδιότητες, αυτές σχετίζονται με τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας και γλουτένης, της τέφρας, καθώς και των αζωτούχων ενώσεων, ενώ τα ρεολογικά χαρακτηριστικά αναφέρονται στη μέτρηση του ιξώδους και της ελαστικότητας του ζυμαριού που προσδιορίζονται με την βοήθεια του φαρινογράφου (farinograph), του εξτενσιογράφου (extensiograph) και του αλβεογράφου (alveograph).

### **1.5.1 Τεχνική Άλεσης με πεπιεσμένο αέρα – Jet milling**

Η τεχνική αυτή αποτελεί μία τεχνολογία που τα τελευταία χρόνια εφαρμόζεται στον τομέα της επιστήμης των υλικών και βασίζεται στην άμεση ‘‘top-down’’ επεξεργασία όπου μειώνεται το μέγεθος με χρήση υψηλής πίεσης αέρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία λεπτόκοκκων σωματιδίων. Η τεχνολογία της άλεσης με αέρα χρησιμοποιείται για θερμοευαίσθητα και εύθρυπτα υλικά και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για ανάμιξη διαφορετικών κλασμάτων άλεσης, για περαιτέρω άλεση προ-αλεσμένων δειγμάτων, για ξήρανση και άλεση χαμηλής υγρασίας προϊόντων κλπ.. Ωστόσο στον τομέα των τροφίμων οι εφαρμογές της είναι ακόμα περιορισμένες.

Ο αέρας που απελευθερώνεται είναι σε χαμηλή θερμοκρασία και εξαιτίας ενός φαινομένου που ονομάζεται Joules-Thompson το προϊόν δεν θερμαίνεται από τον αέρα που χρησιμοποιείται για την άλεση. Η τριβή από τις κρούσεις των σωματιδίων και την επαφή με το θάλαμο άλεσης αντισταθμίζεται από την επίδραση της ψύξης του αέρα. Γενικά τέτοιου είδους μύλοι χρησιμοποιούνται για την άλεση σωματιδίων σε εύρος 1-10 μm σε κρυσταλλική

ή εύθρυπτη μορφή (Sanguansri & Augustin, 2006). Τα βασικά πλεονεκτήματα αυτής της τεχνικής άλεσης είναι ότι επιτυγχάνει μικρά μεγέθη σωματιδίων με ταυτόχρονα μικρό εύρος μέσης κοκκομετρίας. Επιπρόσθετα, επειδή η μείωση του μεγέθους είναι αποτέλεσμα των συγκρούσεων μεταξύ των σωματιδίων, δεν παράγεται θερμότητα.

Εφαρμόζοντας αυτή την τεχνολογία άλεσης παράγονται αλέσματα με βελτιωμένες λειτουργικές ιδιότητες ή καλύτερη ενσωμάτωση με άλλα άλευρα σε μίγματα αλλά και αυξημένης βιοδιαθεσιμότητας συστατικών που περιέχουν (ίνες, ιχνοστοιχεία, βιταμίνες). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων.

Σύμφωνα με τους Tuunila & Nystrom (1998) ο ρυθμός τροφοδοσίας του προϊόντος και ο ρυθμός τροφοδοσίας του αέρα είναι οι πιο σημαντικές παράμετροι στη λειτουργία ενός μύλου με πεπιεσμένο αέρα. Πιο συγκεκριμένα, έχει παρατηρηθεί ότι το μέσο μέγεθος των παραγόμενων σωματιδίων μειώνεται με αύξηση της ογκομετρικής παροχής του αέρα και με μείωση του ρυθμού τροφοδοσίας του προϊόντος (Katz 2007, Teng, 2009). Ο ρυθμός και η ταχύτητα με την οποία σπάνε τα σωματίδια είναι ανάλογη με την ταχύτητα του αέρα. Επομένως με την αύξησή της αυξάνεται και η ταχύτητα των σωματιδίων και ο ρυθμός που σπάνε.

Μία άλλη παράμετρος που επηρεάζει το τελικό μέγεθος των κόκκων είναι ο αριθμός περασμάτων από το μύλο καθώς επίσης και το αν προηγήθηκε προάλεση με άλλο τύπο μύλου. Χαρακτηριστική είναι η μείωση από  $d:300 \mu\text{m}$  σε  $d: 10 \mu\text{m}$  (median size) που παρατηρήθηκε στην κοκκομετρία σε αλάτι όταν το προϊόν αλέστηκε 2 φορές (Katz & Kalman, 2007). Αναφορικά με την προάλεση, η μετατροπή της ενέργειας ροής του αέρα σε κινητική ενέργεια των σωματιδίων είναι μεγαλύτερη όταν υπάρχουν μικρότερα σωματίδια σε μεγαλύτερη συγκέντρωση. Άρα με δεδομένο την εξοικονόμηση ενέργειας θα μπορούσε να προηγείται προάλεση π.χ. σε σφυρόμυλο (Eskin, 2001).

### **1.5.2 Εφαρμογές άλεσης με πεπιεσμένο αέρα**

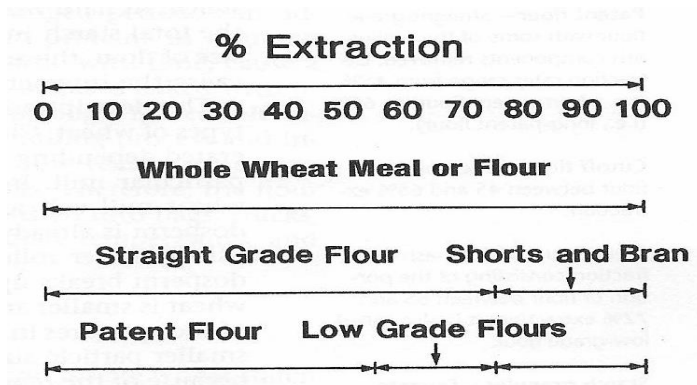
Η επιστήμη των υλικών τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιεί την άλεση με πεπιεσμένο αέρα με σκοπό την παραγωγή προϊόντων σε νανοκλίμακα, όπως και τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων που μπορεί να έχουν τα κεραμικά ή κράματα.

Έτσι η άλεση με πεπιεσμένο αέρα εφαρμόζεται σε τρόφιμα και ιδιαίτερα στα συστατικά τροφίμων ή σε συστατικά για φαρμακευτικές χρήσεις. Επίσης, υπάρχουν και κάποιες πατέντες της χρήσης της σε άλευρα (π.χ. EP0459551, US5336517).

Στην περίπτωση που το αλεύρι παράγεται από σιτάρι η άλεση με πεπιεσμένο αέρα είναι πολύ αποδοτική και επιτυγχάνει σε υψηλό βαθμό το διαχωρισμό του αμύλου από τα υπόλοιπα συστατικά του αλευριού (Letang 2002). Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται και για την παραλαβή αλεύρου από ρύζι αλλά με μέγεθος κόκκων μικρότερο από 10μm. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και για τη μείωση του μεγέθους των διαιτητικών ινών (Chau 2006). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη παραγωγή σκευασμάτων χαμηλής κοκκομετρίας με βελτιωμένα χαρακτηριστικά και πιο πολλές εφαρμογές. Έτσι ταυτόχρονα αυξάνεται το ποσοστό των διαλυτών αραβινοξυλανών από 5% που ήταν στο πίτυρο σε μεγαλύτερο από 60% στο αλεύρι που έχει υποστεί την εκτενή άλεση (Van Craeyveld 2009). Επομένως, η χρήση μύλου με πεπιεσμένο αέρα σε προαλεσμένα αδρόκοκκα κλάσματα, πλούσια σε διαλυτές διαιτητικές ίνες (β-γλυκάνες και αραβινοξυλάνες), εκτός από το ότι προστατεύει τα θερμοευαίσθητα συστατικά του αλεύρου, όπως τις βιταμίνες, θα μπορούσε με τη σημαντική μείωση του μεγέθους σωματιδίων να οδηγήσει σε αύξηση της περιεκτικότητας σε διαλυτές διαιτητικές ίνες και έτσι να υποβοηθήσει και ενισχύσει τη βιολειτουργική τους δράση. Τα παραγόμενα λεπτοαλεσμένα άλευρα όταν ενσωματωθούν σε αρτοσκευάσματα δημιουργούν έναν επιτυχή σχεδιασμό καθώς και παραγωγή προϊόντων τόσο με βελτιωμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (καλές ιδιότητες υφής, γεύση, άρωμα, διατηρησιμότητα) όσο και με ευεργετικά οφέλη για την υγεία. Πέραν τούτου η επιθυμητή μείωση των σωματιδίων των αλεύρων με τη χρήση μύλου με πεπιεσμένο αέρα πραγματοποιείται σε συντομότερους χρόνους και επομένως καταναλώνεται λιγότερη ενέργεια σε σχέση με τις παρατεταμένες διεργασίες άλεσης που απαιτούνται, όταν χρησιμοποιούνται συμβατικές μέθοδοι άλεσης, όπως ο σφαιρόμυλος.

### **1.5.3 Βαθμός άλεσης**

Ο βαθμός άλεσης από τον οποίο προκύπτουν και οι διάφοροι τύποι αλεύρων εκφράζει το ποσό του αλεύρου που παράχθηκε ως ποσοστό επί της συνολικής ποσότητας του αρχικού σιταριού. Ο συνολικός βαθμός άλεσης του σιταριού σε αλεύρι είναι 100%, γιατί μπορεί να μετατραπεί όλη η ποσότητα του σε άλευρο.



**Εικόνα 7:** Βαθμός Άλεσης σε διάφορους τύπους αλεύρων (Hoseney, 1998).

#### A. Βαθμός άλεσης από 65% -45%

Ο βαθμός άλεσης κυμαίνεται από 65% για το μακρύ πατενταρισμένο αλεύρι (long-patent flour) έως 45% για το σύντομο πατενταρισμένο άλευρο (short-patent flour) το οποίο προέρχεται κυρίως από το ενδοσπέρμιο και έχει τα χαμηλότερα ποσοστά τέφρας. Το άλευρο που παράγεται μεταξύ του 45% (short-patent flour) και του 65% (long-patent flour), ονομάζεται cut-off flour.

#### B. Βαθμός άλεσης 65%-72%

Το υπόλοιπο 7% , μεταξύ του long-patent (65%) και του straight-grade flour (72%), είναι ένα αλεύρι το οποίο ονομάζεται low-grade flour (ή clear flour). Αυτό το αλεύρι, το οποίο προέρχεται από την ουρά της παραγωγικής διαδικασίας (τελευταία βήματα λείανσης) του σπασίματος (breaking system) και της μείωσης του μεγέθους (reduction system), έχει υψηλά ποσοστά τέφρας και σκούρο χρώμα.

Το αλεύρι που παράγεται από τους αρχικούς κυλινδρόμυλους στο σπάσιμο (Breaking system) και αυτό που παράγεται από τους κυλινδρόμυλους μείωσης μεγέθους (reducing system), μπορούν να συνδυαστούν με αρκετούς τρόπους, προκειμένου να δημιουργήσουν διαφορετικούς τύπους αλεύρων. Ένας από αυτούς είναι το Bakers patent flour με βαθμό άλεσης έως και 97%.

Ως συμπέρασμα θα λέγαμε ότι ο βαθμός άλεσης μας δείχνει την καθαρότητα του ενδοσπερμίου στο αλεύρι ή καλύτερα την έλλειψη μη ενδοσπερμικών συστατικών. Όσο αυξάνεται ο βαθμός άλεσης, τόσο περισσότερο πίτυρο και φύτρο έχουμε στο αλεύρι. Κατά συνέπεια αυξάνεται και η περιεχόμενη τέφρα, το λίπος, το σκούρο χρώμα, οι ινώδεις ουσίες (κυτταρίνες) , γιατί εκεί συναντούμε κυρίως αυτά τα συστατικά, αλλά έχουμε και αύξηση της

περιεχόμενης πρωτεΐνης, λόγω της μεγαλύτερης συμμετοχής της αλευρώνης του περιβλήματος (πίτυρου) το οποίο έχει ένζυμα δηλαδή πρωτεΐνες. Στον πίνακα 2 παρουσιάζεται η αλλαγή της σύστασης κατά την μετατροπή του σπόρου του σιταριού σε αλεύρι.

Η σύσταση του αλεύρου (εκτός από το βαθμό άλεσης) κατά την διαδικασία της άλεσης, επηρεάζεται και από το τελικό μέγεθος των κόκκων του αλεύρου (κοκκομετρία). Τα περισσότερα άλευρα κοσκινίζονται, στο τελικό τους στάδιο παραγωγής, με τη χρήση ενός 10XX πάνινου κόσκινου όπου το άνοιγμα των πόρων του είναι 136 $\mu\text{m}$ . Κατά συνέπεια ,το αλεύρι αποτελείται από ένα εύρος σωματιδίων, με μέγεθος από πολύ μικρό (< $\mu\text{m}$ ) έως περίπου 136 $\mu\text{m}$ .

Το αλεύρι αποτελείται κυρίως από πρωτεΐνες και άμυλο. Τα μικρότερα τεμάχια αποτελούνται από τμήματα πρωτεΐνης του ενδοσπερμίου ή από μικρούς κόκκους αμύλου με προσκολλημένη πρωτεΐνη. Επομένως τα μικρότερα τεμάχια τείνουν να έχουν πιο ψηλά ποσοστά πρωτεΐνης. Καθώς το μέγεθος των τεμαχίων αυξάνει , ένα μεγαλύτερο ποσοστό των τεμαχίων είναι ελεύθερα από κόκκους αμύλου και το ποσοστό της πρωτεΐνης χαμηλότερο, μέχρι που φτάνουμε στην τυπική σύσταση του κοινού αλεύρου.

**Πίνακας 2:** Αλλαγή στην σύσταση από σιτάρι σε αλεύρι (Carl Hosenev, 1998).

<b>Συστατικά</b>	<b>Σιτάρι</b>	<b>Αλεύρι 70% Βαθμού άλεσης</b>
Τέφρα, %	1,55	0,4
Φυτικές ίνες %	2,17	Σε ίχνη
Πρωτεΐνες %	13,9	12,9
Φυτικά έλαια %	2,52	1,17
Άμυλο %	63,7	70,9
Θειαμίνη, mg/g	3,73	0,70
Ριβοφλαβίνη, mg/g	1,70	0,70
Νιασίνη, mg/g	55,6	8,50
Σίδηρος, mg/g	3,08	1,42
Νάτριο, mg/g	3,2	2,2
Κάλιο, mg/g	316	83
Ασβέστιο, mg/g	27,9	12,9
Μαγνήσιο, mg/g	143,0	27,2
Χαλκός, mg/g	0,61	0,18
Ψευδάργυρος, mg/g	3,77	1,17
Ολικός φώσφορος,mg/g	350	98
Φυτικός φώσφορος,mg/g	345	30,4
Χλώριο, mg/g	39,0	48,4

Συνοψίζοντας, διαχωρίζοντας το άλευρο σε κλάσεις, βάσει του μεγέθους σωματιδίων (κοκκομετρία) κάτω από αυτό που επιτυγχάνεται με τα κλασικά κόσκινα , μπορούμε να αποκτήσουμε υποσύνολα του αλεύρου με πιο υψηλά ποσοστά πρωτεΐνης και αμύλου (για σωματίδια μεγέθους <17μm), χαμηλότερης πρωτεΐνης με ύπαρξη αμύλου ελαφρώς μειωμένου σε σχέση με το προηγούμενο (για σωματίδια μεγέθους 17-35μm) και ίσης πρωτεΐνης και αμύλου (40-80μm) σε σχέση με τα επίπεδα πρωτεΐνης και αμύλου του κοινού αλεύρου.

Το κλάσμα με την υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη χρησιμοποιείται κυρίως σε ανάμειξη με άλλα άλευρα (χαμηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη) για να τους αυξήσει την περιεκτικότητα στο εν λόγω συστατικό, έτσι ώστε να προκύψουν άλευρα κατάλληλα για αρτοποιία. Το κλάσμα με την μέτρια περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη χρησιμοποιείται σε άλευρα για την παρασκευή μπισκότων, κουλουριών και κέικ. Η κλάση με τα μεγαλύτερα τεμάχια χρησιμοποιείται όπως και το κοινό αλεύρι.

## 1.6 Πρόσθετα αλεύρων σίτου

Στο αλεύρι που παράγεται από το σιτάρι και χρησιμοποιείται για την παρασκευή προϊόντων αρτοποιίας και ζαχαροπλαστικής επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται πρόσθετες ουσίες που χαρακτηρίζονται ως "βελτιωτικά αλεύρων". Αυτές είναι ουσίες των οποίων η χρήση αποσκοπεί στο να αποκτήσουν τα άλευρα τις κατάλληλες τεχνολογικές ιδιότητες, που επιτρέπουν τη βελτίωση της παραγωγής και των οργανοληπτικών χαρακτήρων των τελικών προϊόντων. Ως τέτοιες ουσίες θεωρούνται και επιτρέπονται οι εξής:

- L-ασκορβικό οξύ (E 300): μέγιστο ποσοστό χρήσης 0,30/1000 στο αλεύρι. Δεν επιτρέπεται να δηλώνεται ως βιταμίνη C.
- Κιτρικό οξύ (E 330) ή Τρυγικό οξύ (E 334): μέγιστο ποσοστό χρήσης, 1/1000 στο αλεύρι.
- Λεκιθίνη (E 322): μέγιστο ποσοστό χρήσης 2/1000 {στο ΦΕΚ δύο τοις χιλίοις} στο αλεύρι.
- Κυστεΐνη E 920: Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνον ως παράγων επεξεργασίας του αλεύρου.
- Ορθοφωσφορικό μονοασβέστιο (E341 i): μέγιστο ποσοστό χρήσης 2,5/1000 στο αλεύρι

Υπάρχουν όμως και ουσίες που δεν θεωρούνται πρόσθετα αλεύρων, παρόλα αυτά όμως η χρησιμοποίησή τους συντελεί στη βελτίωση των ιδιοτήτων τους. Όπως για παράδειγμα οι πιο κάτω:

- α) Γλουτένη εξαιρετικής ποιότητας. Χρησιμοποιείται σε ποσότητες που καθορίζονται από την καλή παραγωγική πρακτική.
- β) Βυνάλευρα (διαστατική βύνη) και εκχυλίσματα βυναλεύρων, σε σκόνη ή σιρόπια. Χρησιμοποιούνται σε ποσότητες που καθορίζονται από την καλή παραγωγική πρακτική.
- γ) Άλευρο βρώσιμου λαθουριού (φάβας): μέγιστο ποσοστό χρήσης 2% στο αλεύρι.

Στο αλεύρι που χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή προϊόντων ζαχαροπλαστικής (κέικ, βουτήματα, διάφορα γλυκά κ.ά.) επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται οι παρακάτω χημικές ουσίες οι οποίες επιτυγχάνουν τη χημική διόγκωση των αλεύρων.

- α) Χημικές ουσίες βασικού χαρακτήρα που παρέχουν  $\text{CO}_2$  ή  $\text{NH}_3$



- Όξινο ανθρακικό νάτριο (σόδα αρτοποιίας)  $\text{NaHCO}_3$

- Όξινο ανθρακικό αμμώνιο,  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  - ανθρακικό αμμώνιο  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$

Οι παραπάνω χημικές ουσίες πρέπει να είναι φαρμακευτικής καθαρότητας.

## β) Μίγματα διογκωτικών ουσιών (BAKING POWDERS)

Η παραγωγή και η διάθεση στην κατανάλωση κατάλληλων μιγμάτων σε σκόνη, όξινου ανθρακικού νατρίου ( $\text{NaHCO}_3$ ) με τις παρακάτω χημικές ουσίες όξινου χαρακτήρα, μαζί και με αδρανή συστατικά (αραιωτικά), όπως αλεύρα, άμυλα, γαλακτικό ασβέστιο και ανθρακικό ασβέστιο είναι επιτρεπτή. Τέτοιες χημικές ουσίες λοιπόν που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα μίγματα υποβοηθώντας τη διόγκωση είναι:

- Τρυγικό οξύ (E344)

- Όξινο τρυγικό κάλιο (κρεμόριο ή κρεμοτάρταρο (E 336 ι))

- Φωσφορικά άλατα E 339, E 340, E 341, E 343, E 450, E 451, E 452 του παραρτήματος IV του άρθρου 33 του Κώδικα Τροφίμων και προσθήκη των αριθμών E 327 στο γαλακτικό ασβέστιο και E 170 στο ανθρακικό ασβέστιο.

## 2. Μεμβράνες

Τη σημερινή εποχή τα συμβατικά πλαστικά προέρχονται από το πετρέλαιο, με αποτέλεσμα να μην είναι εύκολα βιοδιασπώμενα, ωστόσο, η χρήση αυτών των πλαστικών αυξάνεται συνεχώς. Σήμερα φαίνεται ότι δεν είναι πρακτικό να χρησιμοποιηθούν συνθετικά πολυμερή για ορισμένες εφαρμογές, όπως τσάντες και συσκευασίες τροφίμων, δεδομένου ότι αυτά τα πολυμερή περιέχουν πολλά οργανικά υπολείμματα και έχουν λιγότερο χρόνο ζωής. Η ποσότητα των υλικών συσκευασίας έχει αυξηθεί κατά 8% ετησίως. Λιγότερο από το 5% όλων των πλαστικών ανακυκλώνονται, γεγονός που οδηγεί σε μια υψηλή συγκέντρωση πλαστικών στο περιβάλλον (Tavassoli-Kafrani et al., 2016).

Η αύξηση των μη-βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων υλικών και η δυσκολία στην ανακύκλωση του μεγαλύτερου μέρους μιας συνθετικής συσκευασίας πιέζει την έρευνα προς νέες πρακτικές που θα βελτιώνουν την παραγωγικότητά τους και θα διασφαλίζουν ασφαλή και φρέσκα τρόφιμα (Pérez Espitia et al., 2014). Η παγκόσμια αγορά τα τελευταία χρόνια αναζητά όλο και περισσότερο φυσικά προϊόντα τα οποία να είναι ασφαλή και ταυτόχρονα υψηλής ποιότητας. Αυτός είναι ο λόγος που πολλοί ερευνητές εστίαστηκαν στην αναγκαιότητα ύπαρξης νέων βιοδιασπώμενων υλικών που είναι κατάλληλα για συσκευασία

(Davis et al., 2006; Marsh, 2007) και που παράγονται από ανανεώσιμες πηγές, όπως τα φυτά, ζώα και τα μικρόβια μέσω βιοχημικών αντιδράσεων.

Σε αυτό το πλαίσιο, η ανάπτυξη βρώσιμων μεμβρανών παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον γιατί πέραν των θεμάτων του περιβάλλοντος (Cao et al. 2002, Krochta et al, 1997), μπορούν να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των μεταποιημένων τροφίμων καθώς αποτελούν εμπόδιο για την υγρασία, τα αέρια κá. Επίσης, συμβάλλουν στην προστασία των λιπιδίων (Jang et al., 2011 Lucera et al., 2009). Διάφορα φυσικά πολυμερή όπως πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες και λιπίδια έχουν πιθανή εφαρμογή στην παραγωγή φιλικής προς το περιβάλλον συσκευασίας (Chandra et al., 1998, Krochta et al., 1997). Ξεκινώντας από τους πολυσακχαρίτες, μεγάλες εφαρμογές βρίσκει το άμυλο, λόγω του χαμηλού κόστους και της αφθονίας του στη φύση. Αρκετές μελέτες έχουν γίνει σχετικά με τη χρήση αμύλου από διάφορες πηγές για την παρασκευή μεμβρανών με διαφορετικές ιδιότητες και έχουν δείξει ότι οι υδατάνθρακες είναι πολύ υποσχόμενα υλικά (Zaritzky et al., 2004; Müller et al., 2008). Με βάση τις πρωτεΐνες, έχουν παρασκευαστεί μεμβράνες από πρωτεΐνες γάλακτος, πρωτεΐνες σπόρων φυτών, και ζελατίνη (Jang et al., 2011), αλλά η χρήση τους είναι περιορισμένη λόγω των κακών μηχανικών ιδιοτήτων τους ή του υψηλού κόστους τους (Cao 2007, Jang 2011) . Ένα τυπικό υλικό για μεμβράνη είναι η πρωτεΐνη ζελατίνη επειδή είναι θερμο-αναστρέψιμη κοντά στη θερμοκρασία του σώματος (Ratchet 1995). Οι μεμβράνες αυτές έχουν σχετικά καλές φυσικές ιδιότητες, αλλά το κόστος του είναι υψηλότερο από εκείνο των πλαστικών μεμβρανών (Cao et al., 2007). Ωστόσο, λίγες μελέτες σχετικά με τη χρησιμοποίηση των αλεύρων ως πρώτη ύλη για την παραγωγή μεμβρανών έχουν διεξαχθεί κατά την τελευταία δεκαετία.

Μέχρι σήμερα όμως έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως αλεύρι το οποίο προέρχεται από αμάρανθο (Tinoco-Pérez, 2007), μπανάνα (Franciele Maria Pelissari 2013), ρύζι (Amanda B. Dias et 2011). Πολύ λίγες μελέτες έγιναν για μεμβράνες που προέρχονται από πιο κοινά άλευρα όπως η σίκαλη, το καλαμπόκι και σιτάρι (Andrea Carolina Valderrama Solano, 2014).

## 2.1 Εδώδιμες μεμβράνες

Οι μεμβράνες αυτές αποτελούνται από ένα πολύ λεπτό στρώμα το οποίο τοποθετείται απευθείας στο τρόφιμο είτε με ψεκασμό, είτε με επάλειψη είτε με εμφάνιση και θεωρείται μέρος του τελικού προϊόντος (Sanchez-Ortega et al., 2014). Αυτό προέκυψε από κάποια τρόφιμα όπως τα φρούτα και τα λαχανικά που διαθέτουν φυσικές μεμβράνες.

(Αρβανιτογιάννης & Στρατάκος, 2011).

Μια ιδανική εδώδιμη μεμβράνη σχηματίζει ένα λεπτό στρώμα στην επιφάνεια του τροφίμου και παρέχει έναν αποτελεσματικό φραγμό στο νερό, στους ατμούς, στην υγρασία ή/και στη θερμοκρασία (Tavassoli-Kafrani et al., 2016). Αποτελούν εναλλακτική μέθοδος για την παράταση της διάρκειας ζωής των τροφίμων, δρώντας ως εμπόδιο διείσδυσης νερού, ατμού, οξυγόνου, διοξειδίου του άνθρακα, αρωματικών ενώσεων κλπ, αλλά και την δράση των αλλοιογόνων μικροοργανισμών. (Sanchez-Ortega et al., 2014).

Οι εδώδιμες μεμβράνες είναι φιλικές προς το περιβάλλον, δεδομένου ότι αποικοδομούνται εύκολα σε σύγκριση με τα κοινά συνθετικά πλαστικά. Οι ιδιότητες αυτών των βιοπολυμερών μπορούν να τροποποιηθούν με την προσθήκη πλαστικοποιητών, χρωστικών ουσιών με σκοπό τη βελτίωση των ιδιοτήτων τους (Gutierrez et al., 2016). Στις εδώδιμες μεμβράνες μπορούν να προστεθούν και διάφορα άλλα συστατικά, όπως αντιμικροβιακές, αντιοξειδωτικές, αρωματικές ουσίες, θρεπτικά συστατικά, μπαχαρικά, γαλακτωματοποιητές και πλαστικοποιητές (Tavassoli-Kafrani et al., 2016).

Η χρήση εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων ως φορείς δραστικών συστατικών είναι ελπιδοφόρα τεχνική. Πρέπει όμως να πληρούν κάποιες ειδικές απαιτήσεις όπως είναι τα καλά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, οι καλές μηχανικές ιδιότητες, βιοχημική, φυσικοχημική και μικροβιακή σταθερότητα, ασφάλεια, απλή τεχνολογία και χαμηλό κόστος πρώτων υλών και επεξεργασίας (Salgado et al., 2015).

Μερικά από τα πιο βασικά πλεονεκτήματα των εδώδιμων μεμβρανών στα τρόφιμα είναι:

- βιοδιασπασιμότητα,
- εδωδιμότητα,
- βιοσυμβατότητα,
- καλή εμφάνιση,
- αποτελούν εμπόδιο αλληλεπίδρασης με το εξωτερικό περιβάλλον (Kerry et al, 2006).

Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι πλαστικοποιητές για μεμβράνες από πρωτεΐνες είναι η γλυκερόλη, η αιθυλενογλυκόλη, και η σορβιτόλη. Οι πλαστικοποιητές, έχουν διαφορετικούς αριθμούς και θέσεις στις ομάδες υδροξυλίου, και έτσι επηρεάζουν τις τελικές ιδιότητες των μεμβρανών. Μεταξύ των διαφόρων πλαστικοποιητών, την καλύτερη συμπεριφορά έχει η γλυκερόλη. Είναι αποτελεσματική και χρησιμοποιείται ευρέως για να ενισχυθεί η ευκαμψία των πρωτεϊνικών μεμβρανών (Haesung Yuna, et al 2016). Η γλυκερόλη περιέχει υδρόφιλες ομάδες, με τις οποίες τα μόρια του νερού αλληλεπιδρούν με

τα μακρομόρια μέσω δεσμών υδρογόνου, με αποτέλεσμα την απορρόφηση υγρασίας (Rivero et al, 2015). Η αναλογία πλαστικοποιητή και η χημική φύση του επηρεάζει έντονα τις φυσικές ιδιότητες του αμύλου επηρεάζοντας έτσι τις τελικές ιδιότητες των μεμβρανών (Saiah, et al., 2009).

Για καλύτερες μηχανικές ιδιότητες πρόσθεσαν στις μεμβράνες κυτταρίνη. Επίσης μπορεί να προστεθούν φυτικές ίνες από πράσινη καρύδα (Lomeli-Ramirez et. al 2014). Για καλύτερα αποτελέσματα και καλύτερες ιδιότητες γίνεται συνδυασμός με άλλα συστατικά όπως πλαστικοποιητές και πρόσθετα. Η χρήση πλαστικοποιητών όπως γλυκερίνη, γλυκόλη, σορβιτόλη, κλπ στις μεμβράνες ή σε σύνθετα υλικά μπορεί να προσδώσει ευκαμψία και ευελιξία, η οποία βελτιώνει τον χειρισμό (Garcia, 2000). Τα βιοπολυμερή ως υλικά συσκευασίας μπορεί να χρησιμοποιηθούν:

1. ως υλικά συσκευασίας μιας χρήσης,
2. στην παραγωγή πιάτων, ποτηριών, δοχείων, κουτιών αυγών, κλπ,
3. στην παραγωγή μίας χρήσης χαρτοπετσέτες
4. στην επίστρωση πλαστικοποίησης, και
5. για την παραγωγή τσαντών για τα γεωργικά προϊόντα ή ως προστατευτικό στρώμα

Συνήθως για την παρασκευή των βιοαποικοδομήσιμων μεμβρανών χρησιμοποιούνται δύο τύποι βιομορίων, τα υδροκολλοειδή και τα λιπίδια. Μεμονωμένα στερούνται δομική ακεραιότητα και χαρακτηριστικής λειτουργικότητας. Για παράδειγμα, τα υδροκολλοειδή, είναι υδρόφιλα και έτσι δεν μπορούν να αποτελέσουν καθόλου καλό εμπόδιο για την υγρασία και έτσι αυτό αντισταθμίζεται με την προσθήκη λιπιδίων, τα οποία αποτελούν πολύ καλό φράγμα υγρασίας. Οι σύνθετες μεμβράνες είναι στην πραγματικότητα ένα μίγμα αυτών και άλλων συστατικών σε διάφορες αναλογίες, που καθορίζουν τις ιδιότητες τους στο περιορισμό της διαπερατότητας της μεμβράνης σε αέρια και υδρατμούς (σε H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> και άρωματικές ενώσεις) αλλά και σε μηχανικές ιδιότητες.

Μερικές φορές ένα σύνθετο φιλμ μπορεί να είναι εξατομικευμένο για να ταιριάζει στις ανάγκες ενός συγκεκριμένου εμπορεύματος ή γεωργικού προϊόντος. Για παράδειγμα, τα πορτοκάλια έχουν μια παχιά φλούδα και είναι επιρρεπείς σε αναερόβιες συνθήκες, οι οποίες οδηγούν σε μια νωρίς γήρανση και αλλοίωση εάν το σύνθετο φιλμ είναι πλούσιο σε λιπίδια. Οι βιοαποικοδομήσιμες μεμβράνες που χρησιμοποιούνται για συσκευασία γενικά παρασκευάζονται με υγρή χύτευση του υδατικού διαλύματος σε ένα κατάλληλο υλικό βάσης

και αργότερα ξήρανση. Η επιλογή του υλικού είναι σημαντική για την παρασκευή μεμβρανών οι οποίες πρέπει αφαιρούνται εύκολα χωρίς να σχίζονται. Η χρήση υπέρυθρων θαλάμων ξήρανσης αποτελεί πλεονέκτημα για το λόγο ότι επιταχύνουν τη διαδικασία ξήρανσης (Tharanathan, 2002). Η περιεκτικότητα σε υγρασία που είναι επιθυμητή στις μεμβράνες είναι περίπου 5-8%.

### **3 Χρωματόμετρο (Chroma Meter)**

Με βάση την αρχή της ισοδύναμης διέγερσης των R, G και B δημιουργήθηκαν τα διάφορα όργανα μέτρησης των χρωμάτων, τα οποία φυσικά βελτιώνονται με το χρόνο ή οδηγούν στη δημιουργία διαφορετικών και περισσότερο εξελιγμένων οργάνων μέτρησης, με αρχή τα τριχρωματικά χρωματόμετρα ή χρωματόμετρα τριπλής διέγερσης (Tristimulus Colormeter).

Τα νεότερα και βελτιωμένα όργανα παίρνουν τις απορροφήσεις σε συγκεκριμένα μήκη κύματος δίνοντας αποτελέσματα των χρωματικών παραγόντων ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο χρωματικό μοντέλο π.χ CIE Lab. Με τα όργανα αυτά είναι δυνατή η μέτρηση μιας απόχρωσης άρα και των διαφόρων αποχρώσεων. Παρόλο ότι οι αισθητήρες των χρωματομέτρων με την βοήθεια ειδικών φίλτρων προσομοιάζουν την λειτουργία του ανθρώπινου οφθαλμού οι μετρήσεις γίνονται με προκαθορισμένη φωτεινή πηγή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι συνθήκες αξιολόγησης του χρώματος να είναι πάντα οι ίδιες ανεξάρτητα με τις εξωτερικές συνθήκες (νύχτα ή μέρα, εσωτερικός ή εξωτερικός χώρος). Η χρωματομετρική αυτή μέθοδος αξιολογεί πολύ μικρές μόνο επιφάνειες των προϊόντων (διαμέτρου 8mm) κάθε φορά, με αποτέλεσμα η αξιοπιστία της να είναι συνάρτηση της πυκνότητας των λαμβανομένων χρωματομετρικών μετρήσεων, που τελικά οδηγούν σε αδιέξοδο χρονοεργασιακό.

Η λειτουργία των οργάνων αυτών βασίζεται στην τριχρωματική ευαισθησία που παρουσιάζει το ανθρώπινο μάτι να συλλάβει το χρώμα με τρεις φωτοευαίσθητες ουσίες που αντιστοιχούν στα τρία βασικά χρώματα: κόκκινο, πράσινο και μπλε (RGB). Είναι γνωστό ότι από τα τρία αυτά χρώματα είναι δυνατό να παραχθούν κάτω από ορισμένες αναλογίες όλα τα χρώματα. Τα χρωματόμετρα εκπέμπουν ακτινοβολία από μια πηγή (xenon) και το ανακλώμενο φως από την επιφάνεια του δείγματος διέρχεται από τρία φίλτρα, κόκκινο, πράσινο και μπλε. Το διερχόμενο φως αναλύεται με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, συγκρίνεται με ορισμένα standards και το χρώμα δίνεται με τις τιμές X, Y και Z, όπου X αντιστοιχεί στο κίτρινο-πορτοκαλί, Y στο πράσινο και Z στο μπλε. Το χρώμα επίσης δίνεται σε τιμές  $L^*$ ,  $a^*$  και  $b^*$ . Η τιμή  $L^*$  χαρακτηρίζει τη φωτεινότητα ή καθαρότητα του χρώματος

σε κλίμακα 0-100 όπου το 100 αντιστοιχεί στη μέγιστη φωτεινότητα (ελάχιστη καραμελοποίηση). Η τιμή  $a^*$  μας χαρακτηρίζει τη διαβάθμιση χρώματος από πράσινο ( $-a^*$ ) έως κόκκινο ( $+a^*$ ). Η τιμή  $b^*$  χαρακτηρίζει τη διαβάθμιση από κίτρινο ( $+b^*$ ) σε μπλε ( $-b^*$ ).  
( Σφακιωτάκης,2004)

#### 4. Φασματοφωτόμετρο (Spectrophotometer)

Οι φασματοσκοπικές μέθοδοι χημικής ανάλυσης, χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την επίλυση διαφόρων χημικών προβλημάτων που σχετίζονται με τη δομή, την κινητική, την ταυτοποίηση, την ποσοτική ανάλυση διαφόρων ενώσεων.

Οι περισσότερες από τις φασματοφωτομετρικές μεθόδους βασίζονται στην επίδραση κατάλληλης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε μια ουσία, που δεσμεύεται από τα άτομα, ή τα μόρια της ύλης και προκαλεί ηλεκτρονιακές διεγέρσεις, διεγέρσεις πυρήνων, αλλαγές στην περιστροφή και τη δόνηση των μορίων. Στη συνέχεια τα άτομα και τα μόρια επιστρέφουν συνήθως στην αρχική τους κατάσταση, αφού αποβάλλουν το ποσό της ενέργειας που απορρόφησαν. Η καταγραφή της έντασης της απορρόφησης σε συνάρτηση με το μήκος κύματος, ή τη συχνότητα της ακτινοβολίας αποτελεί το φάσμα απορρόφησης, που είναι γραμμικό στα άτομα και ταινίες στα μόρια. Η απορρόφηση της ακτινοβολίας στην υπεριώδη περιοχή (ενέργεια περίπου 100 Kcal/mole) προκαλεί μεταβολές ηλεκτρονιακές, δόνησης και περιστροφής. Ο διαχωρισμός των ηλεκτρονιακών και των γειτονικών ταινιών δόνησης και περιστροφής δεν είναι δυνατός, το τελικό αποτέλεσμα είναι η λήψη ευρείων κορυφών. Στο υπεριώδες διακρίνουμε δύο περιοχές: α) το εγγύς υπεριώδες (400 με 190 nm) και β) το άπω υπεριώδες (190 με 100 nm). Η συνήθης οργανολογία περιορίζεται στο εγγύς υπεριώδες, διότι η απορρόφηση κάτω από τα 190 nm α) από το διοξείδιο του πυριτίου (χαλαζία), υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένες τα οπτικά εξαρτήματα (κυψελίδες) και β) από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, δεν επιτρέπει μετρήσεις στο άπω υπεριώδες.

Για να πραγματοποιηθεί απορρόφηση ακτινοβολίας, τα φωτόνια που προσκρούουν στο δείγμα πρέπει να έχουν ενέργεια ίση με αυτή που χρειάζεται για να προκληθεί μια κβαντισμένη ενεργειακή μεταβολή.

Οι ποσοτικές μετρήσεις που δίνει η φασματοφωτομετρία UV-VIS στηρίζεται στο ότι η απορρόφηση της ακτινοβολίας εξαρτάται από την ποσότητα της ουσίας που απορροφά την ακτινοβολία. Η ποσοτική σχέση δίνεται από το νόμο Beer-Lambert που ισχύει όταν: 1) η προσπίπτουσα ακτινοβολία είναι μονοχρωματική 2) Τα χημικά είδη που απορροφούν δρουν

ανεξάρτητα στη διαδικασία απορρόφησης 3) η απορρόφηση συμβαίνει σ' έναν όγκο ομοιόμορφης διατομής 4) η ενεργειακή υποβάθμιση είναι γρήγορη (όχι φθορισμός). Γενικά ισχύει για αραιά διαλύματα.

## 5. Μηχανικές Ιδιότητες

Με τον όρο 'μηχανικές ιδιότητες' εννοείται η συμπεριφορά ενός υλικού όταν σε αυτό εφαρμόζεται κάποια δύναμη. Όταν η εφαρμογή της δύναμης αυτής οδηγήσει σε παραμόρφωση, τότε χαρακτηρίζονται ως ρεολογικές. Οι μηχανικές ιδιότητες συνδέονται άμεσα με την υφή και την οργανοληπτική εκτίμησή της ,που περιλαμβάνει μεγάλες καταπονήσεις, καθώς και με τη συμπεριφορά των υλικών σε διάφορες διεργασίες, όπου οι καταπονήσεις είναι μεγάλες

Σκοπός, λοιπόν, των μηχανικών ιδιοτήτων είναι η αξιολόγηση της υφής των τροφίμων, δηλαδή του αθροίσματος των ιδιοτήτων οι οποίες προκύπτουν από τα δομικά στοιχεία και τον τρόπο με τον οποίο αυτά επιδρούν στα αισθητήρια όργανα, με χρήση αντικειμενικών κριτηρίων. Πιο συγκεκριμένα καταγράφεται η παραμόρφωση που υφίσταται ένα υλικό με την εξάσκηση κάποιας δύναμης.

Συνήθως για την αξιολόγηση των δειγμάτων χρησιμοποιείται το διάγραμμα δύναμης- παραμόρφωσης ή καλύτερα το διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης, όπου η τάση εννοείται η δύναμη ή η συνισταμένη δύναμη που δέχεται ένα υλικό ανά μονάδα επιφανείας του, ενώ η παραμόρφωση περιλαμβάνει τις αλλαγές μεγέθους ή σχήματος του δείγματος με την εξάσκηση κάποιας δύναμης. Η σχέση τάσης- παραμόρφωσης ποικίλει και εξαρτάται από τη φύση του υλικού (χημική σύσταση, δομή, σχήμα και μέγεθος κ.α.), από την πειραματική διαδικασία η οποία περιλαμβάνει το είδος της συσκευής μέτρησης, το είδος της παραμόρφωσης (κάθετη στο δείγμα, εφαπτόμενη σε αυτό), τον ρυθμό, την ταχύτητα και το ποσοστό παραμόρφωσης καθώς και από άλλους παράγοντες όπως συνθήκες περιβάλλοντος κλπ.

Για τον υπολογισμό των μηχανικών ιδιοτήτων χρησιμοποιούνται τρία διαφορετικά είδη δοκιμών:

- Οι βασικές δοκιμές, με τις οποίες γίνεται μέτρηση των θεμελιωδών μηχανικών ιδιοτήτων, όπως ο λόγος Poisson, ο δείκτης Ελαστικότητας (Young's modulus) κ.λ.π..
- Τα εμπειρικά πειράματα καλύπτουν διάφορα είδη πειραμάτων, όπως η διάτρηση και η διάτμηση.

- Τα πειράματα μίμησης, με τα οποία γίνεται μέσω μηχανημάτων προσπάθεια μίμησης της καταπόνησης των τροφίμων κατά τη μάσηση (πείραμα τύπου T.P.A.).

Τα γνωστότερα πειράματα αποτελούν τα πειράματα συμπίεσης, εφελκυσμού, διάτμησης, διάτρησης, τα πειράματα ανάπαυσης τάσης (stress relaxation), ερπυσμού (creep) και το πείραμα τύπου T.P.A..

Το Instron είναι ένα όργανο μέτρησης της αντοχής υλικών με παρουσίαση των πειραματικών μετρήσεων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και το οποίο ανήκει στην κατηγορία των οργάνων πολλαπλών μετρήσεων. Χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα υλικών με σκοπό τον έλεγχο της συμπεριφοράς τους ως προς την συμπίεση αλλά και την ανάπαυση, τη διάτρηση και τον εφελκυσμό.

## 6. Ιξώδες

Σε ένα ρευστό η διατμητική τάση  $\sigma$  είναι ανάλογη με το ρυθμό διάτμησης ( $\gamma$ ), δηλαδή αν διπλασιασθεί ο ρυθμός διατμήσεως  $\gamma$ , δηλαδή η ταχύτητα περιστροφής ενός κινούμενου μέρους μέσα σε ένα ρευστό, θα διπλασιαστεί αντίστοιχα και η αντίστοιχη διατμητική τάση. Ο συντελεστής αυτής αναλογίας ονομάζεται ιξώδες ή συντελεστής ιξώδους και ουσιαστικά είναι το μέτρο της αντιστάσεως ενός ρευστού στην κίνηση που του επιβάλλεται, φανερώνει δηλαδή την τάση ή τη δύναμη που απαιτείται για να υπάρξει ορισμένη μετατόπιση ή συγκεκριμένος ρυθμός διάτμησης. Το ιξώδες ( $\mu$ ) συνήθως χαρακτηρίζεται ως μέγεθος αντίστροφο του ποιοτικού μεγέθους της ρευστότητας ( $\mu=1/\rho$ ). Υψηλό ιξώδες και μικρή ρευστότητα παρουσιάζουν τα παχύρρευστα υγρά. Αντίθετα, τα λεπτόρρευστα υγρά έχουν μικρό ιξώδες και μεγάλη ρευστότητα. Αποτελεί δείκτη μέτρησης της εσωτερικής τριβής των μορίων του ρευστού ή της ικανότητάς του να αντιστέκεται στην παραμόρφωση. Επομένως ισχύει:  $\sigma = \mu \cdot \gamma$  Η ανωτέρω συμπεριφορά, δηλαδή η αναλογία διατμητικής τάσεως  $\sigma$  και ρυθμού διατμήσεως  $\gamma$  ονομάζεται Νευτώνεια συμπεριφορά και τα αντίστοιχα ρευστά ονομάζονται Νευτώνεια ή νευτωνικά, αποτελεί δε την απλούστερη ρεολογική συμπεριφορά. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις νευτώνιων ρευστών είναι ο αέρας, το νερό, το ελαιόλαδο και άλλοι τύποι ελαίων (π.χ. σογιέλαιο), αραιά διαλύματα απλών σακχάρων, το μέλι, το γάλα, ο ορός γάλακτος, κ.α. Ακόμη ισχύει και για αραιά διαλύματα κολλοειδών με ουσίες χαμηλού μοριακού βάρους.

Τα ιδανικά ή Νευτώνεια ρευστά είναι ασυμπίεστα και ισότροπα υλικά, έχουν δηλαδή τις ίδιες ιδιότητες προς κάθε κατεύθυνση της ύλης τους. Επίσης δεν έχουν ελαστικές ιδιότητες, δηλαδή αν κάποια δύναμη ασκηθεί στο ρευστό αυτό (π.χ. διατμητική τάση λόγω



ανάδευσης ή άντλησης) θα προκληθεί μόνιμη παραμόρφωση, δηλαδή ροή και δεν θα έχουμε επανάκτηση του αρχικού σχήματος με την απομάκρυνση της τάσης.

Υπάρχουν και τα μη Νευτώνεια υγρά. Εδώ συναντούμε τα ιδανικά πλαστικά, τα διασταλτικά, τα ψευδοπλαστικά και τα πραγματικά πλαστικά.

## II. Πειραματικό μέρος

### Σκοπός του πειράματος:

Η παρούσα μελέτη ασχολήθηκε με τη δημιουργία και τη μελέτη μεμβρανών από άλευρα. Οι παράμετροι που εξετάστηκαν ήταν (α) η βοτανική προέλευση του αλεύρου (π.χ. σίτος, σίκαλη), (β) η κοκκομετρία των αλεύρων, (γ) οι συνθήκες παρασκευής των μεμβρανών (π.χ. συγκέντρωση πλαστικοποιητή). Οι ιδιότητες που μελετήθηκαν ήταν το πάχος, η υγρασία, η διαλυτότητα, το χρώμα, η θολερότητα, το ιξώδες και οι μηχανικές τους ιδιότητες μέσω πειραμάτων μεγάλης παραμόρφωσης. Επίσης έγιναν και πειράματα SEM (ηλεκτρονικό μικροσκόπιο).

### 1.Υλικά και μέθοδοι

#### 1.1 Υλικά

Όσον αφορά στα άλευρα, χρησιμοποιήθηκαν άλευρα από σιτάρι και σίκαλη. Χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά αλέσματα σίκαλης που διέφεραν ως προς την κοκκομετρία τους (Πίνακας 3). Επίσης, μελετήθηκαν και μίγματα αλεύρων τα οποία προέκυψαν από μερική υποκατάσταση (50%) του αλεύρου σίτου από άλευρο σίκαλης

**Πίνακας 3:** Άλευρα που χρησιμοποιήθηκαν.

Δείγματα αλεύρου	Είδος Αλεύρου	Χαρακτηριστικά	Μέγεθος κόκκων
W	Σιτάρι	Συμβατικής άλεσης	173,87±1,17
R	Σίκαλη	Συμβατικής άλεσης	100,91 <sup>a</sup> ±2,39
R1	Σίκαλη	Μειωμένης κοκκομετρίας με ρυθμό τροφοδοσίας 4,2 kg/h	54,59 <sup>b</sup> ±0,16
R2	Σίκαλη	Μειωμένης κοκκομετρίας με ρυθμό τροφοδοσίας 1,33 kg/h	35,66 <sup>c</sup> ±0,56

\*: Τα διαφορετικά γράμματα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά (P<0.05).

Για την παρασκευή των μεμβρανών χρησιμοποιήθηκε γλυκερόλη, ως πλαστικοποιητής, και νερό.

## 1.2 Μέθοδοι

### 1.2.1 Παρασκευή Μεμβρανών

Παρασκευάστηκαν μεμβράνες με διαφορετική ποσότητα γλυκερόλης και διάφορους τύπους αλεύρων. Χρησιμοποιήθηκε άλευρο σίτου καθώς και τα άλευρα R, R1 και R2. Παρασκευάστηκαν για κάθε τύπο αλεύρου τρεις μεμβράνες που διέφεραν στην ποσότητα του πλαστικοποιητή. Πιο συγκεκριμένα, περιείχαν η πρώτη 0,5g γλυκερόλης η δεύτερη 0,7g και η τρίτη 1g ανά γραμμάριο αλεύρου. Για την παρασκευή τους, 5g ξηρού βάρους αλεύρου καθώς και η απαιτούμενη ποσότητα γλυκερόλης προστέθηκαν σε 100mL νερού και ακολούθησε ανάδευση για 10 λεπτά για να διαλυθεί το αλεύρι. Στη συνέχεια το μείγμα θερμάνθηκε για να φτάσει τους 90°C όπου και παρέμεινε για 10 λεπτά. Κατόπιν, το μίγμα μοιράστηκε σε τρυβλία με διάμετρο 9 cm (20g μείγματος σε κάθε τρυβλίο, 3 τρυβλία ανά μείγμα). Τα τρυβλία τοποθετήθηκαν σε φούρνο για 48 ώρες στους 30°C.

### 1.2.2 Προσδιορισμός Χρώματος

Ο προσδιορισμός του χρώματος των μεμβρανών έγινε με τη χρήση χρωματόμετρου χειρός. Ο προσδιορισμός του χρώματος δίνεται από τις παραμέτρους L, a ,b, όπου στο (+a) αντιστοιχεί το κόκκινο χρώμα, το πράσινο χρώμα στο (-a), το κίτρινο χρώμα στο (+b), το μπλε χρώμα στο (-b) και το L σχετίζεται με την φωτεινότητα του χρώματος.

Για την πραγματοποίηση μετρήσεων, απαιτείται η βαθμονόμηση του οργάνου η οποία γίνεται με τη χρήση λευκής πλάκας αναφοράς. Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για να υπολογιστεί η συνολική μεταβολή του χρώματος των μεμβρανών είναι ο παρακάτω (Ciannamea et al, 2014) :

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{0.5}. \quad (1)$$

### 1.2.3 Προσδιορισμός Πάχους

Ο προσδιορισμός του πάχους των μεμβρανών, πραγματοποιήθηκε με παχύμετρο σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Έγιναν πέντε μετρήσεις σε τυχαία σημεία της μεμβράνης. Οι μετρήσεις καταγράφηκαν και υπολογίστηκε ο μέσος όρος των μετρήσεων.

### 1.2.4 Προσδιορισμός Υγρασίας

Η μεμβράνη κόπηκε σε τετράγωνα κομμάτια με εμβαδό  $4\text{cm}^2$ . Τοποθετήθηκαν σε τρυβλίο με διάμετρο 9 cm. Ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας και καταγράφηκε το βάρος τους. Στη συνέχεια έγινε ξήρανση στους  $105^\circ\text{C}$  για 18 ώρες. Τα δείγματα ζυγίστηκαν ξανά σε ζυγό ακριβείας. Για τον υπολογισμό της υγρασίας της μεμβράνης χρησιμοποιήθηκε ο τύπος (Ciannamea et al, 2014):

$$\text{MC (\%)} = (m_i - m_d) * m_i^{-1} * 100 \quad (2)$$

Όπου: MC= υγρασία μεμβράνης

$m_i$ = βάρος μεμβράνης πριν την ξήρανση

$m_d$ = βάρος μεμβράνης μετά την ξήρανση

### 1.2.5 Προσδιορισμός διαλυτότητας

Η μεμβράνη κόπηκε σε τετράγωνα κομμάτια με εμβαδό  $4\text{cm}^2$ . Ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας, καταγράφηκε το βάρος τους και τοποθετήθηκαν σε 30 mL νερού για 24 ώρες. Στη συνέχεια έγινε ξήρανση στους  $105^\circ\text{C}$  για 18 ώρες. Τα δείγματα ζυγίστηκαν ξανά σε ζυγό ακριβείας. Για τον υπολογισμό της υγρασίας της μεμβράνης χρησιμοποιήθηκε ο τύπος (Pelissari et al, 2013):

$$\text{S(\%)} = (W_i - W_d) * W_i^{-1} * 100 \quad (3)$$

Όπου: S = διαλυτότητα μεμβράνης

$W_i$  = βάρος μεμβράνης πριν την ξήρανση

$W_d$  = βάρος μεμβράνης μετά την ξήρανση

### **1.2.6. Θολερότητα**

Η θολερότητα της μεμβράνης προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας φασματοφωτόμετρο (Gontard et al., 1994). Δείγμα μεμβράνης κόπηκε σε ένα ορθογώνιο και τοποθετήθηκε στην εσωτερική πλευρά κυψελίδας χαλαζία. Το φάσμα απορρόφησης (400-800 nm) καταγράφηκε τρεις φορές για κάθε δείγμα

### **1.2.7 Scanning electron microscopy (SEM)**

Έγινε παρατήρηση της επιφάνειας και της διατομής των μεμβρανών με SEM για την αξιολόγηση της μικροδομής τους. Οι μεμβράνες αφέθηκαν να ξηρανθούν σε ξηραντήρα με silica gel για 3 εβδομάδες. Τα δείγματα κόπηκαν σε μικρά τεμάχια με τη βοήθεια της λαβίδας, και ακολούθως επενδύθηκαν με ένα στρώμα από χρυσό, για βελτίωση της αγωγιμότητας. Τα επικαλυμμένα δείγματα παρατηρήθηκαν κάτω ένα ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Pelissari et al, 2013).

### **1.2.8 Ιξώδες**

Το ιξώδες του κάθε δείγματος μετρήθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος πριν από την ξήρανσή του. Η μέτρηση έγινε στην περιοχή από 0,3-100 κύκλους το δευτερόλεπτο με ιξωδόμετρο Fungilab.

### **1.2.9 Μηχανικές ιδιότητες**

Οι μεμβράνες συμπιέστηκαν κάθετα προς την επιφάνεια τους με κυλινδρικό έμβολο διαμέτρου 3 mm με μία σταθερή ταχύτητα 1 mm / s μέχρι που το έμβολο να διέλθει της μεμβράνης. Έγιναν μετρήσεις στις 5 , 15 και 30 μέρες μετά την παρασκευή των μεμβρανών. Οι παράμετροι που μελετήθηκαν ήταν η μέγιστη τάση καθώς και ο συντελεστής ελαστικότητας που συνδέονται με την ισχύ και τη σταθερότητα των μεμβρανών, αντίστοιχα.

### III. Αποτελέσματα

Αρχικά, μελετήθηκαν οι συνθήκες παρασκευής των μεμβρανών. Πιο συγκεκριμένα, παρασκευάστηκαν μεμβράνες με διαφορετική συγκέντρωση πλαστικοποιητή (0,5, 0,7 και 1 g γλυκερόλης/ g αλεύρου). Ως πλαστικοποιητής χρησιμοποιήθηκε η γλυκερόλη.

Οι πρώτες μεμβράνες παρασκευάστηκαν από αλεύρι σίτου. Στον πίνακα 4 παρουσιάζεται η επίδραση της διαφορετικής συγκέντρωσης γλυκερόλης στο χρώμα των μεμβρανών και στον πίνακα 5 η επίδρασή της στην υγρασία, τη διαλυτότητα, το πάχος και τη θολερότητα των συγκεκριμένων μεμβρανών. Τέλος, στον πίνακα 6 παρουσιάζονται οι μηχανικές τους ιδιότητες μετά από πέντε, δεκαπέντε και τριάντα μέρες από την ημέρα παρασκευής τους.

**Πίνακας 4:** Επίδραση της συγκέντρωσης γλυκερόλης στο χρώμα των μεμβρανών με άλευρο σίτου.

<b>Ποσότητα γλυκερόλης (g/g αλεύρου)</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>ΔE</b>
0,5	52,12 <sup>a</sup> ±4,27	-0,90 <sup>a</sup> ±0,10	2,99 <sup>a</sup> ±0,66	44,85 <sup>a</sup> ±4,27
0,7	49,45 <sup>a</sup> ±1,08	-1,13 <sup>b</sup> ±0,12	2,75 <sup>a</sup> ±0,27	47,54 <sup>a</sup> ±1,08
1	51,43 <sup>a</sup> ±1,20	-1,12 <sup>b</sup> ±0,12	2,59 <sup>a</sup> ±0,16	45,55 <sup>a</sup> ±1,19

\*: Τα διαφορετικά γράμματα μέσα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά (P<0.05).

Σύμφωνα με τη στατιστική ανάλυση, η φωτεινότητα, που συμβολίζεται με L, το b αλλά και η συνολική μεταβολή του χρώματος (ΔE), δεν διέφεραν σημαντικά στις τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις πλαστικοποιητή. Το a δεν είχε μια ξεκάθαρη τάση αλλά ήταν πολύ κοντά στο μηδέν. Οι μεμβράνες και στις τρεις περιπτώσεις παρουσίαζαν μια φωτεινότητα κοντά στο 50 και το χρώμα τους ήταν προς το άσπρο.

**Πίνακας 5:** Επίδραση της συγκέντρωσης γλυκερόλης στο πάχος, τη θολερότητα, την υγρασία και την διαλυτότητα των μεμβρανών σίτου

Ποσότητα γλυκερόλης (g/g αλεύρου)	Υγρασία (%)	Διαλυτότητα (%)	Πάχος (mm)	Θολερότητα
0,5	25,06 <sup>a</sup> ±3,79	42,98 <sup>a</sup> ±3,41	0,66 <sup>a</sup> ±0,03	114,15 <sup>a</sup> ±0,73
0,7	23,67 <sup>a</sup> ±3,49	46,71 <sup>a</sup> ±0,07	0,68 <sup>a,b</sup> ±0,03	135,08 <sup>b</sup> ±3,18
1	26,34 <sup>a</sup> ±1,84	45,93 <sup>a</sup> ±0,53	0,70 <sup>b</sup> ±0,03	173,08 <sup>c</sup> ±0,48

\*: Τα διαφορετικά γράμματα μέσα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά (P<0.05).

Οι μεμβράνες σίτου παρουσίασαν υγρασία και διαλυτότητα χωρίς στατιστικώς σημαντική διαφορά για τις διάφορες συγκεντρώσεις γλυκερόλης. Συγκρίνοντας το πάχος των μεμβρανών στατιστικά φαίνεται μια αύξηση, καθώς αυξάνεται η ποσότητα γλυκερόλης του δείγματος. Ταυτόχρονα, η συγκέντρωση της γλυκερόλης ήταν στατιστικά σημαντική και για τη θολερότητα. Πιο συγκεκριμένα, τη μεγαλύτερη θολερότητα παρουσίασε η μεμβράνη με 1g γλυκερόλης ενώ τη μικρότερη θολερότητα η μεμβράνη με τη μικρότερη ποσότητα γλυκερόλης.

**Πίνακας 6:** Μηχανικές ιδιότητες μεμβρανών με άλευρο σίτου όπως προσδιορίστηκαν στις 5, 15 και 30 μέρες.

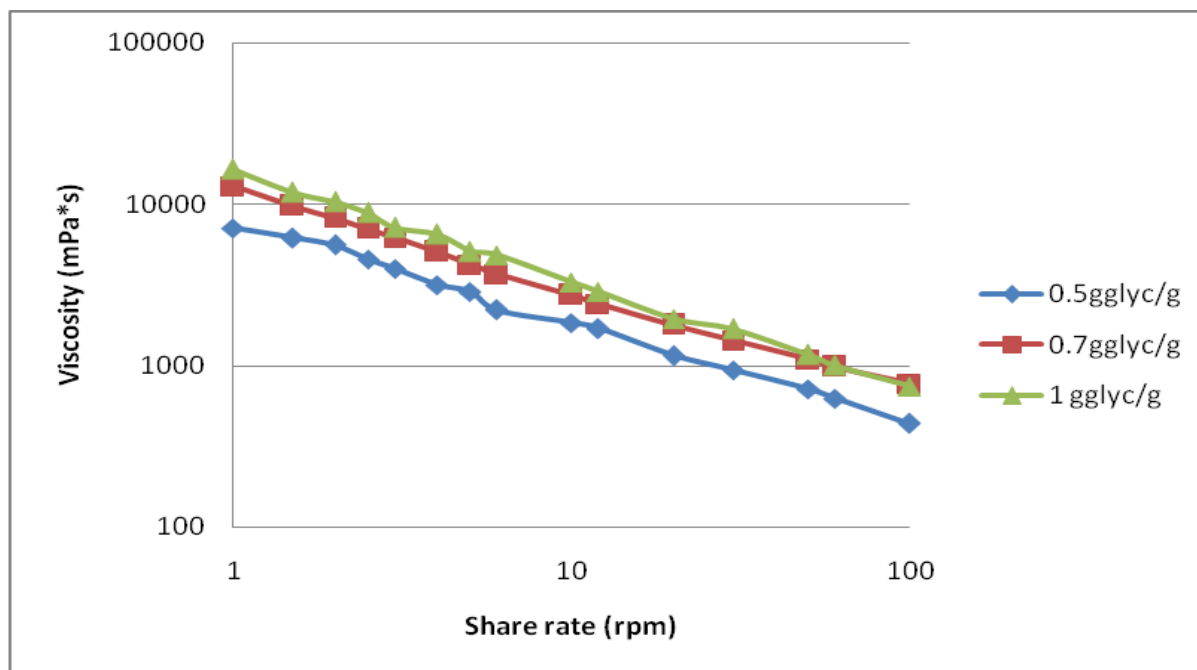
Ποσότητα γλυκερόλης (g/g αλεύρου)	5 μέρες		15 μέρες		30 μέρες	
	Συντελεστής ελαστικότητας (MPa)	Μέγιστη τάση (MPa)	Συντελεστής ελαστικότητας (MPa)	Μέγιστη τάση (MPa)	Συντελεστής ελαστικότητας (MPa)	Μέγιστη τάση (MPa)
0,5	35,42 <sup>a</sup> ±4,32	1,04 <sup>a</sup> ±0,18	207,02 <sup>a</sup> ±40,27	2,87 <sup>a</sup> ±0,49	235,02 <sup>a</sup> ±40,27	2,85 <sup>a</sup> ±0,48
0,7	20,53 <sup>b</sup> ±3,01	0,68 <sup>b</sup> ±0,10	129,53 <sup>b</sup> ±23,21	3,23 <sup>a</sup> ±0,16	189,53 <sup>a</sup> ±40,40	2,95 <sup>a</sup> ±0,74
1	8,60 <sup>c</sup> ±0,60	0,43 <sup>c</sup> ±0,01	30,92 <sup>c</sup> ±2,82	0,43 <sup>b</sup> ±0,01	47,00 <sup>b</sup> ±2,44	1,83 <sup>b</sup> ±0,09

\*: Τα διαφορετικά γράμματα μέσα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά (P<0.05).

Από το πιο πάνω πίνακα (Πίνακας 6) φαίνεται ότι τόσο η μηχανική αντοχή των μεμβρανών όσο και η σταθερότητά τους, μειώνεται με την αύξηση της ποσότητας της γλυκερόλης. Ταυτόχρονα, ο χρόνος αποθήκευσης ήταν επίσης σημαντικός παράγοντας για τις μηχανικές ιδιότητες αφού για την ίδια συγκέντρωση γλυκερόλης με αύξηση του χρόνου αποθήκευσης αυξήθηκε η σταθερότητα των μεμβρανών. Λίγο πολύ το ίδιο παρατηρήθηκε και για την αντοχή τους. Συνολικά και για όλους τους χρόνους αποθήκευσης η μεμβράνη με το 1g γλυκερόλης παρουσίασε τη μικρότερη αντοχή και τη μικρότερη σταθερότητα όλων.

Κατόπιν, έγιναν μετρήσεις του ιξώδους οι οποίες παρουσιάζονται στο Γράφημα 1, που ακολουθεί. Όπως φαίνεται σε αυτό και τα τρία δείγματα απέκλιναν από την ιδανική νευτώνεια συμπεριφορά αφού το ιξώδες τους ελαττώθηκε με αύξηση της ταχύτητας περιστροφής. Ταυτόχρονα, το μεγαλύτερο ιξώδες παρουσίασε η μεμβράνη σύστασης 1g γλυκερόλης, ενώ ακολούθησαν οι μεμβράνες 0,7 και 0,5 g αντίστοιχα.

**Γράφημα 1:** Απεικόνιση του ιξώδους των μεμβρανών στις διαφορετικές συγκεντρώσεις γλυκερόλης για αλεύρι σίτου





Στη συνέχεια οι ίδιες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για τα τρία άλευρα σίκαλης (R, R1 και R2). Αρχικά εξετάστηκε το χρώμα των μεμβρανών. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 7 που ακολουθεί.

**Πίνακας 7:** Επίδραση της συγκέντρωσης γλυκερόλης στο χρώμα των μεμβρανών για όλα τα άλευρα σίκαλης (R, R1 και R2)

Είδος αλεύρου	Ποσότητα γλυκερόλης (g/g αλεύρου)	L	a	b	ΔE
R	0,5	46,57 <sup>a</sup> ±0,077	0,65 <sup>a</sup> ±0,42	14,30 <sup>a</sup> ±1,86	51,67 <sup>a</sup> ±0,87
	0,7	46,45 <sup>a</sup> ±1,25	0,08 <sup>b</sup> ±0,54	11,69 <sup>b</sup> ±1,30	51,27 <sup>a</sup> ±1,32
	1	47,86 <sup>b</sup> ±0,66	0,26 <sup>a,b</sup> ±0,37	12,60 <sup>b</sup> ±0,65	50,02 <sup>b</sup> ±0,72
R1	0,5	44,04 <sup>a,b</sup> ±3,80	0,60 <sup>a</sup> ±0,35	13,35 <sup>a</sup> ±1,36	53,95 <sup>a</sup> ±3,67
	0,7	45,93 <sup>a</sup> ±2,39	1,44 <sup>b</sup> ±0,53	15,21 <sup>a</sup> ±2,25	52,55 <sup>a</sup> ±2,03
	1	42,92 <sup>b</sup> ±1,85	1,38 <sup>b</sup> ±0,87	14,39 <sup>a</sup> ±1,72	55,29 <sup>a</sup> ±1,82
R2	0,5	46,76 <sup>a</sup> ±0,066	-0,20 <sup>a</sup> ±0,18	12,31 <sup>a</sup> ±0,36	52,03 <sup>a</sup> ±0,71
	0,7	45,90 <sup>b</sup> ±1,35	0,05 <sup>b</sup> ±0,23	13,89 <sup>b</sup> ±0,90	54,17 <sup>b</sup> ±1,23
	1	46,90 <sup>a,b</sup> ±0,97	-0,17 <sup>a,b</sup> ±0,24	12,72 <sup>a</sup> ±0,60	52,95 <sup>a</sup> ±0,87

\*: Τα διαφορετικά γράμματα μέσα στην ίδια στήλη και για το ίδιο άλευρο σίκαλης υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά (P<0.05).

Αρχικά, και για το μητρικό άλευρο R, το δείγμα με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση γλυκερόλης παρουσίασε μεγαλύτερη φωτεινότητα και μικρότερη συνολική μεταβολή χρώματος από τα άλλα δύο που παρουσίασαν στατιστικά τις ίδιες τιμές. Χρησιμοποιώντας 5g αλεύρου σικάλεως R1 και προσθέτοντας 0,5g, 0,7g και 1g γλυκερόλης παρασκευάστηκαν τρεις μεμβράνες οι οποίες παρουσίασαν μια παρόμοια φωτεινότητα και συνολική μεταβολή χρώματος. Όταν χρησιμοποιήθηκε το πιο λεπτόκοκκο άλεσμα R2, τα αποτελέσματα ήταν ανάλογα. Για όλες τις μεμβράνες σίκαλης οι τιμές του a δεν είχαν μια ξεκάθαρη τάση αλλά ήταν πολύ κοντά στο μηδέν. Συνολικά, οι μεμβράνες με όλα τα άλευρα σίκαλης ήταν

κιτρινωπές όπως φαίνεται και από τις (θετικές) τιμές του *b* που είναι μεγαλύτερες από αυτές των μεμβρανών σίτου.

Στη συνέχεια, εξετάστηκαν το πάχος (mm), η θολερότητα, η υγρασία (%) και η διαλυτότητα όλων των παραπάνω μεμβρανών και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο πίνακα 8 που ακολουθεί.

**Πίνακας 8:** Επίδραση της συγκέντρωσης γλυκερόλης στο πάχος, τη θολερότητα, την υγρασία και την διαλυτότητα των μεμβρανών με άλευρα σίκαλης R, R1, R2

Είδος Αλεύρου	Ποσότητα γλυκερόλης (g/g αλεύρου)	Υγρασία (%)	Διαλυτότητα (%)	Πάχος (mm)	Θολερότητα
R	0,5	25,75 <sup>a</sup> ±4,72	51,00 <sup>a</sup> ±1,64	0,69 <sup>a</sup> ±0,04	294,43 <sup>a</sup> ±1,15
	0,7	23,35 <sup>a</sup> ±1,05	58,38 <sup>a</sup> ±3,99	0,72 <sup>b</sup> ±0,03	341,74 <sup>b</sup> ±4,69
	1	25,14 <sup>a</sup> ±3,22	56,89 <sup>a</sup> ±1,20	0,73 <sup>b</sup> ±0,03	343,79 <sup>b</sup> ±0,92
R1	0,5	19,36 <sup>a</sup> ±0,28	49,90 <sup>a</sup> ±1,78	0,66 <sup>a</sup> ±0,03	315,79 <sup>a</sup> ±0,11
	0,7	34,89 <sup>b</sup> ±0,37	53,30 <sup>a</sup> ±1,50	0,68 <sup>a,b</sup> ±0,03	371,16 <sup>b</sup> ±0,56
	1	35,48 <sup>b</sup> ±4,25	54,24 <sup>a</sup> ±1,38	0,70 <sup>b</sup> ±0,04	438,74 <sup>c</sup> ±0,12
R2	0,5	27,16 <sup>a</sup> ±0,37	49,61 <sup>a</sup> ±0,18	0,67 <sup>a</sup> ±0,04	287,95 <sup>a</sup> ±0,76
	0,7	33,37 <sup>b</sup> ±2,27	53,36 <sup>a</sup> ±0,67	0,69 <sup>a,b</sup> ±0,04	369,54 <sup>b</sup> ±1,12
	1	35,55 <sup>b</sup> ±1,31	56,65 <sup>a</sup> ±1,10	0,71 <sup>b</sup> ±0,03	470,75 <sup>c</sup> ±7,73

\*: Τα διαφορετικά γράμματα μέσα στην ίδια στήλη και για το ίδιο άλευρο σίκαλης υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά (P<0.05).

Εξετάζοντας τη διαλυτότητα των μεμβρανών του ίδιου αλεύρου σίκαλης, φαίνεται ότι είναι ανεξάρτητη από τη συγκέντρωση της γλυκερόλης. Όσον αφορά στην υγρασία, οι μεμβράνες με το μητρικό και πιο χονδρόκοκκο άλευρο σίκαλης, παρουσίασαν την ίδια στατιστικώς τιμή για τις διάφορες συγκεντρώσεις γλυκερόλης. Αντίθετα, για τα λεπτόκοκκα άλευρα οι δυο υψηλότερες συγκεντρώσεις γλυκερόλης παρουσίασαν την ίδια και στατιστικώς μεγαλύτερη υγρασία σε σχέση με το δείγμα με 0,5 g γλυκερόλης. Ταυτόχρονα, και για όλα τα άλευρα, με την αύξηση της ποσότητας της γλυκερόλης το πάχος των τριών

μεμβρανών αυξήθηκε, με τα δείγματα με 0,7 και 1 g γλυκερόλης να παρουσιάζουν στατιστικά το ίδιο πάχος. Ομοίως και η θολερότητα αυξήθηκε με αύξηση της ποσότητας του πλαστικοποιητή, για όλα τα άλευρα σίκαλης που μελετήθηκαν.

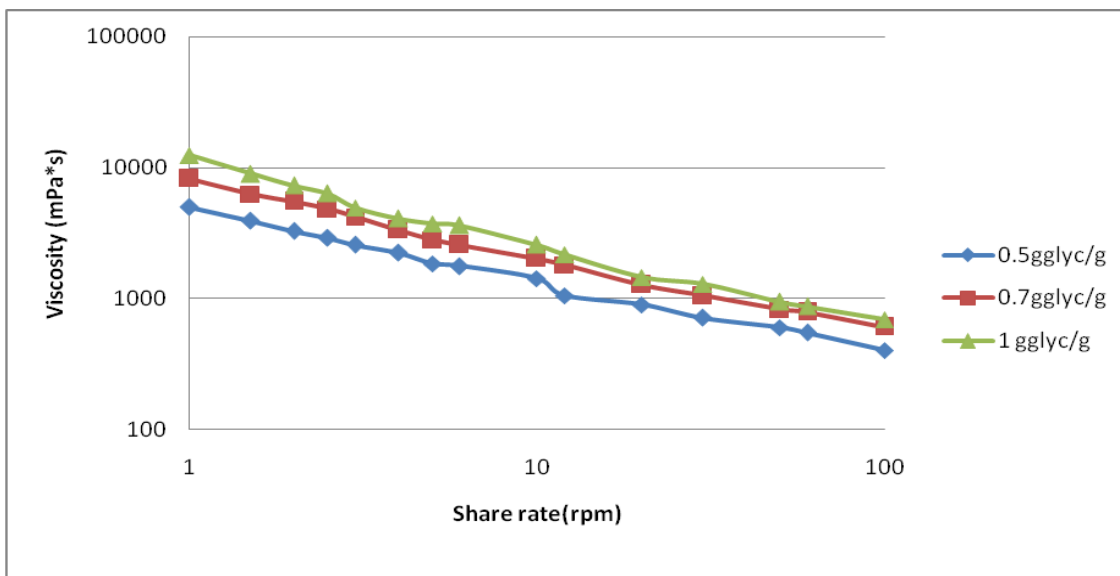
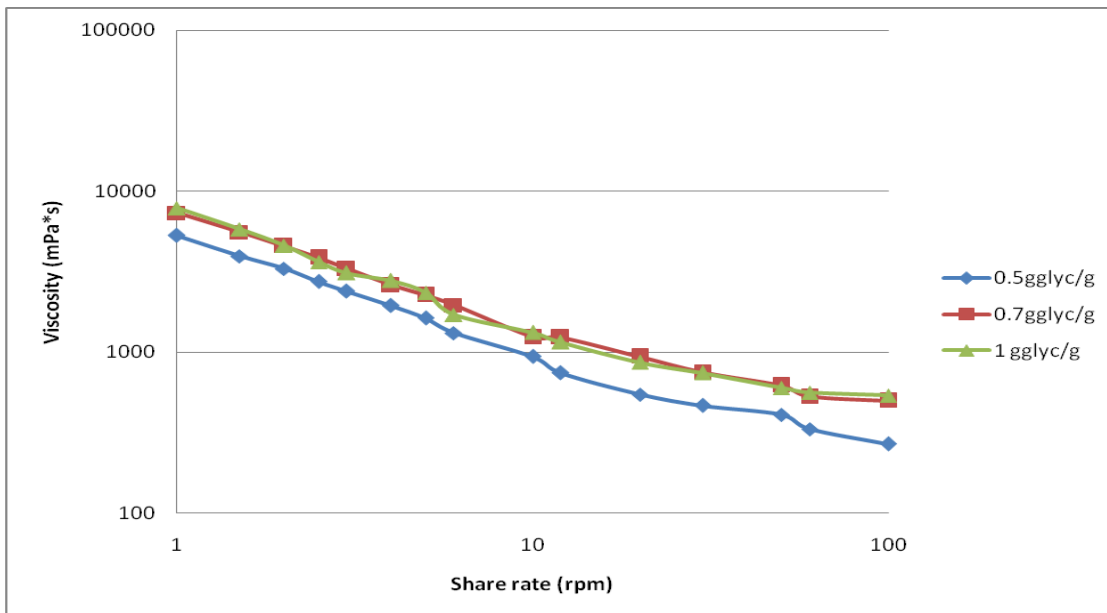
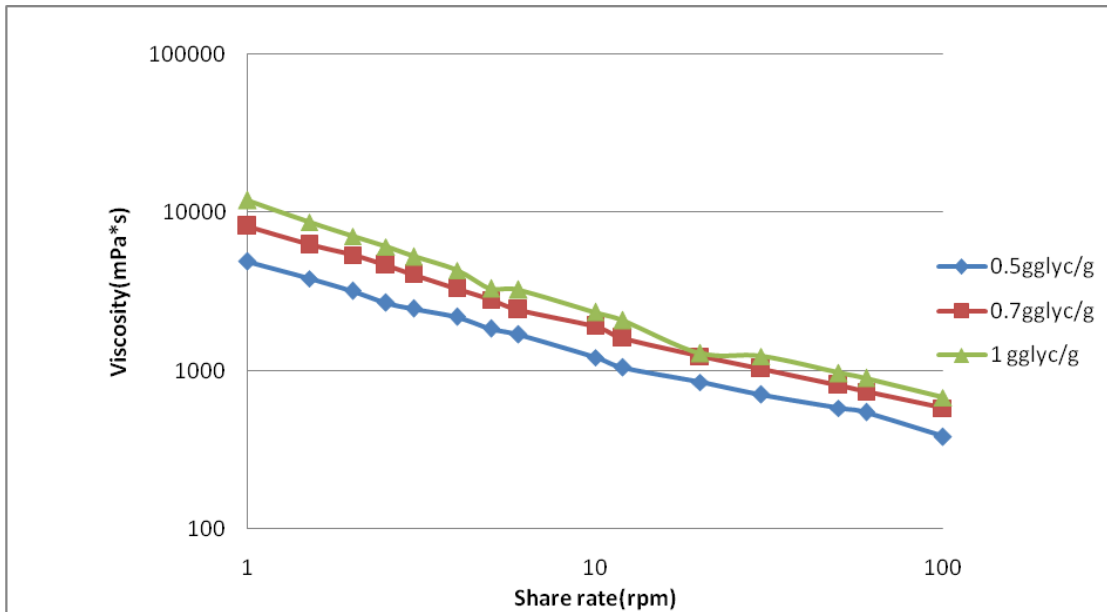
**Πίνακας 9:** Μηχανικές ιδιότητες μεμβρανών με άλευρο R, R1 και R2 όπως προσδιορίστηκαν στις 5, 15 και 30 μέρες

Είδος αλεύρου	Ποσότητα γλυκερόλης (g/g αλεύρου)	5 μέρες		15 μέρες		30 μέρες	
		Συντελεστής ελαστικότητας (MPa)	Μέγιστη τάση (MPa)	Συντελεστής ελαστικότητας (MPa)	Μέγιστη τάση (MPa)	Συντελεστής ελαστικότητας (MPa)	Μέγιστη τάση (MPa)
R	0,5	54,94 <sup>a</sup> ±2,81	1,72 <sup>a</sup> ±0,15	88,92 <sup>a</sup> ±11,30	2,44 <sup>a</sup> ±0,38	155,88 <sup>a</sup> ±22,50	3,07 <sup>a</sup> ±0,68
	0,7	55,49 <sup>a</sup> ±13,06	1,66 <sup>a</sup> ±0,04	72,75 <sup>b</sup> ±11,73	2,35 <sup>a</sup> ±0,44	145,22 <sup>a</sup> ±28,60	3,38 <sup>a</sup> ±0,63
	1	17,71 <sup>b</sup> ±1,61	0,56 <sup>b</sup> ±0,07	68,85 <sup>b</sup> ±13,68	2,35 <sup>a</sup> ±0,44	47,64 <sup>b</sup> ±9,78	1,57 <sup>b</sup> ±0,27
R1	0,5	53,36 <sup>a</sup> ±5,32	1,33 <sup>a</sup> ±0,16				
	0,7	21,99 <sup>b</sup> ±5,64	0,67 <sup>b</sup> ±0,14				
	1	5,09 <sup>c</sup> ±0,91	0,30 <sup>c</sup> ±0,01				
R2	0,5	161,20 <sup>a</sup> ±5,00	1,94 <sup>a</sup> ±0,25				
	0,7	58,89 <sup>b</sup> ±5,64	1,40 <sup>b</sup> ±0,06				
	1	13,31 <sup>c</sup> ±0,91	0,01 <sup>c</sup> ±0,00				

\*: Τα διαφορετικά γράμματα μέσα στην ίδια στήλη και για το ίδιο άλευρο σίκαλης υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά (P<0.05).

Ακολούθως μελετήθηκαν οι μηχανικές ιδιότητες των μεμβρανών μετά από πάροδο 5, 15 και 30 ημερών. Για τις μεμβράνες με τα λεπτόκοκκα αλέσματα οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μόνο την πέμπτη ημέρα γιατί κατά την αποθήκευση παρουσίασαν μούχλα και άρα δεν μπορούσαν να μετρηθούν. Όσον αφορά στο συντελεστή ελαστικότητας, για τον ίδιο χρόνο αποθήκευσης, η τιμή του ελαττώθηκε με αύξηση της συγκέντρωσης γλυκερόλης, σε όλα τα άλευρα σίκαλης που μελετήθηκαν. Μια παρόμοια τάση, αλλά όχι τόσο ξεκάθαρη, παρουσιάζει και η αντοχή των μεμβρανών. Χονδρικά, η μεγαλύτερη συγκέντρωση γλυκερόλης παρουσίασε τη μικρότερη αντοχή για όλα τα δείγματα. Σημαντική ήταν και η επίδραση του χρόνου αποθήκευσης. Για τις μεμβράνες με το μητρικό άλευρο και για την ίδια συγκέντρωση γλυκερόλης η σταθερότητα και η αντοχή αυξήθηκαν με την αποθήκευση.

**Γράφημα 2:** Ιξώδες δειγμάτων με αλεύρι R (α), R1 (β) και R2 (γ) σε διαφορετικές συγκεντρώσεις γλυκερόλης



Στη συνέχεια έγινε μέτρηση του ιξώδους των δειγμάτων με άλευρα σίκαλης και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο γράφημα 4 [για αλεύρι R το (α), για R1 το (β) και για R2 το (γ)]. Στο γράφημα 4 (α-γ) παρουσιάζεται το ιξώδες των δειγμάτων στις διαφορετικές συγκεντρώσεις γλυκερόλης. Και για τα άλευρα σίκαλης, τα δείγματα δεν παρουσιάζουν Νευτώνεια συμπεριφορά. Επίσης, το μεγαλύτερο ιξώδες παρουσίασε η μεμβράνη σύστασης 1g γλυκερόλης, ενώ ακολούθησαν οι μεμβράνες με 0,7 και 0,5 g γλυκερόλης/g αλεύρου αντίστοιχα. Οι μεμβράνες με 0,7 και 1 g γλυκερόλης ήταν αρκετά κοντινές όσον αφορά στο ιξώδες τους.

Στη συνέχεια μελετήθηκαν μεμβράνες που περιείχαν μίγματα αλεύρων και πιο συγκεκριμένα 50% άλευρο σίτου και 50% άλευρο σίκαλης. Ως άλευρο σίκαλης χρησιμοποιήθηκαν και τα τρία αλέσματα διαφορετικής κοκκομετρίας (R, R1, R2). Με βάση τις μετρήσεις που προηγήθηκαν, τα μίγματα έγιναν παρουσία γλυκερόλης σε συγκέντρωση 0,7g μιας και η συγκέντρωση αυτή παρουσίασε μια καλή εικόνα στις περισσότερες των ιδιοτήτων που μελετήθηκαν.

**Πίνακας 10:** Επίδραση της συγκέντρωσης γλυκερόλης στο χρώμα των μεμβρανών με άλευρο σίτου και σίκαλης (50% -50%)

Είδος άλευρου	L	a	b	ΔΕ
W- R	48,49 <sup>a</sup> ±2,61	-0,79 <sup>a</sup> ±0,34	8,34 <sup>a</sup> ±0,79	48,77 <sup>a</sup> ±2,55
W-R1	49,09 <sup>a</sup> ±1,13	-0,75 <sup>a</sup> ±0,19	9,49 <sup>b</sup> ±1,27	48,30 <sup>a</sup> ±1,21
W-R2	49,84 <sup>a</sup> ±1,32	0,93 <sup>a</sup> ±0,17	8,12 <sup>a</sup> ±0,79	47,39 <sup>a</sup> ±1,26

\*: Τα διαφορετικά γράμματα μέσα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά.

Αρχικά, μελετήθηκε το χρώμα των μεμβρανών (Πίνακας 10). Η πρώτη βασική παρατήρηση είναι ότι όσον αφορά στη φωτεινότητα και στη συνολική μεταβολή χρώματος, η κοκκομετρία του αλεύρου σίκαλης δεν ήταν στατιστικώς σημαντική. Για μια ακόμα φορά, οι τιμές του a ήταν κοντά στο μηδέν, ενώ αυτές του b θετικές και κοντά σε αυτές των μεμβρανών με μόνο άλευρα σίκαλης. Ως αποτέλεσμα και οι τρεις μεμβράνες είχαν ένα ελαφρώς κίτρινο χρώμα.

**Πίνακας 11 :** Επίδραση της συγκέντρωσης γλυκερόλης στο πάχος, τη θολερότητα, την υγρασία και τη διαλυτότητα των μεμβρανών με μείγμα άλευρο σίκαλης και σίτου.

<b>Είδος άλεουρου</b>	<b>Υγρασία (%)</b>	<b>Διαλυτότητα (%)</b>	<b>Πάχος</b>	<b>Θολερότητα</b>
W-R	27,56 <sup>a</sup> ±1,26	43,46 <sup>a</sup> ±0,08	0,70 <sup>a</sup> ±0,03	245,24 <sup>a</sup> ±0,03
W-R1	25,92 <sup>a</sup> ±1,25	46,77 <sup>b</sup> ±0,19	0,68 <sup>a,b</sup> ±0,03	242,07 <sup>b</sup> ±0,16
W-R2	25,91 <sup>a</sup> ±3,60	46,64 <sup>b</sup> ±1,43	0,66 <sup>b</sup> ±0,03	202,54 <sup>c</sup> ±0,08

\*: Τα διαφορετικά γράμματα μέσα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά.

Ο Πίνακας 11 παρουσιάζει υγρασία, διαλυτότητα, πάχος και θολερότητα για τις συγκεκριμένες μεμβράνες με μίγματα αλεύρων. Όσον αφορά στην υγρασία, δεν διαφοροποιήθηκε στατιστικώς σημαντικά με την κοκκομετρία του άλευρου σίκαλης. Εξετάζοντας τη διαλυτότητα των τριών μεμβρανών φαίνεται να μην υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά ανάμεσα στις μεμβράνες μιγμάτων αλεύρου σίτου με τα λεπτόκοκκα άλευρα σίκαλης R1 και R2. Οι δύο αυτές μεμβράνες έχουν μεγαλύτερη διαλυτότητα από την αντίστοιχη με το μητρικό άλευρο σίκαλης. Με την αύξηση της κοκκομετρίας στα τρία άλευρα σίκαλης παρατηρείται ότι το πάχος των τριών μεμβρανών αυξήθηκε. Οι μεμβράνες με R1 δεν διαφέρουν στατιστικά από τις άλλες δυο. Η θολερότητα κάθε μεμβράνης σε κάθε δείγμα διαφοροποιήθηκε ανάλογα με την κοκκομετρία του αλεύρου σίκαλης που υπήρχε σε αυτές και πιο συγκεκριμένα μείωση της κοκκομετρίας οδήγησε σε λιγότερο θολές μεμβράνες.

Ακολούθως μετρήθηκαν οι μηχανικές ιδιότητες των μεμβρανών με μίγματα αλεύρων. Τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 12. Η πρώτη βασική παρατήρησης είναι ότι η μηχανική αντοχή των μεμβρανών στις πέντε μέρες μειώνεται όταν χρησιμοποιείται άλευρο με μικρότερη κοκκομετρία. Όταν έγινε μέτρηση στις δεκαπέντε και τριάντα μέρες το πιο λεπτόκοκκο άλευρο (R2) είχε την μεγαλύτερη μηχανική αντοχή και τη μεγαλύτερη σταθερότητα. Και στις τρεις περιπτώσεις η αποθήκευση των μεμβρανών αυξάνει την μηχανική τους αντοχή και τη σταθερότητά τους.

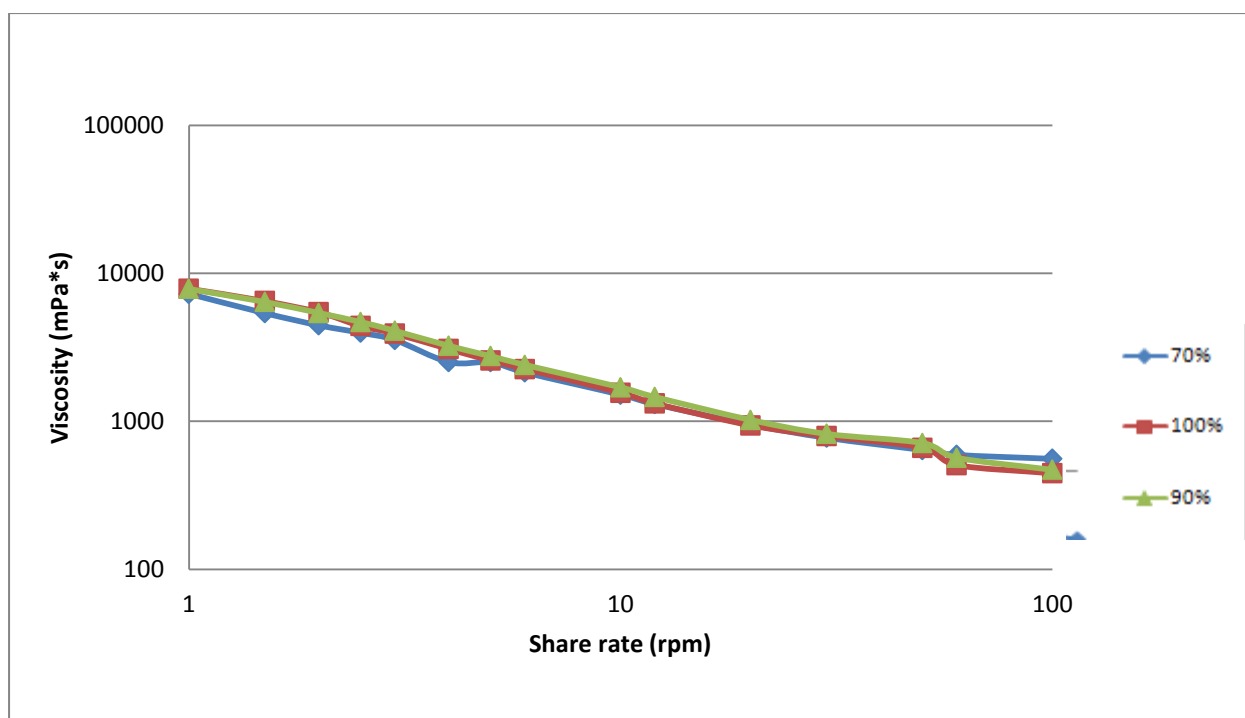
**Πίνακας 12:** Μηχανικές ιδιότητες μεμβρανών με άλευρο σίκαλης και σίτου όπως προσδιορίστηκαν στις 5, 15 και 30 μέρες

Είδος αλεύρου	5 μέρες		15 μέρες		30 μέρες	
	Συντελεστής ελαστικότητας (MPa)	Μέγιστη τάση (MPa)	Συντελεστής ελαστικότητας (MPa)	Μέγιστη τάση (MPa)	Συντελεστής ελαστικότητας (MPa)	Μέγιστη τάση (MPa)
W-R	27,46 <sup>a</sup> ±2,43	1,00 <sup>a</sup> ±0,10	94,23 <sup>a</sup> ±4,21	2,19 <sup>a</sup> ±0,36	151,35 <sup>a</sup> ±17,18	2,74 <sup>a</sup> ±0,33
W-R1	32,60 <sup>b</sup> ±1,21	1,25 <sup>a</sup> ±0,05	68,30 <sup>b</sup> ±4,5	1,93 <sup>a</sup> ±0,17	93,10 <sup>b</sup> ±5,02	2,66 <sup>a</sup> ±0,13
W-R2	23,77 <sup>c</sup> ±2,17	0,89 <sup>b</sup> ±0,07	130,2 <sup>c</sup> ±7,1	2,71 <sup>b</sup> ±0,28	184,60 <sup>c</sup> ±12,68	3,05 <sup>a</sup> ±0,43

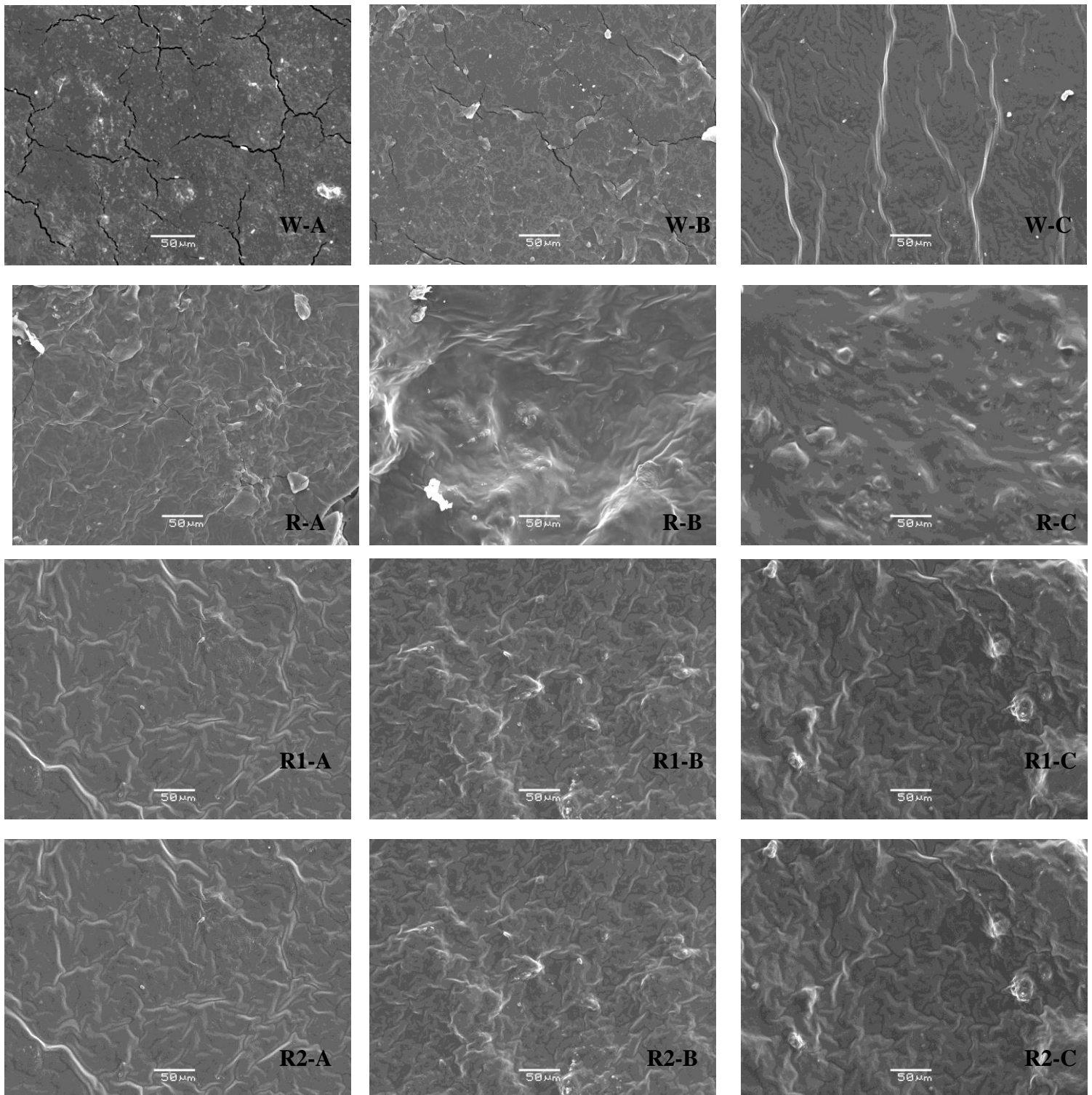
\*: Τα διαφορετικά γράμματα μέσα στην ίδια στήλη υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά.

Στο γράφημα 5 απεικονίζεται το ιξώδες των μεμβρανών. Όπως είναι φανερό ,ανεξάρτητα κοκκομετρίας, και οι τα τρία δείγματα παρουσίασαν ψευδοπλαστική συμπεριφορά και παρόμοια τιμή ιξώδους.

**Γράφημα 5:** Ιξώδες δειγμάτων με αλεύρι σίτου και άλευρο R, R1 και R2 παρουσία 0,7 g γλυκερόλης.



Τέλος, έγιναν και κάποιες μετρήσεις SEM. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στις Εικόνες 1 και 2 που ακολουθούν για τις μεμβράνες με ένα τύπο αλεύρου και με μίγματα, αντίστοιχα.

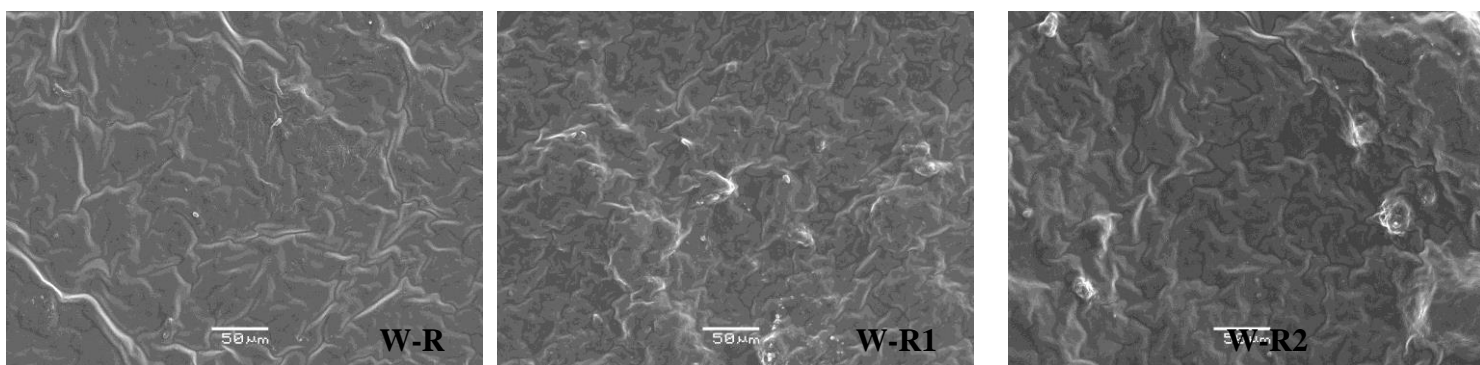


**Εικόνα 1.** SEM μεμβρανών με ένα τύπο αλεύρων: Η στήλη A παρουσιάζει δείγματα με γλυκερόλη 0,5g η στήλη B με 0,7g και η στήλη C με 1g γλυκερόλης/g αλεύρου για το κάθε τύπο αλεύρου.



Στη μεμβράνη με άλευρο σίτου παρατηρήθηκαν ρωγμές όταν η ποσότητα γλυκερόλης ήταν 0,5 και 0,7 g σε αντίθεση με τις μεμβράνες από τα τρία άλευρα σίκαλης. Οι μεμβράνες που παρασκευάστηκαν από άλευρο σίτου και από το άλευρο R1 είχαν μια πιο λεία δομή όταν η ποσότητα γλυκερόλης αυξανόταν. Σε αντίθεση οι μεμβράνες από τα άλευρα R1 και R2 είχαν μια πιο τραχεία δομή σε όλες τις συγκεντρώσεις γλυκερόλης. Δεν παρατηρήθηκε καμία αλλαγή στην δομή των δυο αυτών μεμβρανών με την αύξηση της ποσότητας της γλυκερόλης.

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζονται οι μεμβράνες μείγματα αλεύρων σίτου και σίκαλης. Στις μεμβράνες αυτές δεν παρατηρήθηκε κάποια διαφορά στη δομή των τριών μεμβρανών.



**Εικόνα 2.** SEM μεμβρανών με μίγματα αλεύρων

## VI.Συζήτηση

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν οι ιδιότητες μεμβρανών με άλευρο σίτου, άλευρο σίκαλης και μίγματα αυτών σε αναλογία 1:1.

Αρχικά μελετήθηκαν μεμβράνες με ένα τύπο αλεύρου παρουσία αυξανόμενης συγκέντρωσης γλυκερόλης ως πλαστικοποιητή. Η επίδραση του πλαστικοποιητή είναι πολύ σημαντική στις ιδιότητες των μεμβρανών αφού μεμβράνες χωρίς πλαστικοποιητή είναι πολύ εύθραυστες. Η προσθήκη πλαστικοποιητή μειώνει τον εφελκυσμό και αυξάνει την ικανότητα επιμήκυνση της μεμβράνης. Αυτό συμβαίνει για τον λόγο ότι όσο μεγαλύτερη ποσότητα πλαστικοποιητή προστεθεί τόσο πιο πολύ αυξάνεται η υγρασία της. Από την άλλη πλευρά ο εφελκυσμός, η αντοχή και η επιμήκυνση κατά τη θραύση εξαρτάται έντονα από τον τύπο του προστιθέμενου πλαστικοποιητή. Δείγματα μεμβράνης πλαστικοποιημένα με σορβιτόλη έδειξαν υψηλότερο εφελκυσμό και αντοχή αλλά και μικρότερη επιμήκυνση από μεμβράνες όπου χρησιμοποιήθηκε η γλυκερόλη ως πλαστικοποιητής. Αυτή η συμπεριφορά μπορεί να συνδέεται με τη μοριακή δομή της γλυκερόλης. (Muller, 2008 et al, Tapia-Blacido et al, 2011)

Από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης αναφορικά με την υγρασία φάνηκε ότι η συγκέντρωση της γλυκερόλης δεν ήταν στατιστικώς σημαντική για τις μεμβράνες με αλεύρι σίτου και αλεύρι R. Αντίθετα, και σε συμφωνία με τη βιβλιογραφία, στις μεμβράνες με τα λεπτόκοκκα άλευρα R1 και R2 η υγρασία αυξήθηκε με αύξηση της ποσότητας γλυκερόλης. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και ο Haesung Yun (2016) όπου μελέτησαν την επίδραση της γλυκερόλης σε μεμβράνες που παρασκευάστηκαν από πρωτεΐνη που προερχόταν από το έντομο *Bobyx Mori*.

Όσον αφορά στο πάχος, των μεμβρανών η συγκέντρωση της γλυκερόλης ήταν σημαντική αφού η αύξησή της οδήγησε σε αυξημένο πάχος μεμβρανών. Η παρατήρηση αυτή συμφωνεί με τη βιβλιογραφία. Ενδεικτικά, η μελέτη που έγινε από τον Haesung Yun το 2016 επίσης παρουσίασε ότι το πάχος αυξανόταν όταν και η ποσότητα της γλυκερόλης αυξανόταν. Αναφορικά με τον τύπο του αλεύρου και την επίδρασή του στο πάχος των μεμβρανών, η βιβλιογραφία αναφέρει τιμές όπως 0,08mm για άλευρο ορχιδέας και άλευρο ριζιού, 0,087mm για άλευρο μπανάνας (Pelissari et al., 2013) 0,2μm για άλευρο καλαμποκιού (για ποσότητα γλυκερόλης 0,3-0,4g γλυκερόλης ανά γραμμάριο αλεύρου καλαμποκιού) κοκ (Valderema Solano & Rojas de Gante 2014). Από τα παραπάνω εύκολα συνάγεται το συμπέρασμα ότι ο τύπος αλεύρου είναι ένας επίσης σημαντικός παράγοντας για το πάχος της μεμβράνης.

Όσον αφορά στην διαλυτότητα της μεμβράνης, τα αποτελέσματά μας έδειξαν ότι οι μεμβράνες με τη μικρότερη διαλυτότητα ήταν αυτές που παρασκευάστηκαν από άλευρο σίτου και από μίγματα αλεύρων σίτου και σίκαλης. Επίσης, η ποσότητα της γλυκερόλης στις μεμβράνες δεν διαφοροποίησε τη διαλυτότητά τους. Αντίθετα, η διαλυτότητα στις μεμβράνες από σίκαλη αυξήθηκε με αύξηση της ποσότητας γλυκερόλης. Αρκετοί ερευνητές έχουν συγκρίνει τη διαλυτότητα των μεμβρανών από διάφορους τύπους αλεύρου και πηγές αμύλου όπως ο αμάραντος και το κινόα. Έχει παρατηρηθεί ότι αυτή η ιδιότητα είναι συνδεδεμένη με τον τύπο του αλεύρου που χρησιμοποιείται για τον σχηματισμό της μεμβράνης, με το είδος των αλληλεπιδράσεων που συμβαίνουν με τον πλαστικοποιητή καθώς και τις συνθήκες της παρασκευής της (Andrade-Mahecha et al, 2009, Araujo-Farro et al., 2008, Tapia-Blácido et al, 2006). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η μεμβράνη από αλεύρι αμάρανθου είχε μεγάλη διαλυτότητα στο νερό, σχεδόν η ίδια με τη διαλυτότητα που προσδιορίστηκε στην παρούσα εργασία για τη μεμβράνη από άλευρο σίτο ενώ η διαλυτότητα για μεμβράνες από αλεύρι κινόα ήταν μικρή. Γενικά, η διαλυτότητα συνδέθηκε με την ποσότητα του αμύλου στο άλευρο. Οι μεμβράνες από πιο λεπτόκοκκα άλευρα είχαν την πιο υψηλή διαλυτότητα για το λόγο ότι η άλεση με jet mill καταστρέφει το άμυλο του αλεύρου (Drakos et al, 2016). Μια μέση διαλυτότητα της τάξης του 27.9% παρουσιάζουν οι μεμβράνες από αλεύρι μπανάνας. Η επιθυμητή τιμή για τη διαλυτότητα μιας μεμβράνης εξαρτάται από τη χρήση για την οποία τη θέλουμε.

Σχετικά με τη θολερότητα, η συγκέντρωση της γλυκερόλης ήταν σημαντική αφού οι μεμβράνες έγιναν πιο θολές με την αύξηση της ποσότητας του πλαστικοποιητή. Παρόμοια αποτελέσματα δείχνει και η μελέτη των Mali et al. (2004), η οποία τα απέδωσε στο ότι ο πλαστικοποιητής αυξάνει το πάχος της μεμβράνης και έτσι οι μεμβράνες γίνονται πιο θολές. Η μεμβράνη με τη μεγαλύτερη θολερότητα ήταν η μεμβράνη από το άλευρο R1 και η μικρότερη από άλευρο σίτου. Επίσης η μεμβράνη από άλευρο R1 ήταν πιο θολή από αυτή με άλευρο R2. Όπως έχει γίνει γνωστό από μελέτες, όσο περισσότερα είναι τα λιπίδια σε ένα άλευρο τόσο η θολερότητα μιας μεμβράνης αυξάνεται (Gontard et al., 1994). Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν ακόμα δυο μελέτες που έγιναν το 2002 και το 2007 (Shaw et al., 2002, Tapia-Blacido et al., 2007). Για αυτό το λόγο το άλευρο σίτου έχει την μικρότερη θολερότητα αφού έχει περίπου 0,5-0,6% λιπίδια (Stear, 1990) σε αντίθεση με το άλευρο σίκαλης το οποίο περιέχει από 5-6% (Drakos et al., 2016)

Μια ακόμη ιδιότητα που μετρήθηκε ήταν το χρώμα. Ως προς το χρώμα τους οι μεμβράνες από άλευρο σίκαλης ή από μίγματα αλεύρων σίτου-σίκαλης παρουσίασαν ένα κιτρινωπό χρώμα, ενώ οι μεμβράνες από άλευρο σίτου είχαν άσπρο χρώμα. Αυτό αποδόθηκε

στις τιμές του  $b$  που είναι υπεύθυνο για το κίτρινο χρώμα. Το χρώμα και η φωτεινότητα επηρεάζονται γενικά από τις πρώτες ύλες των μεμβρανών: στην περίπτωσή μας το αλεύρι. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το χρώμα του αλεύρου εξαρτάται από τη βοτανική προέλευση, τον τρόπο άλεσης και την κοκκομετρία του (Protonotariou et al., 2014; Chanamea et al., 2014). Στις μεμβράνες με άλευρα R, R1 και R2 η παράμετρος  $b$  είχε τιμές 7-8 ενώ σε αυτές με άλευρο σίτου οι τιμές ήταν πολύ κοντά στο 0.

Από πειράματα που έκαναν άλλοι ερευνητές αναφορικά με το χρώμα της μεμβράνης από διάφορους τύπους αλεύρου διαφάνηκε η τάση προς το κιτρινωπό χρώμα καθώς και η τάση προς την υψηλή φωτεινότητα (Andrade-Mahecha et al 2009, Araujo-Farro et al, 2008 Tapia-Blácido et al, 2006). Οι Tapia-Blácido et al. (2007) σύγκριναν τις οπτικές ιδιότητες του αλεύρου σε δύο είδη αμάραντου και διαπίστωσαν ότι το κίτρινο χρώμα σχετιζόταν με την παρουσία των πρωτεϊνών. Ένας παράγοντας είναι και η ποσότητα σε καροτενοειδή που προσδίδουν κίτρινο χρώμα στα άλευρα. Το ψηλότερο ποσοστό σε πρωτεΐνη περιέχει το άλευρο R1 με ποσοστό 11,75% ενώ το χαμηλότερο ποσοστό έχει το άλευρο R2 με 9,67%.

Κατά τη μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων των μεμβρανών η μεμβράνη με τη μεγαλύτερη μηχανική αντοχή στις πέντε μέρες ήταν η μεμβράνη από άλευρο R2. Η μηχανική αντοχή των μεμβρανών μειωνόταν όσο αυξανόταν η ποσότητα της γλυκερόλης. Η επίδραση του χρόνου αποθήκευσης ήταν επίσης σημαντική αφού με την πάροδο των ημερών, η μηχανική αντοχή όλων των μεμβρανών αυξανόταν. Στο μείγμα αλεύρων σίτου και σίκαλης όπου παρασκευάστηκαν μεμβράνες με 0,7g/g αλεύρου γλυκερόλης τη μεγαλύτερη μηχανική αντοχή τις πρώτες μέρες παρουσίαζε το μείγμα με το άλευρο R και την μικρότερη αυτή με το άλευρο R2. Στις δεκαπέντε και τριάντα μέρες τη μεγαλύτερη μηχανική αντοχή είχε το μείγμα με το άλευρο R2 και τη μικρότερη αυτή που παρασκευάστηκε με το άλευρο R1. Παρόμοιες συμπεριφορές έχουν ανιχνευθεί και από άλλους ερευνητές σε μελέτες επί των μηχανικών χαρακτηριστικών των μεμβρανών αλεύρου όπου καταδεικνύουν ότι το είδος του αλεύρου παίζει σημαντικό ρόλο στις μηχανικές ιδιότητες της μεμβράνης (Andrade-Mahecha V, 2009). Για παράδειγμα, οι μεμβράνες από άλευρο μπανάνας σε σύγκριση με άλλες βιοαποικοδομήσιμες μεμβράνες παρουσιάζουν εξαιρετική μηχανική αντοχή όπως επίσης και υψηλότερη ελαστικότητα, από τις μεμβράνες που παρασκευάστηκαν από αλεύρι αμάρανθου, κινόας, και ρυζιού. Αυτή η συμπεριφορά μπορεί να εξηγηθεί από τις διαφορές στην περιεκτικότητα σε αμυλόζη αφού είναι γνωστό ότι οι μεμβράνες πλούσιες σε αμυλόζη επιδεικνύουν καλή μηχανική αντοχή. Επίσης η ύπαρξη υψηλότερων ποσοστών πρωτεΐνης, λιπιδίων, και ινών στο αλεύρι επηρεάζει σημαντικά την ακαμψία της μεμβράνης. Το άλευρο R2 το οποίο έχει την μεγαλύτερη ακαμψία περιέχει το πιο ψηλό ποσοστό σε λιπίδια με 5,91%

ενώ το άλευρο R1 έχει το μικρότερο ποσοστό με 5,11%. Το ψηλότερο ποσοστό σε πρωτεΐνη περιέχει το άλευρο R1 με ποσοστό 11,75% ενώ το χαμηλότερο ποσοστό έχει το άλευρο R2 με 9,67%. Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι το ποσοστό υγρασίας στις μεμβράνες από αλεύρι μειώνει τη μηχανική αντοχή και αυξάνει την ευκαμψία τους (Delville et al., 2002, Godbillot et al, 2006, Sobral et al, 2001). Στο ίδιο σκεπτικό και η αύξηση της μηχανικής αντοχής κατά την αποθήκευση θα μπορούσε να αποδοθεί σε μεταβολές της υγρασίας κατά την αποθήκευση.

Μια άλλη παράμετρος στο σχεδιασμό των πειραμάτων ήταν και η κοκκομετρία των αλεύρων σίκαλης. Από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης φάνηκε ότι σε κάποιες ιδιότητες είχε επίδραση και σε άλλες όχι. Π.χ. δεν επηρέασε σημαντικά το χρώμα αλλά ήταν σημαντική για τις μηχανικές ιδιότητες. Προφανώς, η επίδρασή της οφείλεται στο γεγονός ότι επηρεάζει τη σύσταση ενός αλεύρου (π.χ. περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, άμυλο, λίπη κτλ) και άρα την αλληλεπίδρασή του με το νερό. Στις μεμβράνες όμως είναι παρόν και πλαστικοποιητής που επίσης αλληλεπιδρά με το νερό. Άρα, οι πιο ισχυρές αλληλεπιδράσεις θα είναι αυτές που θα καθορίσουν και τις τιμές των μετρούμενων ιδιοτήτων.

## V Βιβλιογραφία

- Αρβανιτογιάννης Ι.Σ., Στρατάκος Α.Χ. (2011) Τεχνολογίες επεξεργασίας και συσκευασίας τροφίμων. UniversityStudioPress, Θεσσαλονίκη
- Κεφαλάς, Π., Σ. 2002. Τεχνολογία και έλεγχος ποιότητας σιτηρών, Εκδόσεις ΑΤΕΙ-Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- Κριτσαντώνης, Α. 2006. Σιτάρι, αλεύρι και ψωμί. Ο αρτοποιός και η δουλειά του του,30,32-33.
- Μποσδίκος, Δ. 2005. Από το σιτάρι στο ψωμί. pp107-110. Εκδόσεις Κορμός, Αθήνα
- Andrade-Mahecha, M. M., Tapia-Blácido, D. R., & Menegalli, F. C. 2012 Development and optimization of biodegradable films based on achira flour. *Carbohydrate Polymers*, 88, 449-458.
- Araujo-Farroa P, Podadera G., Paulo J.A. Sobral , Florencia C. Menegalli 2010 Development of films based on quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willdenow) starch, *Carbohydrate Polymers* 81 839–848
- Ciannamea M E., Stefani P.M. , Ruseckaite R.A, 2014 Physical and mechanical properties of compression molded and solution casting soybean protein concentrate based films, *Food Hydrocolloids* 38, 193-204
- Dias, A. B., Müller, C. M. O., Larotonda, F. D. S., & Laurindo, J. B. 2010 Biodegradable films based on rice starch and rice flour. *Journal of Cereal Science*, 51(2), 213- 219
- Drakos A., Kyriakakis G., Evageliou V. Protonotariou S , Mandala I. & Ritzoulis C. 2016 Influence of jet milling and particle size on the composition, physicochemical and mechanical properties of barley and rye flours *Food chemistry*
- Franciele Maria Pelissari , Margarita María Andrade-Mahecha , Paulo José do Amaral Sobra Florencia Cecilia Menegalli Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (*Musa paradisiaca*), *Food Hydrocolloids*, 681-690

- Garcia, M. A., Martino, M. N., & Zanitzky, N. E. Microstructural characterization of plasticized starch-based films. *Stärke*, 2000, 52, 118–124
- Godbillot, L., Dole, P., Joly, C., Rogé, B., & Mathlouthi, M. 2006. Analysis of water binding in starch plasticized films. *Food Chemistry*, 96(3), 380-386
- Gutiérrez T.J., Suniaga J., Monsalve A., García N.L., 2016 Influence of beet flour on the relationship surface-properties of edible and intelligent films made from native and modified plantain flour. *Food Hydrocolloids*, 54, 234-244
- Haesung Yun, Moo Kon Kim, Hyo Won Kwaka, Jeong Yun Lee, Min Hwa Kima, Ki Hoon Lee 2016 The role of glycerol and water in flexible silk sericin film, *International Journal of Biological Macromolecules* 82, 945–951
- Hye Y. Song, Yoon J. Shin, Kyung Bin Song 2012. Preparation of a barley bran protein–gelatin composite film containing grapefruit seed extract and its application in salmon packaging, *Journal of Food Engineering*, 541-547
- Kader, A. A. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 28, 1–30.
- Kerry J.P., O' Grady M.N., Hogan S.A. 2006 Past, current and potential utilization of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. *Meat Science*, 74, 113-130
- Krochta, J.M., Baldwin, E.A., & Nisperos-Carriedo, M.O. (Eds.) 1994. *Edible coatings and films to improve food quality*. Basel: Technomic Publishing Company, Inc
- Lorenz, K., J. and Kulp, K. 1991. *Handbook of Cereal Science and Technology*, Marcel Dekker
- Delville, J., Joly, C., Dole, P., & Bliard, C. 2002. Solid state photocrosslinked starch based films: a new family of homogeneous modified starches. *Carbohydrate Polymers*, 49(1), 71-81.
- Macrae, R., Robinson, R., K. and Sadler, M., J. 1993. Pastry Products. In *Encyclopedia of Food Science, Food Technology and Nutrition*, Academic Press, London, 5, 3464.
- Mali S., Grossmann M., Garcia M., Martino M., Zaritzky N., 2004. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films *Carbohydrate Polymers* 56, (2), 129–135

Matz, S., A. 1989. Bakery Technology, Elsevier Science Publishers Ltd

Müller, C. M. O., Yamashita, F., & Laurindo, J. B. 2008. Evaluation of the effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. *Carbohydrate Polymers*, 72(1), 82e87.

Protonotariou, S., Drakos, A., Evageliou, V., Ritzoulis, C., & Mandala, I. 2014. Sieving fractionation and jet mill micronization affect the functional properties of wheat flour. *Journal of Food Engineering*, 134, 24-29.

Pomeranz, Y. 1988. Wheat: Chemistry and Technology, Vol I, II, A.A.C.C., USA.

Rafael Borneo ,Natalia Alba , Alicia Aguirre 2016 New films based on triticale flour: Properties and effects of storage time *Journal of Cereal Science* 82-87

Salgado P.R, Ortiz C.M., Musso Y.S., Di Giorgio L., Mauri A.N. 2015 Edible films and coatings containing bioactives. *Food Science*, 5, 86–92

Sanchez-Ortega I., Garcia-Almendarez B.E., Santos-Lopez E.M., Amaro-Reyes A., Barboza-Corona J.E., Regalado C. 2014 Antimicrobial Edible Films and Coatings for Meat and Meat Products Preservation. *The Scientific World Journal*, 1-18

Shaw NB, Monahan FJ, ORiordan ED, O’Sullivan M. 2002. Effect of soya oil and glycerol on physical properties of composite WPI films. *J Food Eng* 51(4):299–304.

Stear, C., A. 1990. Handbook of Breadmaking Technology, Elsevier

Sobral, P. J. A., Menegalli, F. C., Hubinger, M. D., & Roques, M. A. 2001. Mechanical, water vapor barrier and thermal properties of gelatin based edible films. *Food Hydrocolloids*, 15, 423-432.

Tapia-Blacido , Paulo J. Sobral , Florencia C. Menegalli, 2005 Development and characterization of biofilms based on Amaranth flour (*Amaranthus caudatus*), *Journal of Food Engineering*, 215–223

Tapia-Blácido, D. R., Mauri, A. N., Menegalli, F. C., Sobral, P. J. A., & Añón, M. C. 2007 Contribution of the starch, protein, and lipid fractions to the physical, thermal, and structural properties of amaranth (*Amaranthus caudatus*) flour films. *Journal of Food Science*, 72(5)



Tapia-Blácido, D. R., Sobral, P. J. A., & Menegalli, F. C., Development and characterization of biofilms based on amaranth flour (*Amaranthus caudatus*). 2005 *Journal of Food Engineering*, 67, 215-222

Tapia-Blácido a, P.J. do Amaral Sobral b, F.C. Menegalli, Optimization of amaranth flour films plasticized with glycerol and sorbitol by multi-response analysis, *Food Science and Technology* 2011 1731-738

Tavassoli-Kafrani E., HajarShekarchizadeh H., Masoudpour-Behabadi M. 2016 Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans. *Carbohydrate Polymers*, 137,360–374

Tharanathan, 2003 Biodegradable films and composite coatings: past, present and future, *Trends in Food Science & Technology* 71-78

Tharanathan, R. N. Food derived carbohydrates—structural complexity and functional diversity. *Critical Reviews in Biotechnology*, 2002 22, 65–84.

Tharanathan, R. N., & Saroja, N. Hydrocolloid-based packaging films—alternate to synthetic plastics 2001 *Journal of Scientific and Industrial Research*, , 60, 547–559.

Valderrama Solano, A.C., Rojas de Gante, C., 2014. Development of biodegradable films based on blue corn flour with potential applications in food packaging. Effects of plasticizers on mechanical, thermal, and microstructural properties of flour films. *Journal of Cereal Science*. 60, 60-66

Wilkinson, C., Dijksterhuis, G., B. and Minekus, M. 2000. From food structure to texture. *Trends in Food Science & Technology*, 11, 442-450.

William A. Atwell 2001. *Flour-practical guides for the food industry*.