



Εδώδιμες μεμβράνες από ελληνική σαλάτα
Edible films from Greek salad

Δανάη Ζορμπά
Αναστασία Ρόζου

Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων
Σχολή Επιστημών Τροφίμων
Πτυχιακή Εργασία (Bachelor thesis), 10 ect
Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Επιβλέπων καθηγητής:
Σπυρίδων Ε. Παπαδάκης

Σεπτέμβριος 2022

Έγινε δεκτή

Οι υπογράφοντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει την πτυχιακή εργασία με τίτλο **«Εδώδιμες Μεμβράνες από Ελληνική Σαλάτα»** που παρουσιάστηκε από τις **Ζορμπά Δανάη** και **Ρόζου Αναστασία** και βεβαιώνουμε ότι έγινε δεκτή.

Ημερομηνία

Παπαδάκης Σπυρίδων

Ημερομηνία

Σινάνογλου Βασιλεία

Ημερομηνία

Τριάντη Μυρτώ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι κάτωθι υπογράφουσες Ζορμπά Δανάη του Χρήστου, με αριθμό μητρώου 18684022 και Ρόζου Αναστασία του Νικολάου, με αριθμό μητρώου 18684020, φοιτήτριες του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστήμης Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνουμε υπεύθυνα ότι: «Είμαστε συγγραφείς αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμάς αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μας, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μας ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μας».

Οι δηλούσες

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή της πτυχιακής μας εργασίας κ. Σπυρίδωνα Ε. Παπαδάκη για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε στην ανάθεση του θέματος, την επιστημονική καθοδήγησή του, τις πολύτιμες συμβουλές και τις ουσιαστικές παρατηρήσεις που μας παρείχε σε όλα τα στάδια. Δεν μπορούμε να παραλείψουμε το αμέριστο ενδιαφέρον, την υποστήριξη που μας επέδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλουμε να δώσουμε στην υποψήφια διδάκτορα και ακαδημαϊκή υπότροφο κα Μυρτώ Τριάντη για τη συνεχή βοήθειά της και την αμείωτη υποστήριξή της κατά την εκπόνηση της εργασίας μας.

Περίληψη

Ο ρόλος της συσκευασίας τροφίμων είναι πολύπλευρος, βασικός στόχος του οποίου η συνολική προστασία του προϊόντος τόσο από εξωγενείς όσο και από ενδογενείς παράγοντες. Η εκτεταμένη χρήση μη ανανεώσιμων και μη βιοαποικοδομήσιμων υλικών συσκευασίας εγείρει τον προβληματισμό των καταναλωτών και των βιομηχανιών για τις περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις. Ως εκ τούτου, θεωρείται αναγκαία η χρησιμοποίηση βιώσιμων συσκευασιών, όπως οι εδώδιμες μεμβράνες που αποτελούνται από βιοπολυμερή, λιπίδια και πρόσθετα. Σκοπός της συνολικής μελέτης, είναι η ανάπτυξη μεμβρανών που θα περιέχουν όλα τα πολύτιμα συστατικά της ελληνικής σαλάτας, η σύγκριση των φυσικομηχανικών και οργανοληπτικών ιδιοτήτων τους, με απώτερο στόχο την ευρύτερη χρήση τους στην αγορά. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρονται τα κυριότερα συστατικά των βρώσιμων μεμβρανών που παράγονται από φρούτα και λαχανικά, η διαδικασία παραγωγής τους, αλλά και οι κυριότερες φυσικομηχανικές ιδιότητές τους. Στο δεύτερο μέρος, περιγράφεται η διαδικασία παραγωγής βρώσιμων μεμβρανών σε εργαστηριακή κλίμακα, βασισμένων σε υλικά ελληνικής σαλάτας. Τα κύρια συστατικά του μίγματος είναι τοματοπολτός, έλαιο ρίγανης, εκχυλίσματα αγγουριού, πιπεριάς, κρεμμυδιού και η πηκτίνη (ως συνδετικός παράγοντας). Σε ορισμένες συνταγές προστίθεται επίσης ελαιόλαδο και κόμμι γκουάρ (guar gum) με αποτέλεσμα τους εξής συνδυασμούς: μεμβράνες χωρίς λάδι και χωρίς γκουάρ (ΧΛ-ΧΓ), χωρίς λάδι αλλά με γκουάρ (ΧΛ-ΜΓ), με λάδι και χωρίς γκουάρ (ΜΛ-ΧΓ) και με λάδι αλλά και γκουάρ (ΜΛ-ΜΓ). Στην συνέχεια εξετάζονται οι φυσικομηχανικές ιδιότητες των μεμβρανών χωρίς γκουάρ, συγκεκριμένα η διαπερατότητα στους υδρατμούς, η αντοχή στον εφελκυσμό, η παραμόρφωση στην θραύση και το μέτρο ελαστικότητας. Τέλος, έλαβε χώρα ο οργανοληπτικός έλεγχος και των τεσσάρων ειδών μεμβρανών προκειμένου να αξιολογηθούν η εμφάνιση, η οσμή, η υφή και η γεύση. Από την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων, προκύπτει ότι οι μεμβράνες χωρίς γκουάρ με λάδι (ΧΓ-ΜΛ) παρουσίασαν υψηλότερη διαπερατότητα στους υδρατμούς, ενώ τα δύο είδη μεμβρανών (ΧΓ-ΧΛ και ΧΓ-ΜΛ) δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά ως προς την αντοχή στον εφελκυσμό ούτε και ως προς το μέτρο ελαστικότητας, ενώ οι μεμβράνες που δεν περιείχαν λάδι (ΧΓ-ΧΛ) παρουσιάζουν μεγαλύτερη παραμόρφωση στην θραύση. Τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού ελέγχου έδειξαν ότι δεν υπάρχουν αισθητές διαφορές ως προς τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τεσσάρων ειδών μεμβρανών καθώς και ότι μεγάλο ποσοστό των δοκιμαστών απάντησαν θετικά στην πρόθεση κατανάλωσης.

Λέξεις-κλειδιά: Βρώσιμες μεμβράνες, φρούτα και λαχανικά, συσκευασία τροφίμων

Abstract

The role of food packaging is multifaceted, the main objective of which is the total protection of the product from both exogenous and endogenous factors. The widespread use of non-renewable and non-biodegradable packaging materials raises the concern of consumers and industries about environmental-reasons. Therefore, it is considered necessary to use sustainable packaging such as edible films composed of biopolymers, lipids and additives. The aim of the overall study is to show the development of films that contain all the valuable ingredients of the Greek salad and the comparison of their physico-mechanical and organoleptic properties. In this thesis, the main components of the edible films produced from fruits and vegetables, their production process, but also their main physico-mechanical properties are mentioned. In the second part, the process of producing edible films based on Greek salad ingredients is described on a laboratory scale. The main ingredients of the mixture are tomato pulp, oregano oil, cucumber, pepper, onion extracts and pectin (as a binding agent). In some recipes, olive oil and guar gum are also added which leads to the following combinations: films without oil and without guar (XL-XG), films without oil but with guar (XL-MG), films with oil and without guar (ML- XG) and films with oil but also with guar (ML-MG). Then, the physico-mechanical requirements of guar-free films are examined, specifically water vapor permeability, tensile strength, elongation at break and high elasticity. Finally, the organoleptic control of all four types of films took place in order for the appearance, smell, texture and taste to be evaluate. The statistical analysis revealed that the membranes without guar but with oil (XG-ML) presented a higher water vapor permeability, while the two types of membranes (XG-XL and XG-ML) do not indicate a statistically significant difference neither in terms of tensile strength nor in terms of modulus of elasticity. The membranes that did not contain oil (XG-XL) showed a greater deformation at break. The results of the organoleptic test presented that there are insufficient differences in terms of the organoleptic characteristics of the four types of membranes and that a large percentage of the testers responded positively to the intention of consumption.

Keywords: Edible films, fruits and vegetables, food packaging

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
Εισαγωγή.....	9
A. Θεωρητικό μέρος	12
1. Συστατικά μίγματος μεμβρανών	12
Φρούτα και Λαχανικά	12
1.1 Πολυσακχαρίτες.....	12
1.1.1. Πηκτίνη.....	13
1.1.2. Κυτταρίνη.....	13
1.1.3. Χιτοζάνη.....	14
1.1.4. Άμυλο	15
1.2. Υδροκolloειδή ή κόμμεα	15
1.2.1. Κόμμι Γκουάρ (guar gum).....	16
1.3. Πρωτεΐνες.....	16
1.3.1. Ζελατίνη	17
1.3.2. Ζεΐνη.....	17
1.3.3. Καζεΐνη και πρωτεΐνες του ορού του γάλακτος	18
1.4. Λιπίδια.....	18
1.5. Πρόσθετα	19
1.5.1. Πλαστικοποιητές	19
1.5.2. Γαλακτωματοποιητές.....	20
1.5.3. Βιονανοσύνθετα	21
1.5.4. Διασταυρούμενα μόρια.....	21

1.5.5.	Αντιμικροβιακές ουσίες.....	22
2.	Διαδικασία παραγωγής βρώσιμων μεμβρανών.....	23
2.1.	Χύτευση Διαλύματος	23
2.1.1.	Ασυνεχής χύτευση.....	23
2.1.2.	Συνεχής χύτευση.....	24
2.2.	Απαέρωση	24
2.3.	Ξήρανση.....	25
3.	Ιδιότητες βρώσιμων μεμβρανών από φρούτα και λαχανικά	26
3.1.	Διαπερατότητα στους υδρατμούς.....	26
3.2.	Διαπερατότητα στο οξυγόνο	27
3.3.	Μηχανικές ιδιότητες.....	28
3.4.	Θερμικές ιδιότητες	30
3.5.	Σταθερότητα και χρόνος ζωής	31
3.6.	Αντιμικροβιακές ιδιότητες	31
3.7.	Θρεπτικές ιδιότητες.....	32
4.	Οργανοληπτικός έλεγχος.....	33
B.	Πειραματικό μέρος	34
1.	Υλικά και Μέθοδοι.....	34
2.	Πειράματα	37
2.1.	Διαπερατότητα στους υδρατμούς.....	37
2.2.	Μηχανικές Ιδιότητες	39
2.3.	Μέτρηση πάχους μεμβρανών	40
2.4.	Οργανοληπτικός έλεγχος.....	41
3.	Στατιστική επεξεργασία.....	42
4.	Αποτελέσματα και συζήτηση.....	43
4.1.	Διαπερατότητα στους υδρατμούς.....	43
4.2.	Μηχανικές ιδιότητες.....	44

4.3. Οργανοληπτικός έλεγχος.....	47
A. Συμπεράσματα	53
B. Δυνητικές εφαρμογές.....	54
Βιβλιογραφία.....	55

Εισαγωγή

Η μεγάλη σπουδαιότητα της συσκευασίας των τροφίμων συνίσταται στον ρόλο της στην προστασία της ποιότητας του τροφίμου, την αύξηση της διάρκειας ζωής ορισμένων ειδών (φρούτα και λαχανικά, κρέας, ψάρια, γαλακτοκομικά προϊόντα κ.α), στην προστασία από εξωτερικούς παράγοντες, στην συγκράτηση του προϊόντος και στην παροχή πληροφοριών στους καταναλωτές (Παπαδάκης, 2019; Marsh & Bugusu, 2007). Μηχανικές φθορές, υγρασία και αέρια περιβάλλοντος, φως, θερμοκρασιακές αλλαγές και μικροβιακή επιμόλυνση συγκροτούν τους κινδύνους από τους οποίους απειλείται το τρόφιμο και η συσκευασία δύναται να το προστατέψει (Παπαδάκης, 2019).

Βασικά υλικά συσκευασίας τροφίμων είναι το γυαλί, τα μέταλλα (λευκοσίδηρος, αλουμίνιο), το χαρτί, τα πλαστικά και οι συνδυασμοί εύκαμπτων πλαστικών (Παπαδάκης, 2019). Η συσκευασία των τροφίμων μπορεί να εντοπιστεί τον 18^ο αιώνα, ενώ από τον 20^ο αιώνα εκτός από τα υλικά που προαναφέρθηκαν μπορούν να εντοπιστούν ορισμένες καινοτομίες όπως οι ενεργές (συστήματα απορρόφησης οξυγόνου, απορρόφησης υγρασίας, άλλων αερίων, απελευθέρωση αντιμικροβιακών ουσιών κ.α) και «έξυπνες» συσκευασίες (αυτό-θερμενόμενες συσκευασίες, μεμβράνες μεταβλητής διαπερατότητας στα αέρια, ετικέτες ραδιοσυχνικής αναγνώρισης RFID, χρονοθερμοκρασιακοί δείκτες TTI, δείκτες συγκέντρωσης αερίων, θερμοχρωμικά μελάνια κ.α) (Han κ.ά., 2018).

Κατά το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα, τα πετροχημικά πλαστικά κυριάρχησαν στην αγορά της συσκευασίας τροφίμων, εξαιτίας της χαμηλής τιμής τους, της μηχανικής αντοχής, των ιδιοτήτων φραγμού, της δυνατότητας για θερμοσυγκόλληση κ.λπ (Otoni κ.ά., 2017). Τα θερμοπλαστικά όπως το πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE), το πολυπροπυλένιο (PP), το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET), το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE), το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), το πολυστυρένιο (PS) και το διογκωμένο πολυστυρένιο, μπορούν να υποστούν επεξεργασία χρησιμοποιώντας θερμότητα, γεγονός που τα καθιστά ανακυκλώσιμα. Ωστόσο, η βιομηχανία συσκευασίας καταναλώνει τους υψηλότερους όγκους πλαστικών παγκοσμίως και αποτελεί την κύρια πηγή πλαστικών απορριμμάτων, εγείροντας ανησυχίες για τις περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις. Τα απορρίμματα αυτά προέρχονται από πλαστικά μίας χρήσης, ready-to-eat γεύματα και γρήγορα σνακ και από φαγητό που απορρίπτεται χωρίς να έχει καταναλωθεί μαζί με το υλικό συσκευασίας (food waste) (Ncube κ.ά., 2020). Επιπλέον, εκτιμάται ότι έως το 2050 θα υπάρχει αύξηση κατά 50% των παγκοσμίως προμηθειών τροφίμων εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού

γεγονός που θα αυξήσει κατά συνέπεια και την ζήτηση για υλικά συσκευασίας (Guillard κ.ά., 2018). Ως αποτέλεσμα, υπάρχει μεγάλη ανάγκη για φιλικά προς το περιβάλλον, βιώσιμα υλικά συσκευασίας που θα παρουσιάζουν τις επιθυμητές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες καθώς και τις απαραίτητες ιδιότητες φραγμού για την προστασία του τροφίμου (Ncube κ.ά., 2020).

Η υιοθέτηση της πράσινης συσκευασίας περιλαμβάνει την χρήση α) επαναχρησιμοποιούμενων υλικών, β) ανακυκλώσιμων υλικών και γ) βιολογικής βάσης και βιοαποικοδομήσιμων υλικών (Ncube κ.ά., 2020). Στα βιολογικής βάσης περιλαμβάνονται: πολυμερή που προέρχονται κατευθείαν από την βιομάζα (πχ πολυσακχαρίτες), πολυμερή παραγόμενα με χημική σύνθεση από μονομερή που παράγονται ετησίως από ανανεώσιμες πρώτες ύλες (πχ πολυγαλακτικό οξύ, βιοPET) και πολυμερή παραγόμενα από φυσικούς ή γενετικά τροποποιημένους μικροοργανισμούς (πχ βακτηριακή κυτταρίνη) (Παπαδάκης, 2019).

Η ανάγκη για φιλικά προς το περιβάλλον υλικά συσκευασίας, οδήγησε τις βιομηχανίες και τους ερευνητές στην χρησιμοποίηση δομικών βιοπολυμερών, όπως πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες, και λιπιδίων για την σύνθεση βρώσιμων μεμβρανών (H. Wang κ.ά., 2021). Επιπλέον, η έρευνα για τα βρώσιμα φιλμ έχει υποστεί μεγάλη αύξηση τα τελευταία είκοσι χρόνια, λόγω του ενδιαφέροντος των καταναλωτών για την υγεία, τη διατροφή, την ασφάλεια των τροφίμων καθώς και για τα περιβαλλοντικά ζητήματα (Espitia κ.ά., 2014). Οι πολυσακχαρίτες είναι καλοί φραγμοί στα αέρια, παρουσιάζουν καλή μηχανική αντοχή αλλά έχουν μικρή αδιαπερατότητα στους υδρατμούς (Lazaridou & Biliaderis, 2002). Οι πρωτεΐνες περιλαμβάνουν δεσμούς υδρογόνου, ιοντικούς, υδρόφοβους και ομοιοπολικούς δεσμούς, και παράγουν μεμβράνες που είναι επίσης κακοί φραγμοί στην υγρασία αλλά με καλές ιδιότητες φραγμού σε αέρια και λίπη και με καλές μηχανικές ιδιότητες (Παπαδάκης, 2019; Bourtoom, 2008). Επίσης, για την παραγωγή βρώσιμων μεμβρανών ενδείκνυται και η χρήση λιπιδίων ως πρόσθετα που αποτελούν καλούς φραγμούς στην υγρασία εξαιτίας της χαμηλής πολικότητάς τους. Ωστόσο, τα λιπίδια δεν αποτελούν βιοπολυμερή και συνεπώς δεν χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την παραγωγή μεμβρανών καθώς δεν είναι δυνατή η μορφοποίηση τους σε συνεκτικά φιλμ (Παπαδάκης, 2019).

Εκτός από αυτά τα συστατικά, ο διαλύτης, οι πλαστικοποιητές και τα υπόλοιπα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι επίσης εδώδιμα, ενώ εξυπακούεται ότι οι βρώσιμες μεμβράνες θα αποτελούν την πρωτογενή συσκευασία και θα πρέπει οι ίδιες να συσκευάζονται με άλλο μη βρώσιμο υλικό (Falguera κ.ά., 2011; Otoni κ.ά., 2017).

Οι εδώδιμες συσκευασίες αποτελούνται από ένα υπόστρωμα βασισμένο σε βιομακρομόρια προκειμένου να δημιουργηθεί συνεκτική δομή και έναν διαλύτη (συνηθέστερα

νερό). Ακόμα, μπορεί να είναι απαραίτητη η προσθήκη πλαστικοποιητών ώστε να αυξήσει την ευελιξία της μεμβράνης, ενώ προστίθενται επίσης και άλλα συστατικά όπως διασταυρούμενα μόρια (crosslinkers) και βιονανοσύνθετα με σκοπό την ενίσχυση των ιδιοτήτων φραγμού και της ελαστικότητας των μεμβρανών (Otoni κ.ά., 2017). Οι μηχανικές ιδιότητες και οι ιδιότητες φραγμού των μεμβρανών δεν εξαρτώνται μόνο από την βιοπολυμερική μήτρα, αλλά και από τη συμβατότητά τους με το τρόφιμο (Falguera κ.ά., 2011).

Οι εδώδιμες συσκευασίες χωρίζονται στις εδώδιμες μεμβράνες και στις εδώδιμες επικαλύψεις. Οι μεμβράνες σχηματίζονται αυτόνομα και εφαρμόζονται έπειτα στην επιφάνεια του τροφίμου ή κατασκευάζονται βρώσιμα σακίδια. Οι επικαλύψεις από την άλλη μεριά σχηματίζονται απευθείας στην επιφάνεια του τροφίμου με εμβάπτιση, ψεκασμό ή πανάρισμα (ανάμειξη τροφίμου και διαλύματος επικάλυψης σε περιστρεφόμενο μπολ και ακολουθείται ξήρανση) (Otoni κ.ά., 2017).

Οι βρώσιμες μεμβράνες έχουν πολλά πλεονεκτήματα: είναι φιλικές προς το περιβάλλον, προστατεύουν το τρόφιμο, βελτιώνουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και είναι φορείς αντιμικροβιακών και αντιοξειδωτικών ουσιών και ως εκ τούτου αυξάνονται συνεχώς οι προσπάθειες για εφαρμογή τους στην συσκευασία των τροφίμων.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται λόγος για τα συστατικά των βρώσιμων φιλμ και τις διάφορες ιδιότητές τους, ενώ στο δεύτερο μέρος αναλύονται τα πειράματα και εξάγονται αποτελέσματα από την εργαστηριακή παρασκευή βρώσιμων μεμβρανών από Ελληνική σαλάτα.

A. Θεωρητικό μέρος

1. Συστατικά μίγματος μεμβρανών

Φρούτα και Λαχανικά

Για την παραγωγή των βρώσιμων μεμβρανών χρησιμοποιούνται συχνά ως πρωταρχικά συστατικά τα φρούτα και τα λαχανικά, καθώς είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά, αντιοξειδωτικές ουσίες και προσδίδουν ποικιλία επιθυμητών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών. Ο αριθμός των φυτών που έχουν χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή μεμβρανών ανέρχεται στα 35 και παραπάνω είδη. Για τη διαδικασία αυτή, μπορεί να χρησιμοποιηθούν είτε τμήματα των φυτών είτε επιλεγμένα μέρη τους. Η χρήση και των δύο περιπτώσεων παρ' όλα αυτά, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία γίνεται συνήθως υπό τη μορφή πολτού, χυμού, εκχυλίσματος αλλά και υπολειμμάτων επεξεργασίας αυτών των τροφίμων.

Οι εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις φρούτων και λαχανικών μπορούν να παραχθούν από ένα τύπο μακρομορίου ή από μίγμα πολλών συστατικών όπως μακρομορίων, πληρωτικών και πρόσθετων συστατικών. Για την επίτευξη του επιθυμητού στόχου, οι μεμβράνες μπορούν να παραχθούν ως μία ή πολλές επιστρώσεις υλικών. Τα τρόφιμα από τα οποία έχουν παραχθεί βρώσιμες μεμβράνες είναι συνήθως μήλο, μπανάνα, αζαί, μπρόκολο, καρότο, σέλερι, guava και πατζάρι, ασερόλα, ιβίσκος, μάνγκο, παπάγια, passion fruit, φράουλα τομάτα, καρπούζι, ροδάκινο, αχλάδι.

Υπό μορφή υπολειμμάτων καρπού έχουν χρησιμοποιηθεί μήλο, μπανάνα, καρότο, κολοκύθι, αγγούρι, κράνμπερι, σταφύλι, μαρούλι, πορτοκάλι, passion fruit, ρόκα, σπανάκι, κολοκασία, καρπούζι (Otoni κ.ά., 2017). Για την παρασκευή βρώσιμων μεμβρανών έχει χρησιμοποιηθεί αλεύρι που διαμορφώθηκε από στερεό υπόλειμμα επεξεργασίας φρούτων και λαχανικών. Το αλεύρι αυτό αποτελείται από πορτοκάλι, passion fruit, καρότο, καρπούζι, σπανάκι, μαρούλι, μάντα, αγγούρι, κολοκασία και ρόκα (Andrade et al., 2016). Υπό μορφή χυμού/εκχυλίσματος έχουν χρησιμοποιηθεί ασερόλα, καλαμπόκι, παπάγια, ρόδι, φράουλα (Otoni et al., 2017).

1.1 Πολυσακχαρίτες

Οι πολυσακχαρίτες (παράγωγα κυτταρίνης, πηκτίνη, άμυλο, αλγινικά, χιτοζάνη, καραγενάνες, κ.α) διαθέτουν καλές ιδιότητες για τον σχηματισμό βρώσιμων μεμβρανών. Τα βιοπολυμερή αυτά ή τα μείγματά τους προσδίδουν μεμβράνες ή επικαλύψεις που θεωρούνται γενικά ως αποτελεσματικοί φραγμοί αερίων. Εν αντιθέσει, η υδρόφιλη φύση αυτών των υλικών έχει ως αποτέλεσμα ελάχιστες ιδιότητες φραγμού στην υγρασία (Lazaridou &

Biliaderis, 2002). Η άφθονη διαθεσιμότητά τους, η ευκολία στην χρήση, το χαμηλό κόστος και οι καλοί φραγμοί έναντι λιπών και ελαίων που παρουσιάζουν, επιτρέπουν την εκτεταμένη χρήση τους για την παραγωγή βρώσιμων μεμβρανών (Παπαδάκης, 2019).

1.1.1. Πηκτίνη

Η πηκτίνη είναι μια οικογένεια πολύπλοκων κολλοειδών πολυσακχαριτών που υπάρχουν σε όλα τα πρωτεύοντα κυτταρικά τοιχώματα των φυτών. Η περίπλοκη δομή των πολυσακχαριτών αυτών και η διατήρηση από τα φυτά του μεγάλου αριθμού γονιδίων που απαιτούνται για τη σύνθεση της πηκτίνης, υποδηλώνουν ότι οι πηκτίνες έχουν πολλαπλές λειτουργίες στην ανάπτυξη τους (Ridley κ.ά., 2001). Αποτελούνται από γραμμικά πολυμερή του α-D-γαλακτουρονικού οξέος συνδεδεμένα με α-1,4-γλυκοζιτικούς δεσμούς. Μέρος των καρβοξυλομάδων του πολυμερούς είναι εστεροποιημένο με μεθανόλη, ενώ το άλλο μέρος δύναται να είναι αλατοειδώς ενωμένο με διάφορα μεταλλοκατιόντα, συνηθέστερα ασβεστίου και μαγνησίου. Σύμφωνα με τον βαθμό εστεροποίησης (DE), οι εμπορικές πηκτίνες διακρίνονται σε πηκτίνες με υψηλό DE (50-70%) ή πηκτίνες με υψηλό βαθμό μεθοξυλομάδων (HM) και πηκτίνες με χαμηλό DE (25-50%) ή με χαμηλό ποσοστό μεθοξυλομάδων (LM) (Αναγνωστοπούλου & Ταλλέλη, 2008). Για την παραγωγή βρώσιμων μεμβρανών χρησιμοποιούνται LM πηκτίνες, όπου τα κατιόντα ασβεστίου δημιουργούν γέφυρες μεταξύ γειτονικών αλυσιδών (Παπαδάκης, 2019). Στη βιομηχανία τροφίμων, η πηκτίνη χρησιμοποιείται ως πηκτωματοποιητής, σταθεροποιητικός ή πηκτικός παράγοντας σε προϊόντα όπως μαρμελάδες, ροφήματα γιαουρτιού και παγωτό. Η πηκτίνη αποτελεί μια κατάλληλη πολυμερική μήτρα για την επεξεργασία βρώσιμων μεμβρανών που προορίζονται να χρησιμοποιηθούν ως ενεργές συσκευασίες τροφίμων. Αυτό οφείλεται στην βιοαποικοδομησιμότητα, την βιοσυμβατότητα, την εδωδιμότητα καθώς και στις ευέλικτες χημικές και φυσικές ιδιότητές της (όπως πήξη, επιλεκτική διαπερατότητα αερίων, κ.λπ) (Espitia κ.ά., 2014). Η πηκτίνη προσφέρει στις εδωδιμες μεμβράνες καλό φραγμό στο οξυγόνο, αλλά μειονεκτεί στο φραγμό των υδρατμών και στις μηχανικές τους ιδιότητες (Younis & Zhao, 2019).

1.1.2. Κυτταρίνη

Η κυτταρίνη είναι ένα μη διακλαδισμένο πολυμερές μονάδων D-γλυκόζης που ενώνονται με β-1,4 γλυκοζιτικούς δεσμούς. Η διαμόρφωση β- επιτρέπει στην κυτταρίνη να σχηματίζει μακριές ίσιες αλυσίδες. Παράλληλες αλυσίδες ινιδίων σχηματίζονται και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου, δημιουργώντας έτσι μια σταθερή υποστηρικτική δομή.

Οι ευθείες αλυσίδες που σχηματίζονται από τους δεσμούς αυτούς είναι οι ιδανικότερες για την κατασκευή ινών που παρουσιάζουν αντοχή στον εφελκυσμό (Berg κ.ά., 2015). Λόγω των πολλών δεσμών υδρογόνου δεν τήκεται εύκολα και είναι αδιάλυτη στο νερό, ενώ για την παραγωγή πλαστικού απαιτείται συχνά αντικατάσταση των υδροξυλομάδων από αιθερομάδες. Οι πιο συνηθισμένοι αιθέρες κυτταρίνης για παραγωγή βρώσιμων μεμβρανών είναι η μεθυλοκυτταρίνη (MC), η υδροξυπροπυλοκυτταρίνη (HPC), η υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνη (HPMC) και η καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (CMC) (Παπαδάκης, 2019). Η ευαισθησία των μεμβρανών στο νερό μειώνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε CMC (Su κ.ά., 2010). Γενικά, αυτά τα φιλμ έχουν καλές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες σχηματισμού, είναι εύκαμπτα και υδατοδιαλυτά, χωρίς επίδραση στη γεύση και την οσμή. Είναι ανθεκτικά στα έλαια, αλλά οι ιδιότητες φραγμού μειώνονται όσον αφορά το οξυγόνο και τους υδρατμούς (Παπαδάκης, 2019).

1.1.3. Χιτοζάνη

Η χιτοζάνη είναι ένας αζωτούχος πολυσακχαρίτης, κύριο παράγωγο της χιτίνης που παράγεται με αποακετυλίωση της τελευταίας παρουσία βάσεων. Αποτελείται από ομάδες N-ακετυλ-D-γλουκαζαμίνης, ενωμένες με β -(1→4) δεσμούς. Περίπου το 85% της εμπορικά διαθέσιμης χιτοζάνης είναι αποακετυλιωμένη. Σε ελεύθερη μορφή αμίνης είναι αδιάλυτη στο νερό σε ουδέτερο pH (Ridley κ.ά., 2001). Σημαντικές δυνατότητες της χιτοζάνης όπως μηδενική τοξικότητα, βιοαποδομησιμότητα και βιοσυμβατότητα με ανθρώπινους ιστούς την καθιστούν κατάλληλη για εφαρμογές στη βιομηχανία των τροφίμων (Falguera κ.ά., 2011). Ιδιαίτερης σημασίας είναι και οι αντιμικροβιακές ιδιότητες που έχει η χιτοζάνη έναντι ενός μεγάλου αριθμού Gram-αρνητικών και Gram-θετικών βακτηρίων και μυκήτων, εξαιτίας της αποδέσμευσης πρωτονιωμένων ομάδων γλυκοζαμίνης (Παπαδάκης, 2019). Διάφορες μελέτες έχουν δείξει πως μεμβράνες με βάση τη χιτοζάνη αυξάνουν το χρόνο ζωής φρούτων και λαχανικών με τους εξής τρόπους: αυξάνουν τη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα και μειώνουν αυτή του οξυγόνου, αναστέλλουν την ανάπτυξη αλλοιογόνων μικροοργανισμών και μειώνουν την παραγωγή αιθυλενίου (Falguera κ.ά., 2011). Ημιπερατές μεμβράνες χιτοζάνης χρησιμοποιούνται στη συσκευασία τροφίμων, τροποποιώντας την εσωτερική ατμόσφαιρα, χάρη στις καλές ιδιότητες φραγμού στο οξυγόνο και στο διοξείδιο του άνθρακα που έχουν, επιβραδύνουν την ωρίμανση και τη διαπνοή σε φρέσκα φρούτα και λαχανικά. Μελέτες πάνω σε φρέσκα λαχανικά και φρούτα όπως φράουλες, μούρα, τομάτας, καρότου, μάνγκου, ανανά και μανιταριού, έδειξαν ότι η επικάλυψη με χιτοζάνη σε αυτά

προκάλεσε επιμήκυνση της διάρκειας ζωής και περιορισμό μικροβιακής ανάπτυξης (Bourtoom, 2008).

1.1.4. Άμυλο

Το άμυλο είναι ένας άφθονος πολυσακχαρίτης ο οποίος λαμβάνεται από δημητριακά, όσπρια, φύτερες και βολβούς φυτών. Αποτελείται από ένα μίγμα δύο πολυμερών, αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης. Η αμυλόζη είναι ένα γραμμικό πολυμερές D-γλυκόζης που συνδέονται με α -(1→4) γλυκοζιτικούς δεσμούς σε γραμμική διάταξη. Η αμυλοπηκτίνη από την άλλη είναι ένα μόριο διακλαδωμένο που αποτελείται από κύριο σκελετό αμυλόζης και πλευρικές αλυσίδες D-γλυκόζης ενωμένες με τον κύριο κορμό του μορίου με α -(1→6) γλυκοζιτικούς δεσμούς. Το άμυλο ως βρώσιμο πολυμερές μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία λεπτών φιλμ σε συνδυασμό με αντιμικροβιακές ουσίες, ώστε να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής τους. Οι μεμβράνες που σχηματίζονται με άμυλο είναι συχνά πολύ εύθραυστες και έχουν κακές μηχανικές ιδιότητες (Peressini κ.ά., 2003). Οι πλευρικές αλυσίδες της αμυλοπηκτίνης επηρεάζουν το σχηματισμό φιλμ και τις ρεολογικές τους ιδιότητες (Peressini κ.ά., 2003), για αυτό και τα φιλμ με βάση την αμυλοπηκτίνη είναι εύθραυστα και ασυνεχή. Αντίθετα, τα μόρια από τη γραμμική αμυλόζη σχηματίζουν συνεκτικά και ανθεκτικά φιλμ.

Πλεονέκτημα των μεμβρανών από άμυλο είναι η χαμηλή διαπερατότητα στο οξυγόνο. Επικαλύψεις με άμυλο που έχουν γίνει σε φράουλες έδειξαν καλή διατηρησιμότητα των ποιοτικών χαρακτηριστικών σε σχέση με άλλες δοκιμές (Bourtoom, 2008). Στα μειονεκτήματά τους συμπεριλαμβάνεται η υψηλή διαπερατότητα στους υδρατμούς, καθώς και η διάλυσή τους στο νερό λόγω του υδρόφιλου χαρακτήρα τους. Ωστόσο, η διαλυτότητα στο νερό μπορεί να βελτιωθεί με μερική αιθεροποίηση αμύλου υψηλής περιεκτικότητας σε αμυλόζη με οξείδιο του προπυλενίου (Bourtoom, 2008).

1.2. Υδροκολλοειδή ή κόμμεα

Τα υδροκολλοειδή αποτελούν μία κατηγορία βιοπολυμερών που απαντώνται παντού στη φύση. Τα περισσότερα φυσικά υδροκολλοειδή είναι φυτικής προέλευσης (αλιγινικά άλατα, πηκτίνη, άμυλο, καραγενάνες άγαρ) συμπεριλαμβανομένων των χερσαίων φυτών και των φυκιών, ενώ η ζελατίνη, η χιτίνη και η χιτοζάνη που προέρχονται από ζώα βρίσκουν επίσης ευρείες εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων. Εκτός από φυτικής και ζωικής προέλευσης, οι μικροοργανισμοί εκκρίνουν μια ποικιλία πολυσακχαριτών ως δευτερογενείς μεταβολίτες

όπως η βακτηριακή κυτταρίνη, η ξανθάνη, η δεξτράνη κ.α οι οποίοι παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα φυσικοχημικών ιδιοτήτων και άλλων δομικών και μεταβολικών λειτουργιών. Το κύριο πλεονέκτημα των φυσικών υδροκολλοειδών σχετίζεται με την αυξημένη μοριακή τους συγγένεια με το νερό που επιτρέπει την τροποποίηση των ιδιοτήτων της μήτρας τους (π.χ ρεολογία, χαρακτηριστικά υφής). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τρόφιμα ως πηκτικοί παράγοντες, αναστολείς συνέργειας, παράγοντες διαύγασης και σταθεροποίησης αφρού, ως αναστολείς κρυστάλλωσης καθώς και για την διαμόρφωση βρώσιμων μεμβρανών (Manzoor κ.ά., 2020).

1.2.1. Κόμμι Γκουάρ (guar gum)

Το κόμμι γκουάρ προέρχεται από το ενδοσπέρμιο του οσπριοειδούς φυτού *Cyamopsis tetragonoloba*. Η ικανότητά του να σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου με μόρια νερού καθιστά δυνατές τις βιομηχανικές εφαρμογές του, ενώ συνήθως χρησιμοποιείται ως πυκνωτικό μέσο και ως σταθεροποιητής. Το γκουάρ είναι ένας πολυσακχαρίτης με υψηλό μοριακό βάρος που αποτελείται κυρίως από πολυσακχαρίτες των γαλακτομαννανών που είναι γραμμικές αλυσίδες (1→4)-β-D-μαννοπυρανοσυλικών μονάδων με υπολείμματα (1→6)-α-D-γαλακτοπυρανοσυλικών μορίων ως πλευρικές αλυσίδες. Κατά τη διασπορά του σε πολικούς διαλύτες, διογκώνεται και/ή διαλύεται σχηματίζοντας ισχυρούς δεσμούς υδρογόνου, ενώ σε μη πολικούς διαλύτες σχηματίζει ασθενείς δεσμούς υδρογόνου. Ο ρυθμός διάλυσης και η ανάπτυξη ιζώδους του γκουάρ αυξάνεται με τη μείωση του μεγέθους των σωματιδίων, μείωση του pH και αύξηση της θερμοκρασίας. Η παρουσία διαλυμένων αλάτων και άλλων υγροσκοπικών παραγόντων όπως η σακχαρόζη μειώνει τα ποσοστά ενυδάτωσης του γκουάρ. Στη βιομηχανία τροφίμων, η χρήση του συνίσταται ως πρόσθετο τροφίμων με σκοπό την σταθεροποίηση τους και ως πηγή φυτικών ινών (Mudgil κ.ά., 2014).

1.3. Πρωτεΐνες

Στην φυσική τους κατάσταση, οι πρωτεΐνες αναφέρονται είτε ως ινώδεις πρωτεΐνες: αδιάλυτες στο νερό και χρησιμεύουν ως τα κύρια δομικά υλικά των ζωικών ιστών, είτε ως σφαιρικές πρωτεΐνες: διαλυτές στο νερό ή σε υδατικά διαλύματα οξέων, βάσεων ή αλάτων. Οι ινώδεις πρωτεΐνες συνδέονται στενά μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου ενώ οι σφαιρικές, αναδιπλώνονται σε περίπλοκες δομές και συγκρατούνται με έναν συνδυασμό δεσμών που

περιλαμβάνει δεσμούς υδρογόνου, ιοντικούς, υδρόφοβους και ομοιοπολικούς (δισουλφιδικούς δεσμούς). Γενικά, οι πρωτεΐνες μετουσιώνονται (με θερμότητα, προσθήκη οξέος, βάσεως) προκειμένου να σχηματίσουν πιο εκτεταμένες δομές για τον σχηματισμό μεμβρανών. Οι δομές αυτές δημιουργούν δεσμούς υδρογόνου, ιοντικούς, υδρόφοβους και ομοιοπολικούς δεσμούς. Η αλληλεπίδραση αλυσίδας με αλυσίδα (chain-to-chain) παράγει συνεκτικές και δυνατές μεμβράνες, λιγότερο διαπερατές σε αέρια και ατμούς αλλά πιο δύσκαμπτες. Έχουν ικανοποιητικές οπτικές ιδιότητες και αδιαπερατότητα στο οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα, αρώματα και λίπη. Συμπερασματικά, μεμβράνες αποτελούμενες από πρωτεΐνες πρόκειται να είναι καλοί φραγμοί στο οξυγόνο σε χαμηλή σχετικά υγρασία (Bourtoom, 2008). Ωστόσο οι μεμβράνες που παράγονται από πρωτεΐνες τροφίμων οι οποίες είναι εγγενώς υδρόφιλες έχουν χαμηλή αντοχή στους υδρατμούς, κάτι που περιορίζει την αποκλειστική εφαρμογή τους συσκευασία τροφίμων (Ramos κ.ά., 2012). Χρησιμοποιούνται συνήθως πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης όπως κολλαγόνο, ζελατίνη, πρωτεΐνες τυρογάλακτος, καζεΐνη και φυτικής προέλευσης όπως γλουτένη σίτου, ζεΐνη αραβοσίτου, πρωτεΐνες σόγιας, πρωτεΐνη φασολιών και πρωτεΐνη φυσιτικού (Παπαδάκης, 2019; Gennadios κ.ά., 1993).

1.3.1. Ζελατίνη

Η ζελατίνη παράγεται με μερική υδρόλυση του κολλαγόνου (ομάδα ινωδών πρωτεϊνών του ζωικού ιστού). Οι πιο σημαντικές ιδιότητες των μεμβρανών ζελατίνης είναι η πρόσληψη νερού, η γήρανση του νερού (ποσότητα απώλειας νερού με το χρόνο), οι μηχανικές ιδιότητες (ιδιαίτερα η αντίσταση), οι θερμομηχανικές ιδιότητες (αλλαγή της μηχανικής αντίστασης σε υψηλές θερμοκρασίες) και οι ιδιότητες φραγμού σε σχέση με τη μετανάστευση υδρατμών, οξυγόνου και άλλων αερίων. Αν και τα φιλμ ζελατίνης έχουν συγκριτικά καλές ιδιότητες φραγμού οξυγόνου και ικανοποιητική μηχανική αντοχή σε χαμηλά ή μεσαία επίπεδα σχετικής υγρασίας, τα χαρακτηριστικά καθίστανται προβληματικά σε υψηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας λόγω της υδρόφιλης φύσης της ζελατίνης (Liu κ.ά., 2015).

1.3.2. Ζεΐνη

Η ζεΐνη είναι η πιο σημαντική πρωτεΐνη στο καλαμπόκι. Είναι μια πρωτεΐνη πλούσια σε προλαμίνη, αδιάλυτη στο νερό και εκχυλίζεται σε 70–80% αιθανόλη. Η υψηλή περιεκτικότητα της ζεΐνης σε μη πολικά αμινοξέα συμβάλλει στην υδροφοβικότητά της ενώ χαρακτηρίζεται επίσης ως θερμοπλαστικό υλικό. Η ανάπτυξη μεμβράνης με ζεΐνη οφείλεται στην παρουσία υδρόφοβων δεσμών, δεσμών υδρογόνου και ορισμένων δισουλφιδικών δεσμών

μεταξύ των αλυσίδων. Τα φιλμ μου προκύπτουν είναι εύθραυστα, αλλά έχουν σχετικά καλή αδιαπερατότητα στους υδρατμούς (Παπαδάκης, 2019; Bourtoom, 2008).

1.3.3. Καζεΐνη και πρωτεΐνες του ορού του γάλακτος

Μεταξύ των βιοπολυμερών, η καζεΐνη, που αποτελεί περίπου το 80% της πρωτεΐνης γάλακτος, θα σχημάτιζε φιλμ με εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες (αντοχή στον εφελκυσμό και επιμήκυνση), λόγω του ιόντος ασβεστίου και άλλων ιόντων άλατος που υπάρχουν στις μεμβράνες αυτές (Wu κ.ά., 2020). Γενικά, οι μεμβράνες που παράγονται από πρωτεΐνες τροφίμων διαθέτουν χαμηλή αντοχή στους υδρατμούς. Οι μεμβράνες με βάση την πρωτεΐνη ορού γάλακτος έχουν επιδείξει μηχανικές ιδιότητες και ιδιότητες φραγμού καλύτερες από τις μεμβράνες με βάση πρωτεΐνες όπως ζεΐνη καλαμποκιού, γλουτένη σίτου ή με βάση πολυσακχαρίτες όπως άμυλο, κυτταρίνη, καραγενάνη και πηκτίνη (Ramos κ.ά., 2012). Βελτιώνουν τις λειτουργικές ιδιότητες των σκευασμάτων τροφίμων λόγω της πηκτικής τους δράσης και των γαλακτοματοποιητικών ικανοτήτων (Dhumal κ.ά., 2019). Ωστόσο, οι ιδιότητες φραγμού στους υδρατμούς και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των μεμβρανών αυτών αντιμετωπίζουν ορισμένους περιορισμούς, επομένως πλαστικοποιητές πρέπει να προστεθούν για βελτίωση της αντοχής στη μεταφορά υγρασίας, καθώς και για την αποφυγή ευθραυστότητας, ενισχύοντας ταυτόχρονα την ευελιξία και την εκτασιμότητα (Ramos κ.ά., 2012).

1.4. Λιπίδια

Λιπίδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συστατικά για την παρασκευή εδωδιμων μεμβρανών. Η βασική λειτουργία των επικαλύψεων με λιπίδια είναι ο καλός φραγμός στην υγρασία εξαιτίας της χαμηλής πολικότητάς τους. Γενικά, οι ιδιότητες που προσδίδουν τα λιπίδια στις επικαλύψεις εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του λιπιδικού συστατικού όπως η φυσική του κατάσταση, ο βαθμός κορεσμού και το μήκος της αλυσίδας των λιπαρών οξέων (Chen κ.ά., 2022)(Dangaran et al., 2009). Για παράδειγμα, το υδρόφοβο τμήμα του λιπιδίου σχηματίζει παχύτερες και πιο εύθραυστες μεμβράνες, ενώ κορεσμένα λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας σχηματίζουν επικαλύψεις με εξαιρετικές ιδιότητες φραγμού στην υγρασία. Τα λιπίδια μπορούν επίσης να μεταφέρουν ορισμένα υδρόφοβα ενεργά συστατικά για την παρασκευή

σύνθετων μεμβρανών, όπως καροτενοειδή, διάφορα αιθέρια έλαια, κουρκουμίνη, τοκοφερόλες και φυτοστερόλες (Chen κ.ά., 2022). Οι επικαλύψεις με βάση τα λιπίδια συνδυάζονται συνήθως με πολυσακχαρίτες ώστε να έχουν καλύτερη μηχανική αντοχή (Bourtoom, 2008).

Οι **κηροί** είναι οργανικές ενώσεις που αποτελούνται από μεγάλες αλυσίδες αλκυλίων και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες τους συνθετικούς και τους φυσικούς. Οι πιο αποτελεσματικές ουσίες είναι το κερί μέλισσας και το κερί παραφίνης, το οποίο αποτελείται κατά κύρια βάση από υδρογονάνθρακες και προέρχεται από κλάσμα απόσταξης ακατέργαστου πετρελαίου. Η χρήση των κεριών ως μεμβράνες φραγμού των αερίων και της υγρασίας, αλλά και για την βελτίωση της εμφάνισης γίνεται συνήθως σε ωμά φρούτα και λαχανικά και τυρί. Συχνά οι επικαλύψεις από κηρούς είναι πιο ανθεκτικές στη μεταφορά υγρασίας από τις υπόλοιπες εδώδιμες επικαλύψεις, λιπαρές ή μη (Παπαδάκης, 2019).

Ως εδώδιμες μεμβράνες έχουν χρησιμοποιηθεί **τριγλυκερίδια** και **ακετυλο-γλυκερίδια**. Η ακετυλίωση της μονοστεατικής γλυκερόλης με αντίδραση με οξικό ανυδρίτη αποδίδει το αντίστοιχο προϊόν μονοστεατικής ακετυλιωμένης γλυκερόλης, το οποίο έχει την ιδιότητα να δίνει ένα εύκαμπτο στερεό όμοιο με κερί όταν το τήγμα του στερεοποιηθεί (Παπαδάκης, 2019; Bourtoom, 2008). Η ιδιότητα του φραγμού στους υδρατμούς που προσφέρει αυτό το είδος μεμβράνης είναι μεγαλύτερη από τις μεμβράνες πολυσακχαριτών (Bourtoom, 2008). Τέτοιες επιστρώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί σε τεμάχια κρέατος και πουλερικών, ώστε να μειωθεί η απώλεια της υγρασίας (Παπαδάκης, 2019; Bourtoom, 2008).

Η ρητίνη **Shellac** είναι ένα έκκριμα που προέρχεται από το έντομο *Laccifer lacca*. Είναι διαλυτή σε αλκοόλες και αλκοολικά διαλύματα και χρησιμοποιείται αποκλειστικά ως έμμεσο πρόσθετο σε επικαλύψεις τροφίμων και κόλλες, διότι δεν θεωρείται ουσία GRAS (Generally Recommended As Safe). Το κερί shellac χρησιμοποιείται συχνά στο εμπόριο για επικάλυψη της φλούδας μήλων και εσπεριδοειδών, προσφέροντας γυαλάδα και μείωση της απώλειας νερού (Παπαδάκης, 2019; Bourtoom, 2008; Dangaran κ.ά., 2009).

1.5. Πρόσθετα

1.5.1. Πλαστικοποιητές

Τα βιοπολυμερή που χρησιμοποιούνται προς σχηματισμό μεμβρανών συνδυάζονται με πλαστικοποιητές και άλλα πρόσθετα με σκοπό την τροποποίηση των φυσικών ιδιοτήτων και της λειτουργικότητας των μεμβρανών (Han κ.ά., 2018). Τροποποιούν την τρισδιάστατη οργάνωση των πολυμερών εισχωρώντας μεταξύ των πολυμερικών αλυσίδων, μειώνουν τις ελ-

κτικές διαμοριακές δυνάμεις και αυξάνουν τον ελεύθερο όγκο και την κινητικότητα της αλυσίδας. Οι αλλαγές αυτές στη μοριακή οργάνωση έχουν ως αποτέλεσμα αυξημένη εκτασιμότητα και ευελιξία του ανεπτυγμένου φιλμ, με ταυτόχρονη μείωση της ακαμψίας του (Espitia κ.ά., 2014).

Η παρουσία πλαστικοποιητών αυξάνει την μετάδοση υδρατμών των μεμβρανών με αποτέλεσμα υψηλές τιμές διαπερατότητας, λόγω των μειωμένων διαμοριακών έλξεων και της αυξημένης κινητικότητας που διευκολύνει την μετανάστευση μορίων νερού (Rodríguez κ.ά., 2006). Η ικανότητα ενός πλαστικοποιητή να μειώνει τις αλληλεπιδράσεις των πολυμερών εξαρτάται από την διαμόρφωση των μορίων τους, τον αριθμό των ελεύθερων υδροξυλομάδων, καθώς και από την συμβατότητα του πλαστικοποιητή με το πολυμερές. Επομένως, πρέπει να καθοριστεί ο τύπος και η βέλτιστη συγκέντρωση πλαστικοποιητή προκειμένου να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε κάθε περίπτωση (Santacruz κ.ά., 2015). Η χρήση τους συνιστάται, ειδικά για μεμβράνες με βάση πολυσακχαρίτες και πρωτεΐνες, καθώς η δομή αυτών είναι συχνά εύθραυστη και άκαμπτη λόγω των εκτεταμένων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μορίων του πολυμερούς (Espitia κ.ά., 2014).

Οι πλαστικοποιητές που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν μόνο-, δι- και ολιγοσακχαρίτες όπως η γλυκόζη, η σακχαρόζη, σιρόπια φρουκτόζης-γλυκόζης, πολυόλες όπως η γλυκερίνη, σορβιτόλη, λιπίδια και τα παράγωγά τους (Παπαδάκης, 2019). Εκτός από τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων, οι πλαστικοποιητές επηρεάζουν επίσης την αντίσταση των φιλμ στη διείδυση ατμών και αερίων όπου οι υδρόφιλοι πλαστικοποιητές συνήθως αυξάνουν τη διαπερατότητα υδρατμών του φιλμ. Ακόμα, οι πλαστικοποιητές γενικά μειώνουν την ικανότητα των μεμβρανών να δρουν ως φραγμοί στη μεταφορά αερίων και αρωματικών ενώσεων (Espitia κ.ά., 2014).

1.5.2. Γαλακτωματοποιητές

Οι γαλακτωματοποιητές ορίζονται από την Codex Alimentarius ως πρόσθετα τροφίμων τα οποία σχηματίζουν ή διατηρούν ένα ομοιόμορφο γαλάκτωμα δύο ή περισσότερων φάσεων σε ένα τρόφιμο. Εξαιτίας των υδρόφιλων και υδρόφοβων τμημάτων τους έχουν την ικανότητα να μειώνουν την επιφανειακή τάση μεταξύ μιας λιπαρής και υδατικής φάσης, δημιουργώντας ένα μίγμα χωρίς αιωρούμενα σταγονίδια στο γαλάκτωμα. Η χρήση τους στη βιομηχανία τροφίμων εστιάζει ακόμα στην βελτίωση της γεύσης, στην ομοιόμορφη συνοχή και ευχάριστη υφή στο στόμα (Cox κ.ά., 2021).

Οι γαλακτωματοποιητές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρόσθετα συστατικά σε εδωδιμες μεμβράνες για να επιτευχθεί ομοιόμορφη εξάπλωση και επικάλυψη της επιφάνειας κατά το σχηματισμό τους, καθώς και η προσκόλλησή τους αργότερα στην επιφάνεια των τροφίμων. Στη δημιουργία σύνθετων μεμβρανών σταθεροποιούν το γαλάκτωμα του λιπιδίου στο υδατικό διάλυμα του πολυσακχαρίτη ή της πρωτεΐνης (Παπαδάκης, 2019). Η προσθήκη γαλακτωματοποιητών αυξάνει την ικανότητα του φιλμ να επιβραδύνει την ωρίμανση των τροφίμων που συσκευάζονται (Sharma κ.ά., 2019). Οι γαλακτωματοποιητές που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι μονοστεατική γλυκερόλη, πολυσορβικό 60, πολυσορβικό 80, μονοστεατική σορβιτάνη, λεκιθίνη (Παπαδάκης, 2019; Bravin κ.ά., 2004).

1.5.3. Βιονανοσύνθετα

Η πιο σύγχρονη τεχνική για την βελτίωση της αντοχής των μεμβρανών στους υδρατμούς καθώς και των μηχανικών ιδιοτήτων τους είναι η νανοενίσχυση των βιοπολυμερών για την παραγωγή βιονανοσύνθετων υλικών (bionanocomposites). Τα νανοσύνθετα αποτελούν ένα ευρύ φάσμα υλικών, από δύο ή περισσότερα συστατικά, ένα εκ των οποίων διαθέτει διαστάσεις μεταξύ 1 και 100 nm. Ομοιόμορφη διασπορά των νανοσωματιδίων προκαλεί μία μεγάλη διεπιφάνεια μήτρας/πληρωτικού, η οποία μεταβάλλει τη μοριακή κινητικότητα, τη συμπεριφορά χαλάρωσης και κατά συνέπεια τις μηχανικές και τις θερμικές ιδιότητες της ουσίας (Chaichi κ.ά., 2017). Επιπροσθέτως, συνεισφέρουν στην βελτιωμένη διατήρηση της γεύσης, οσμής, υφής και χρώματος και στην αυξημένη σταθερότητα κατά την μεταφορά και την αποθήκευση. Τα νανοσωματίδια μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και ως φορείς αντιμικροβιακών ουσιών, ενώ έχουν παραχθεί μεμβράνες πρωτεϊνών, πολυσακχαριτών και πουρέ φρούτων με νανοσωματίδια αργίλου, τριπολυφωσφορικής χιτοζάνης και μακροκρυσταλλικής κυτταρίνης (Παπαδάκης, 2019).

1.5.4. Διασταυρούμενα μόρια

Τα διασταυρούμενα μόρια (crosslinkers) είναι μια άλλη κατηγορία προσθέτων που μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε βρώσιμες μεμβράνες φρούτων και λαχανικών. Συνδέουν γειτονικές αλυσίδες μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς δημιουργώντας έτσι ισχυρότερα και λιγότερο διαπερατά φιλμ. Αυτή η διασύνδεση (crosslinking) μπορεί να επιτευχθεί είτε φυσικά με γ - και υπεριώδη-β ακτινοβολία, ή χημικά, με την προσθήκη παραγόντων διασύνδεσης για τρόφιμα, όπως ένζυμα, ιδιαίτερα τρανσγλουταμινάση (Otoni κ.ά., 2017).

1.5.5. Αντιμικροβιακές ουσίες

Η ενσωμάτωση αντιμικροβιακών ουσιών στις εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις είναι μία πολύ σημαντική εφαρμογή, διότι επιβραδύνουν την ανάπτυξη μικροβίων και έτσι αυξάνουν τη διάρκεια ζωής των τροφίμων. Είναι γεγονός ότι αντιμικροβιακοί παράγοντες φυτικής προέλευσης είναι πιο αποδεκτοί από τους καταναλωτές. Οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες αντιμικροβιακές ουσίες είναι το σορβικό κάλιο, το βενζοϊκό νάτριο, το γαλακτικό οξύ, η χιτοζάνη, η σκόνη πράσινου τσαγιού και τα εκχυλίσματα ποικίλων φυτών και αιθέρια έλαια.

2. Διαδικασία παραγωγής βρώσιμων μεμβρανών

Για την παρασκευή βρώσιμων μεμβρανών χρησιμοποιούνται συνήθως τόσο υγρές όσο και ξηρές διεργασίες. Η υγρή μέθοδος ή αλλιώς χύτευση διαλύματος (solution casting) περιλαμβάνει διασπορά ή διαλυτοποίηση των πολυμερών σε ένα διαλυτικό μέσο πριν το σχηματισμό του φιλμ, ενώ η ξηρή μέθοδος περιλαμβάνει την εξώθηση και την χύτευση τήγματος (Chen κ.ά., 2022). Για την παραγωγή βρώσιμων μεμβρανών από φρούτα και λαχανικά χρησιμοποιείται η διαδικασία της χύτευσης διαλύματος κυρίως λόγω της θερμοευαισθησίας των συστατικών φρούτων/λαχανικών καθώς και των ίδιων των βιοπολυμερών (Otoni κ.ά., 2017).

2.1. Χύτευση Διαλύματος

2.1.1. Ασυνεχής χύτευση

Συνήθως, η ασυνεχής χύτευση είναι η πιο κοινή μέθοδος σε εργαστηριακή κλίμακα. Ουσιαστικά η μέθοδος περιλαμβάνει τέσσερα βασικά βήματα: 1) Διαλυτοποίηση του βασικού πολυμερούς στον κατάλληλο διαλύτη, 2) απαέρωση του διαλύματος, 3) χύτευση του διαλύματος στην πλάκα και 4) ξήρανση (Suhag κ.ά., 2020). Αρχικά επιλέγεται το πολυμερές το οποίο διαλύεται συνήθως σε υδατικό, υδατικό-αιθανολικό ή αιθανολικό διάλυμα. Το διάλυμα αναμιγνύεται πολύ καλά ώστε να διαλυθούν όλα τα συστατικά που μπορεί να περιέχει όπως πολυμερή, πλαστικοποιητές, γαλακτωματοποιητές, χρωστικές και άλλες πρόσθετες ουσίες. Για τη διάλυση κάποιων συστατικών είναι πιθανό να χρειαστεί και θέρμανση του διαλύματος. Ακολουθεί η απαέρωση του μίγματος σε θάλαμο κενού με σκοπό να απομακρυνθούν οι φυσαλίδες αέρα. Το βήμα αυτό είναι πολύ σημαντικό, καθώς οι μικροφυσαλίδες δημιουργούν προβλήματα στη δομή, αντοχή και τις ιδιότητες φραγμού των μεμβρανών (Παπαδάκης, 2019; Otoni κ.ά., 2017). Ανάλογα με το ιξώδες του διαλύματος, η απαέρωση ποικίλει σε ένταση και χρόνο (Otoni κ.ά., 2017). Στη διαδικασία της χύτευσης, το διάλυμα τοποθετείται πάνω σε προκαθορισμένα καλούπια ή πλάκες από γυαλί, τεφλόν, πολυαιθυλένιο και απλώνεται με λεπίδες ή κυλίνδρους ώστε το φιλμ που θα δημιουργηθεί να έχει ένα ομοιόμορφο πάχος. Ακολουθεί η ξήρανση των μεμβρανών σε κλιβάνους θερμού αέρα. Ο διαλύτης εξατμίζεται και τα μακρομόρια του διαλύματος σχηματίζουν μία συνεκτική μεμβράνη η οποία προσκολλάται στην πλάκα (Otoni κ.ά., 2017; Suhag κ.ά., 2020). Το φιλμ που προκύπτει θα πρέπει να είναι συνεκτικό και απαλλαγμένο από μηχανικές βλάβες (Suhag κ.ά., 2020). Τέλος, οι μεμβράνες απομακρύνονται από τις πλάκες. Το πάχος, η διαφάνεια, το ιξώδες, η διαπερατότητα και οι μηχανικές αντοχές του φιλμ, η σύσταση του διαλύματος

και η περιεκτικότητά του σε στερεά είναι κάποιες σημαντικές παράμετροι ολόκληρης της διαδικασίας (Παπαδάκης, 2019; Suhag κ.ά., 2020).

2.1.2. Συνεχής χύτευση

Η συνεχής χύτευση μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος αναφέρεται σε μεταλλικούς ιμάντες μεταφοράς, συνήθως από χάλυβδα. Το διάλυμα αποτίθεται πάνω στον ιμάντα ο οποίος διέρχεται από ένα θάλαμο ξήρανσης κι έπειτα το αποξηραμένο φιλμ που έχει προκύψει αφαιρείται και τυλίγεται σε ρολά. (Otoni κ.ά., 2017)

Με τον δεύτερο τρόπο η χύτευση γίνεται σε μια γραμμή επίστρωσης. Συγκεκριμένα, το διάλυμα εναποτίθεται σε ένα κινούμενο υπόστρωμα από πολυεστέρα ή επικαλυμμένο χαρτί και απλώνεται με λεπίδα της οποίας το ύψος καθορίζει και το πάχος της μεμβράνης. Όπως και στους μεταλλικούς ιμάντες, το υπόστρωμα διέρχεται από θάλαμο ξήρανσης και το ξηρό φιλμ τυλίγεται σε μορφή ρολού χωρίς όμως να απομακρυνθεί από το υπόστρωμα (Otoni κ.ά., 2017).

Πλεονέκτημα της μεθόδου χύτευσης αποτελεί η ευκολία παραγωγής των μεμβρανών. Επίσης, παράγονται μεμβράνες πιο ομοιογενείς και με λιγότερα ελαττώματα, καθώς η αλληλεπίδραση των σωματιδίων είναι καλύτερη. Η χαμηλότερη θερμοκρασία που συνήθως χρησιμοποιείται πλεονεκτεί στο γεγονός ότι τα περισσότερα συστατικά που χρησιμοποιούνται είναι ευαίσθητα σε υψηλές θερμοκρασίες. Τέλος, υπάρχει μεγάλη διαφάνεια και οπτική καθαρότητα χωρίς πυκνώματα, αλλά και ομοιομορφία της μεμβράνης (Suhag et al., 2020).

2.2. Απαέρωση

Το στάδιο της απαέρωσης του διαλύματος, από το οποίο πρόκειται να παραχθεί η μεμβράνη, είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς στοχεύει στην απομάκρυνση των φυσαλίδων που έχουν εγκλωβιστεί σε αυτό. Αφού διαλυθούν ή διασκορπισθούν όλα τα συστατικά σε κατάλληλο διαλύτη (νερό, αλκοόλη κτλ), τυχόν αδιάλυτα αέρια απομακρύνονται με υπερήχους, φυγοκέντρωση ή/ και με την δημιουργία κενού με σκοπό την αποφυγή σχηματισμού φυσαλίδων στο τελικό φιλμ (Chen κ.ά., 2022). Σε περίπτωση που δεν πραγματοποιηθεί η απομάκρυνση τους, οι τελικές αφυδατωμένες μεμβράνες θα έχουν ελαττωματική δομή και μικρή μηχανική αντοχή. Η ένταση και ο χρόνος της υπό κενό απαέρωσης διαφέρει, ανάλογα με το ιξώδες του μίγματος και είναι πιο αποτελεσματική όταν πραγματοποιείται υπό θέρμανση. Για την δημιουργία μεμβρανών από φρούτα και λαχανικά οι χρόνοι κυμαίνονται από 15 έως 60 λε-

πτά. Η φυγοκέντρωση είναι η πιο αποτελεσματική μέθοδος για την απαέρωση υψηλής πυκνότητας υγρών, αλλά δεν εφαρμόζεται σε σκευάσματα που περιέχουν αιωρούμενα στερεά. Τέλος, για ιξώδη δείγματα χρησιμοποιείται επίσης η απαέρωση με χρήση υπερήχων. (Otoni κ.ά., 2017).

2.3. Ξήρανση

Τελικό στάδιο του σχηματισμού των βρώσιμων μεμβρανών αποτελεί η ξήρανση η οποία μπορεί να επιτευχθεί σε ρεύμα αέρα, συνηθέστερα σε εργαστηριακό επίπεδο. (Chen κ.ά., 2022). Κατά την διαδικασία παραγωγής μεμβρανών με χύτευση, η μεγάλη ποσότητα του περιεχόμενου νερού που πρέπει να εξατμιστεί απαιτεί και μεγαλύτερους χρόνους ξήρανσης σε σχέση με την εξώθηση μεμβρανών που δεν απαιτεί στάδιο εξάτμισης (Jeya Jeevahan κ.ά., 2020).

Τέλος, μετά την ξήρανση οι αποξηραμένες μεμβράνες αφαιρούνται ή ξεφλουδίζονται από τα υποστρώματα χύτευσης και αποθηκεύονται σε αεροστεγή δοχεία σε θερμοκρασία δωματίου, έως ότου επιτευχθεί ισορροπία. Ερευνητές επέλεξαν να αποθηκεύσουν τα φιλμ στους 25 °C και σχετική υγρασία 53%, 50% ή 58% για 48 ώρες σε θάλαμο ελεγχόμενου περιβάλλοντος (Dammak et al., 2017; Jeannine Bonilla & Sobral, 2019; Uranga et al., 2019). Οι θάλαμοι ή οι ξηραντήρες περιείχαν κορεσμένα διαλύματα $Mg(NO_3)_2$ (53% σχετική υγρασία) ή κορεσμένο διάλυμα $MgCl_2$ (32% σχετική υγρασία) (H. Wang κ.ά., 2021).

3. Ιδιότητες βρώσιμων μεμβρανών από φρούτα και λαχανικά

3.1. Διαπερατότητα στους υδρατμούς

Οι εδώδιμες μεμβράνες από φρούτα και λαχανικά αδυνατούν να αποτελέσουν καλούς φραγμούς στην υγρασία. Αυτό, οφείλεται στο γεγονός ότι αυτά τα τρόφιμα περιέχουν βιομακρομόρια, (ή μπορούν να προστεθούν ως συνδετικοί παράγοντες στις μεμβράνες) τα οποία είναι υδρόφιλα, έχουν υψηλή πολικότητα και ικανότητα συγκράτησης νερού. Οι τελευταίες ιδιότητες αυτών των μορίων αποτελούν βασικό μειονέκτημα για την συντήρηση των τροφίμων (Otoni κ.ά., 2017).

Ουσιαστικά η αδιαπερατότητα στους υδρατμούς αντανακλά την ικανότητα αποφυγής απώλειας υγρασίας των τροφίμων η οποία και επηρεάζει άμεσα το χρόνο ζωής του τροφίμου (Zhang κ.ά., 2021). Η περιεκτικότητα σε υγρασία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό και τις μηχανικές ιδιότητες των μεμβρανών. Για παράδειγμα, μεμβράνες με μεγαλύτερα ποσοστά υγρασίας είναι πιο εύκαμπτες και παρουσιάζουν μεγαλύτερη ελαστικότητα, γεγονός που δίνει το πλεονέκτημα στις βιομηχανική παραγωγή να κινείται σε ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών (Nur Hanani κ.ά., 2018).

Πειράματα που έχουν γίνει σε μεμβράνες από άμυλο αναφέρουν πως η διαπερατότητα στους υδρατμούς μειώνεται με τη χρήση λιπιδίων, λόγω της υδροφοβικότητάς τους (M. a. García κ.ά., 2000). Ωστόσο, η ελάττωση αυτή της διαπερατότητας με την προσθήκη λιπιδίων δεν φτάνει τις τιμές των αντίστοιχων συνθετικών μεμβρανών. Ένας ακόμη παράγοντας που βελτιώνει τον φραγμό στους υδρατμούς είναι οι πλαστικοποιητές. Σχετικά πειράματα υπογραμμίζουν τις υψηλότερες τιμές του συντελεστή διαπερατότητας υδρατμών (WVP) που υπολογίστηκαν σε επικαλύψεις χωρίς πλαστικοποιητή σε σχέση με μεμβράνες που είχε ενσωματωθεί πλαστικοποιητής. Υπεύθυνα για αυτήν τη διαφορά θεωρούνται πως είναι οι ρωγμές και οι πόροι που είχαν δημιουργηθεί στα μη πλαστικοποιημένα φιλμ, κάτι που οφείλεται στα μόρια τη αμυλόζης η οποία δημιουργεί κρυσταλλικές και εύθραυστες μεμβράνες όταν δεν χρησιμοποιείται πλαστικοποιητής. Επιπρόσθετα, για την βελτίωση των ιδιοτήτων φραγμού των υδρατμών ενσωματώνονται στις μεμβράνες νανοσύνθετων υλικών. Συγκεκριμένα γίνεται έντονη αναφορά σε νανοκρυσταλλους και νανοϊνες κυτταρίνης (CNF). Έρευνες πάνω σε πολτούς από μάνγκο, γκουάβα, ακερόλα και μπανάνα έδειξαν ότι η ενσωμάτωση νανοσύνθετων υλικών αυξάνει την αδιαπερατότητα στους υδρατμούς (Otoni

κ.ά., 2017; Zhang κ.ά., 2021). Ωστόσο, υπάρχουν και πειραματικές αναφορές πως η προσθήκη συγκεκριμένα νανοκρυστάλλων κυτταρίνης (CNC) προκάλεσε αντίθετα αποτελέσματα. Η αύξηση αυτή της διαπερατότητας στους θδρατμούς είναι πιθανό να προκλήθηκε από τους εξής λόγους: την υδροφιλικότητα των CNC εξαιτίας των υδροξυλίων που διαθέτουν, καθώς και την κρυσταλλικότητά τους που πιθανόν να επηρεάζει την προσρόφιση του πολυμερούς (Zhang κ.ά., 2021a).

Οι ιδιότητες της αδιαπερατότητας του νερού αξιολογούνται συνήθως με σταθμικές αναλύσεις (Otoni κ.ά., 2017; Zhang κ.ά., 2021). Σε αυτές τις μεθόδους οι μεμβράνες τοποθετούνται ανάμεσα σε δύο περιβάλλοντα, ένα με υψηλότερη σχετική υγρασία (RH) και ένα με χαμηλότερη RH, λειτουργώντας ως ένα ημιπερατό φράγμα με τον Ρυθμό Μεταφοράς Υδρατμών να μελετάται ως βασική παράμετρος (Otoni κ.ά., 2017). Η διαπερατότητα των μεμβρανών εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες όπως η χημική δομή, η κρυσταλλικότητα, η πολικότητα, το μοριακό βάρος και ο πολυμερισμός των μακρομορίων αλλά και η παρουσία πλαστικοποιητών (Zhang κ.ά., 2021).

3.2. Διαπερατότητα στο οξυγόνο

Το οξυγόνο είναι υπεύθυνο για πολλές διεργασίες αποικοδόμησης στα τρόφιμα όπως η οξείδωση των λιπιδίων, η ανάπτυξη μικροοργανισμών, η ενζυματική αμαύρωση και η απώλεια βιταμινών. Η οξείδωση του λίπους έχει ως αποτέλεσμα την αλλοίωση της γεύσης, το χρώμα και την απώλεια θρεπτικών συστατικών (Bonilla κ.ά., 2012). Για ορισμένες ομάδες τροφίμων όμως, όπως τα φρούτα και λαχανικά, η παρουσία οξυγόνου είναι απαραίτητη για την αναπνοή των ιστών οπότε και για την συσκευασία τους χρησιμοποιούνται συσκευασίες τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) με μειωμένη συγκέντρωση οξυγόνου. Μεμβράνες με βάση τους πολυσακχαρίτες και τις πρωτεΐνες παρέχουν γενικά καλό φραγμό στην μεταφορά οξυγόνου, γεγονός που επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την διαθεσιμότητα και την θερμοκρασία του νερού (Bonilla κ.ά., 2012).

Ορισμένοι ερευνητές απέδειξαν την αποτελεσματικότητα των μεμβρανών στον έλεγχο της αμαύρωσης και της ενζυμικής δραστηριότητας της πολυφαινολοξειδάσης (PPO). Οι Vangnai, Wongs-Aree, Nimitkeatkai και Kanlayanarat (2006) εφάρμοσαν επικαλύψεις χιτοζάνης σε φρούτα "Daw" longan, διαπιστώνοντας ότι μειώθηκε η δράση της πολυφαινολοξειδάσης κατά τη διάρκεια των 20 ημερών αποθήκευσης στους 4° C, ελαφρώς μειώνοντας το μαύρισμα του περικαρπίου. Οι επικαλύψεις χιτοζάνης χρησιμοποιήθηκαν από τον Eissa

(2008), καθυστερώντας έτσι τον αποχρωματισμό φρέσκων μανιταριών κατά την αποθήκευση στους 4°C, γεγονός που σχετίζεται με την μειωμένη ενζυμική δραστηριότητα (Falguera κ.ά., 2011).

Επειδή τα υδροκολλοειδή (αυτά που υπάρχουν στα φρούτα και τα λαχανικά και αυτά που προστίθενται) είναι κατά κύριο λόγο πολικής φύσης, τα φιλμ που προκύπτουν πρόκειται να έχουν αδιαπερατότητα στα μη πολικά αέρια, συμπεριλαμβανομένου του οξυγόνου. (Otoni κ.ά., 2017). Μια μέθοδος που βασίζεται στην ASTM (1998), τυπική μέθοδος δοκιμής για τον ρυθμό μετάδοσης αερίου οξυγόνου μέσω πλαστικής μεμβράνης και φύλλου χρησιμοποιώντας αισθητήρα, χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της διαπερατότητας οξυγόνου των βρώσιμων μεμβρανών. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τη ροή αερίων O₂ και N₂ από τις δύο πλευρές ενός βρώσιμου φιλμ σε συνδυασμό με μια απλή υγρή χημική ανάλυση στο τέλος. Χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας οξυγόνου βρώσιμων μεμβρανών με βάση τη μεθυλοκυτταρίνη (MC) διαφορετικής σύνθεσης με στόχο την εύρεση της βέλτιστης σύνθεσης για την ελαχιστοποίηση της οξειδωτικής αποικοδόμησης των τροφίμων (Ayranci & Tunc, 2003).

3.3. Μηχανικές ιδιότητες

Ο όρος φυσικές ιδιότητες αναφέρεται στις ιδιότητες που εμφανίζει μια ουσία χωρίς να υποστεί κάποια χημική αλλαγή ή στις ιδιότητες που παρουσιάζει χωρίς χημική αντίδραση και αποτελούν σημαντικό δείκτη για την απόδοση των υλικών. Οι μηχανικές ιδιότητες αναγνωρίζονται ως φυσικές ιδιότητες σε ορισμένη βιβλιογραφία και περιλαμβάνουν την αντοχή σε εφελκυσμό, την επιμήκυνση κατά τη θραύση, την παραμόρφωση και το μέτρο ελαστικότητας (Hasan et al., 2020, Moeini et al., 2020, Qin et al., 2020, K. Yang et al., 2019) και αποτελούν κρίσιμο παράγοντα για την προστασία των τροφίμων, τη διατήρηση της ακεραιότητας και την παράταση της διάρκειας ζωής των τροφίμων (Wang κ.ά., 2021).

Σημαντικές ιδιότητες των μεμβρανών που προορίζονται για συσκευασία τροφίμων είναι η δύναμη διάτρησης, η δυνατότητα σφράγισης και η αντίσταση στο σχίσιμο. Οι ιδιότητες αυτές καθώς και η αντίσταση διείσδυσης, προκαλούν μεγάλη ανησυχία για εφαρμογές συσκευασίας. Οι μηχανικές ιδιότητες των βρώσιμων μεμβρανών που έχουν διερευνηθεί περισσότερο είναι αυτές που λαμβάνονται σε δοκιμές εφελκυσμού και περιλαμβάνουν κυρίως την αντοχή στον εφελκυσμό, το μέτρο ελαστικότητας και την επιμήκυνση (Otoni κ.ά., 2017). Το μέτρο του Young (γνωστό και ως μέτρο ελαστικότητας) είναι βασικό στοιχείο της

ακαμψίας του φιλμ, με υψηλή τιμή συντελεστή Young να υποδηλώνει υψηλό βαθμό ακαμψίας του φιλμ (Shivangi κ.ά., 2021). Η αντοχή στον εφελκυσμό (tensile strength) ορίζεται ως η ικανότητα μιας μεμβράνης να αντιστέκεται στην ρήξη έναντι της τάσης εφελκυσμού και το σημείο θραύσης (elongation at break) ως η μέγιστη ελαστικότητα της μεμβράνης υπό την τάση εφελκυσμού πριν από την θραύση (Younis & Zhao, 2019).

Οι μηχανικές ιδιότητες των βρώσιμων μεμβρανών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη σύνθεσή τους. Για μία δεδομένη μεμβράνη, οι μηχανικές της ιδιότητες εξαρτώνται τελικά από τις φυσικοχημικές ιδιότητες των χρησιμοποιούμενων πολυμερών, τους τύπους και τις προσθήκες των βοηθητικών μέσων, τις διαμοριακές αλληλεπιδράσεις, την περιεκτικότητα σε νερό και τη μικροδομή που τελικά σχηματίζεται (Younis & Zhao, 2019). Οι διαμοριακές και ενδομοριακές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών στο σχηματιζόμενο δίκτυο έχουν άμεση συσχέτιση με τις ιδιότητες αυτές, ενώ η προσθήκη βιοενεργών ουσιών (πχ αντιοξειδωτικά, βακτηριοσίνες), το μέγεθος των σωματιδίων των συστατικών και η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος επηρεάζουν επίσης τις μηχανικές ιδιότητες. Μικρό μέγεθος σταγονιδίων λαδιού προωθούν το σχηματισμό ενός συνεχούς δικτύου εντός της βιοπολυμερικής μήτρας, αυξάνοντας τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των βιοπολυμερών, με αποτέλεσμα βρώσιμα φιλμ με υψηλότερες αντοχές εφελκυσμού. Έχει αναφερθεί ότι μια υψηλή σχετική υγρασία οδηγεί τα βιοπολυμερή στην απορρόφηση νερού και κατ' επέκταση στην διόγκωση, με αποτέλεσμα χαμηλότερη αντοχή σε εφελκυσμό σε μεμβράνες αλγινικού νατρίου (Chen κ.ά., 2022). Τα υδατοδιαλυτά υδροκολλοειδή, όπως οι πολυσακχαρίτες και οι πρωτεΐνες, συνήθως προσδίδουν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες (αντοχή σε εφελκυσμό και επιμήκυνση κατά τη θραύση) από ότι τα λιπίδια και οι υδρόφοβες ουσίες (πχ κάποιες αδιάλυτες πρωτεΐνες) (Arvanitoyannis, 2010). Γενικά, τα φιλμ λαχανικών αναμένονται να είναι ισχυρότερα και περισσότερο δύσκαμπτα από τα φιλμ φρούτων λόγω των υψηλότερων αναλογιών διαιτητικών ινών προς τη συνολική ζάχαρη (Otoni κ.ά., 2017).

Προκειμένου να ξεπεραστεί η ευθραυστότητα του φιλμ που προκαλείται από τις εκτεταμένες διαμοριακές δυνάμεις, ενδείκνυται η προσθήκη πλαστικοποιητικών παραγόντων. Οι πλαστικοποιητές μειώνουν αυτές τις δυνάμεις και αυξάνουν την κινητικότητα των πολυμερικών αλυσίδων, με αποτέλεσμα την βελτίωση της ευκαμψίας και της εκτασιμότητας της μεμβράνης. Έτσι, κατά τον επακόλουθο χειρισμό και αποθήκευση αποφεύγεται ο θρυμματισμός και το ράγισμα της μεμβράνης (Lazaridou & Biliaderis, 2002). Οι πολυσακχαρίτες και πρωτεΐνες σχηματίζουν διασταυρωτούς δεσμούς μεταξύ τους βελτιώνοντας έτσι την αντοχή των μεμβρανών (X. Wang κ.ά., 2011). Τέλος, παράγοντες διασύνδεσης (crosslinkers) όπως τρανσουγλαμινάση για πρωτεΐνες και κιτρικό οξύ για πολυσακχαρίτες, ενισχύσεις

(reinforcements) όπως ίνες και βιονανοσύνθετα υλικά συμβάλλουν επίσης στην βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων (Salgado κ.ά., 2015).

Οι Wang et al ανέπτυξαν φιλμ με βάση τον πουρέ καρότου, την καρβοξυλομεθυλκυτταρίνη (CMC), άμυλο αραβοσίτου, ζελατίνη και γλυκερόλη ως πλαστικοποιητή. Τα αποτελέσματα μετρήσεων έδειξαν ότι η CMC, η ζελατίνη και η περιεκτικότητα σε άμυλο σίτου αύξησαν σημαντικά την αντοχή στον εφελκυσμό (X. Wang κ.ά., 2011).

Αλεύρι μπανάνας, γλυκερόλη και πηκτίνη χρησιμοποιήθηκαν από τους Sothornvit και Pitak για παρασκευή βρώσιμων μεμβρανών και οι μετρήσεις έδειξαν ότι αύξηση της περιεκτικότητας σε αλεύρι μπανάνας και πηκτίνη, ενίσχυσε την αντοχή του φιλμ, αύξησε το μέτρο ελαστικότητας και την αντοχή σε εφελκυσμό μειώνοντας όμως την επιμήκυνση του φιλμ (Sothornvit & Pitak, 2007).

3.4. Θερμικές ιδιότητες

Οι θερμικές ιδιότητες των μεμβρανών αντανακλούν την αντοχή τους στη θερμοκρασία και επηρεάζουν την εφαρμογή τους στην συσκευασία τροφίμων. Οι θερμικές ιδιότητες των μεμβρανών ανιχνεύονται συχνά χρησιμοποιώντας την θερμιδομετρία διαφορικής σάρωσης και την θερμοβαρυσμετρική ανάλυση (Amjadi et al., 2019, Moeini et al., 2020), η οποία καθορίζει παραμέτρους όπως η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g), η θερμοκρασία σημείου τήξης, η θερμοκρασία αποικοδόμησης και το ποσοστό κρυστάλλωσης (Wang κ.ά., 2021). Τα πολυμερή σε θερμοκρασίες κάτω από την θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης έχουν αλυσίδες με μορφή ελικοειδή, πεπλεγμένη και ακίνητη ενώ σε υψηλότερες θερμοκρασίες της T_g οι αλυσίδες καθίστανται ελεύθερες προς περιστροφή ολισθαίνοντας η μία επί της άλλης και χαρακτηρίζονται από μία ελαστική κατάσταση. Η υαλώδης μετάπτωση επηρεάζει τις φυσικοχημικές ιδιότητες των χαμηλής υγρασίας τροφίμων, όπως οι μεμβράνες. Επιπλέον, η προσθήκη πλαστικοποιητών και νερού μειώνουν την T_g , καθώς αυξάνουν την ελευθερία κινήσεων και την ελαστικότητα του δικτύου (Λάζου Ε., 2019).

Γενικά, η ελαστική κατάσταση χαρακτηρίζεται από μειωμένη σταθερότητα, στην περίπτωση όμως των βρώσιμων μεμβρανών παρέχει ευελιξία ακόμη και υπό ψύξη, πράγμα επιθυμητό κατά την συσκευασία τροφίμων που θα συντηρηθούν υπό ψύξη. Παρόλο που η παραγωγή βρώσιμων μεμβρανών με βάση τα φρούτα και τα λαχανικά με συνεχή χύτευση περιλαμβάνει θέρμανση, στις περισσότερες μελέτες έως τώρα δεν έχει ληφθεί υπόψη η θερ-

μική συμπεριφορά των υλικών. Ο χαρακτηρισμός των ιδιοτήτων αυτών κρίνεται απαραίτητος στο μέλλον ώστε να αξιολογηθεί η χρήση τους σε βιομηχανικό επίπεδο. (Otoni κ.ά., 2017)

3.5. Σταθερότητα και χρόνος ζωής

Οι βρώσιμες μεμβράνες, βάσει νομοθεσίας, θεωρούνται αφυδατωμένα τρόφιμα. Εξαιτίας των θρεπτικών συστατικών που περιέχουν, μπορούν να αποτελέσουν ένα καλό υπόστρωμα για την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Η μικροβιακή σταθερότητα αυτών των μεμβρανών βελτιώνεται με τιμές ενεργότητας νερού μικρότερες από 0,6 υπό ξηρές συνθήκες αποθήκευσης (Otoni κ.ά., 2017).

Από την πλευρά των τροφίμων που συσκευάζονται με τις εδώδιμες μεμβράνες, οι τελευταίες διατηρούν διάφορες παραμέτρους ποιότητας και εμφάνισης (Suhag et κ.ά., 2020). Επιστρώσεις σε φρέσκα φρούτα και λαχανικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και την παράταση του χρόνου ζωής τους. Οι επικαλύψεις με πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες και λιπίδια παρατείνουν τη διάρκεια ζωής λειτουργώντας ως φραγμοί στην υγρασία και στα αέρια, δηλαδή ως φράγμα μεταξύ του τροφίμου και του περιβάλλοντος. Ελέγχοντας τον ρυθμό αναπνοής, επιβραδύνεται ο ρυθμός αλλοίωσης των φρούτων και λαχανικών χωρίς να επηρεάζεται η ποιότητά τους (Sharma κ.ά., 2018). Αντιμικροβιακές και αντιοξειδωτικές ουσίες που ενσωματώνονται στις μεμβράνες συνεισφέρουν στην επιβράδυνση της αυτοοξειδωσης λιπαρών τροφίμων και γενικότερα της αλλοίωσης αυτών. Τέλος, έχει παρατηρηθεί ότι οι βρώσιμες μεμβράνες προστατεύουν το τρόφιμο από τον αποχρωματισμό και την απώλεια πτητικών ενώσεων (Suhag κ.ά., 2020).

3.6. Αντιμικροβιακές ιδιότητες

Η ιδιότητα των βρώσιμων μεμβρανών να χρησιμοποιούνται ως φορείς αντιμικροβιακών και αντιοξειδωτικών ενώσεων έχει αναβαθμίσει την έννοια της ενεργής συσκευασίας (Falguera κ.ά., 2011). Οι ενεργές αυτές ενώσεις έχουν την ικανότητα να αναστέλλουν, να μειώνουν ή ακόμα και να αποτρέπουν την ανάπτυξη μικροοργανισμών (κυρίως αλλοιογόνων) στα τρόφιμα (Falguera κ.ά., 2011; Zhang κ.ά., 2021b).

Οι αντιμικροβιακές ενώσεις που ενσωματώνονται σε φιλμ έχουν την δυνατότητα να προστατεύουν τα τρόφιμα από επιμολύνσεις με δύο τρόπους. Είτε παραμένουν στη μήτρα των μεμβρανών και προστατεύουν την επιφάνεια του τροφίμου, είτε διαχέονται με αργό ρυθμό από την επιφάνεια προς το εσωτερικό του (Παπαδάκης, 2019; Otoni κ.ά., 2017).

Από τη στιγμή που η μικροβιακή επιμόλυνση εμφανίζεται στην επιφάνεια των περισσότερων νωπών ή και επεξεργασμένων τροφίμων, η εφαρμογή μεμβρανών φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματική από παλαιότερες μεθόδους εισχώρησης ενεργών ενώσεων στα τρόφιμα (Falguera κ.ά., 2011).

Έρευνες πάνω σε μεμβράνες με βάση την χιτοζάνη έδειξαν ανασταλτική επίδραση έναντι του βακτηρίου *L. Monocytogenes* (Falguera κ.ά., 2011). Άλλη πειραματική έρευνα των *Rojas-Grau and others* (2006) βασισμένη σε μεμβράνες από πουρέ μήλου, ρίγανης, λεμονόχορτου και ελαίου κανέλας έδειξε ότι οι αντιμικροβιακές ιδιότητες αυτών των συστατικών είχαν μεγάλη αποτελεσματικότητα έναντι του βακτηρίου *Escherichia coli O157:H7*. Επίσης παρατηρήθηκε πως το αιθέριο έλαιο ρίγανης είχε την μεγαλύτερη αντιμικροβιακή δράση έναντι του βακτηρίου σε σχέση με το έλαιο κανέλας. Τέλος, έρευνες που έγιναν σε μαρούλια, σπανάκι και φέτες ζαμπόν συσκευασμένα με μεμβράνες από μήλο, καρότο, ιβίσκο και τις ενώσεις κινναμαλδεΐδη και καρβακρόλη, ανέδειξαν αξιόλογη αντιμικροβιακή δράση έναντι των βακτηρίων *L. Monocytogenes* και *Salmonella Newport* (Otoni κ.ά., 2017).

3.7. Θρεπτικές ιδιότητες

Οι εδώδιμες μεμβράνες αυξάνουν το θρεπτικό περιεχόμενο των τροφίμων, με ιδιαίτερη αναφορά να γίνεται για αυτές που παράγονται από πρωτεΐνες (Παπαδάκης, 2019). Για παράδειγμα, έρευνες πάνω σε μεμβράνες από ασερόλα με βασικό πολυμερές το άμυλο έδειξαν, ότι 1g από την μεμβράνη παρέχει σχεδόν τέσσερις φορές παραπάνω ποσότητες βιταμίνης C και 56 φορές παραπάνω ποσότητες β-καροτενίου, από τις συνιστάμενες ημερήσιες προσλήψεις (Otoni κ.ά., 2017). Μία άλλη πειραματική έρευνα των *Dantas and others* (2015) σε φοινικέλαιο συσκευασμένο με μεμβράνες από πουρέ μάνγκο, ασερόλα και κόκκινο μονμπίν, ανέδειξε πως οι φαινολικές ενώσεις των μεμβρανών αυτών μετανάστευσαν κατά την διάρκεια της αποθήκευσης στο φοινικέλαιο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του δείκτη του υπεροξειδίου του προϊόντος κατά το μισό συγκριτικά με μεμβράνες αμύλου. Αυτές οι θρεπτικές ιδιότητες που παρέχουν οι βρώσιμες μεμβράνες από φρούτα και λαχανικά τις κάνει να ξεχωρίζουν από τις κοινές μεμβράνες πολυμερών (Otoni κ.ά., 2017).

4. Οργανοληπτικός έλεγχος

Οι ιδιότητες των τροφίμων είναι δυνατόν να εκτιμηθούν είτε με την χρήση της ενόργανης ανάλυσης (χρωματογραφία, φασματογραφία μάζας, ανάλυση υφής κ.λπ.) είτε μέσω του οργανοληπτικού ελέγχου ή αλλιώς οργανοληπτικής ανάλυσης (sensory analysis). Ο οργανοληπτικός έλεγχος πραγματοποιείται με την βοήθεια των αισθητηρίων οργάνων του ανθρώπου (δοκιμαστή) μέσω από μία σειρά μεθόδων (οργανοληπτικών δοκιμών).

Η χρήση του οργανοληπτικού ελέγχου έγκειται στο γεγονός ότι σε πολλές περιπτώσεις τα αναλυτικά όργανα δεν μπορούν να αποδώσουν με τον ίδιο τρόπο τα πολυδιάστατα ερεθίσματα, όπως αυτά γίνονται αντιληπτά από τις ανθρώπινες αισθήσεις. Τα αναλυτικά όργανα επίσης, υπολείπονται της ευαισθησίας των ανθρώπινων αισθητηρίων οργάνων ενώ είναι γεγονός πως μόνο τα δεδομένα από τις ανθρώπινες αισθήσεις δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα ως προς το πως οι καταναλωτές αντιλαμβάνονται τα τρόφιμα (Τσάκνης & Γρηγοράκης, 2014).

Οι οργανοληπτικοί μέθοδοι διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: α) τις αναλυτικές δοκιμές οι οποίες απαντάνε σε ερωτήσεις ως προς τις ιδιότητες των τροφίμων και β) τις συναισθηματικές δοκιμές που αναφέρονται σε συναισθήματα που δημιουργούν τα τρόφιμα στους καταναλωτές. Οι αναλυτικές δοκιμές είναι προσανατολισμένες στο προϊόν με σκοπό τον έλεγχο της παρουσίας και έντασης ορισμένων χαρακτηριστικών. Διακρίνονται σε δοκιμές διάκρισης και περιγραφικές δοκιμές και χρησιμοποιούνται πάντα εκπαιδευμένοι δοκιμαστές. Οι συναισθηματικές δοκιμές από την άλλη μεριά προσανατολίζονται στον καταναλωτή, είναι υποκειμενικές και δίνουν μία ένδειξη για τις προτιμήσεις του, την αποδοχή ή απόρριψη ενός προϊόντος ή τον βαθμό αρεσκείας. Οι δοκιμές αυτές πραγματοποιούνται με μεγάλο αριθμό μη εκπαιδευμένων δοκιμαστών και οι γνωστότερες αυτών είναι οι δοκιμές προτίμησης, οι δοκιμές αποδοχής και οι δοκιμές αρεσκείας (Λουγκοβόης, 2019).

Έρευνες των Saiful κ.α (2013) σε βρώσιμες μεμβράνες με βάση την καραγενάνη αναφέρουν και οργανοληπτικές δοκιμές σε φέτες μήλου. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν φέτες μήλου τυλιγμένες με τις μεμβράνες και χωρίς. Η οργανοληπτική δοκιμή πραγματοποιήθηκε κυρίως με οπτικό έλεγχο και η αξιολόγηση εστιάστηκε στη διαφορά της ποιότητας και του χρώματος μεταξύ των φετών μήλου και όχι στην αξιολόγηση των χαρακτηριστικών των ίδιων των μεμβρανών (Saiful κ.ά., 2013).

B. Πειραματικό μέρος

1. Υλικά και Μέθοδοι

Οι εδώδιμες μεμβράνες από ελληνική σαλάτα σχηματίστηκαν από έναν πολτό, του οποίου τα κύρια συστατικά είναι: τοματοπολτός (ΚΥΚΝΟΣ, 30% στερεά, 31°Brix), αγγούρι, πιπεριά και κρεμμύδι. Τα λαχανικά αγοράστηκαν από την λαϊκή, ενώ η πάστα τομάτας από το super market. Η ακριβής σύσταση του μίγματος για μονή δόση είναι η εξής: 30g χυμός αγγουριού, 20g χυμός πιπεριάς, 10g χυμός κρεμμυδιού, 15 σταγόνες έλαιο ρίγανης, 30g πελτέ τομάτας, 3g πηκτίνης (Sigma Pectin from apple 50-75% ester. HM) και 60g νερό.

Η διαδικασία παραγωγής του μίγματος ξεκινά με το πλύσιμο των λαχανικών, τα οποία στη συνέχεια πολτοποιούνται ξεχωριστά σε οικιακό blender και έπειτα διηθούνται από ένα τουλουπάνι ασκώντας πίεση με τα χέρια. Με αυτόν τον τρόπο παραλαμβάνεται όσο το δυνατόν πιο διαυγής χυμός, χωρίς στερεά σωματίδια και ίνες. Οι χυμοί των λαχανικών αναμιγνύονται βάση των κατάλληλων ποσοτήτων και προστίθεται το διάλυμα ριγανέλαιου σε ελαιόλαδο (*Origanum Vulgaris Hirtum*, BioLand, Ελληνικό Βιολογικό Ριγανέλαιο). Στη συνέχεια παρασκευάζεται το διάλυμα της πηκτίνης μήλου σε νερό 4,8% w/w διαλύοντας σε 60g θερμό νερό θερμοκρασίας 75°C- 90°C. Η πηκτίνη διαλύεται στο θερμό νερό με έντονη ανάδευση στον ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας Turrax (Ultra Turrax T25 Basic, IKA LABORTECHNIK). Η διαλυτοποίηση γίνεται σε δύο δόσεις με ανάδευση στα 11.000rpm αρχικά και 22.000rpm στη συνέχεια έως ότου γίνει καλή διάλυση της πηκτίνης. Μετά από ομογενοποίηση του διαλύματος των χυμών στο Turrax για 1 λεπτό στα 11.000rpm και για 2 λεπτά στα 22.000 rpm, το τελευταίο προστίθεται στο διάλυμα της πηκτίνης. Σε αυτό το διάλυμα που έχει προκύψει προστίθεται ο πελτές τομάτας υπό συνεχή ανάδευση με μαγνητικό αναδευτήρα και πάνω σε θερμαινόμενη πλάκα (Witeg MSH-20A, Germany) και άλλη μία τελική ανάδευση στο Turrax για 1 λεπτό στα 11.000rpm και για 2 λεπτά στα 22.000 rpm. Τέλος, ακολουθεί απαέρωση του πολτού σε φούρνο κενού (Heraeus Instruments Vacutherm, VT 6025, Germany) για περίπου 10 min σε θερμοκρασία 70°C και το μίγμα είναι έτοιμο για τη διαδικασία της χύτευσης.

Για τη δημιουργία μεμβρανών με ελαιόλαδο, στο μίγμα με τους χυμούς των λαχανικών και το έλαιο ρίγανης προστίθενται 4g ελαιόλαδο (Άλτις Κλασικό 1Lt). Το διάλυμα που έχει δημιουργηθεί υποβάλλεται σε ομογενοποίηση στο Turrax για 1 λεπτό στα 11.000rpm και για 2 λεπτά στα 22.000 rpm. Για την καλύτερη ομογενοποίηση και διασπορά των σωματιδίων (δημιουργία νανοσωματιδίων) το διάλυμα τοποθετείται στους υπερήχους για 12 λεπτά με ισχύ 50% επί της συνολικής (συσκευή υπερήχων υψηλής έντασης Bandelin

electronic, UW 2070 – Bandelin Sonopuls HD 2070) με κυλινδρικό στέλεχος από κράμα τιτανίου. Για την ομογενοποίηση στους υπερήχους το διάλυμα των χυμών τοποθετείται σε παγόλουτρο, ώστε να αποφευχθεί η αύξηση της θερμοκρασίας του. Έπειτα αναμιγνύεται με το διάλυμα της πηκτίνης και ακολουθείται η διαδικασία που προαναφέρθηκε.

Στην περίπτωση παρασκευής μεμβρανών με guar gum παρασκευάζεται ξεχωριστά 1,5% w/w διάλυμα guar gum σε νερό υπό έντονη ανάδευση με οικιακό μίξερ χειρός (Homa, Model: HBS-1000J Cadis) 1000 W. Από αυτό το διάλυμα 100g αναμιγνύονται με το διάλυμα πηκτίνης και ομογενοποιούνται στο Turrax για 1 λεπτό στα 11.000rpm και για 2 λεπτά στα 22.000 rpm. Στη συνέχεια ακολουθείται η αρχική διαδικασία που περιεγράφηκε παραπάνω.

Συγκεντρωτικά, σύσταση των πολτών από τους οποίους παρασκευάστηκαν τα τέσσερα είδη μεμβρανών ελληνικής σαλάτας παρουσιάζεται στον Πίνακα 1. Ο κωδικός XG-XΛ σημαίνει χωρίς guar gum και χωρίς ελαιόλαδο, ο κωδικός XG-MΛ χωρίς guar gum με ελαιόλαδο, ο MG-XΛ με guar gum και χωρίς ελαιόλαδο και ο MG-MΛ με guar gum και με ελαιόλαδο.

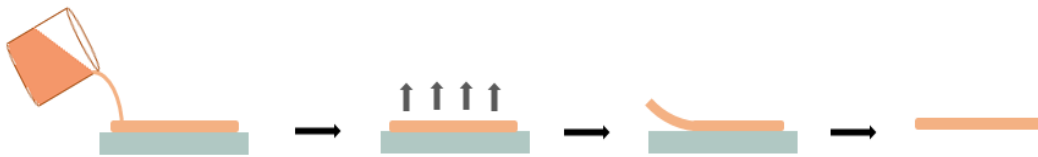
<i>ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ</i>	<i>XG-XΛ</i>	<i>XG-MΛ</i>	<i>MG-XΛ</i>	<i>MG-MΛ</i>
<i>Χυμός αγγουριού</i>	30 g	30 g	30 g	30 g
<i>Χυμός πιπεριάς</i>	20 g	20 g	20 g	20 g
<i>Χυμός κρεμμυδιού</i>	10 g	10 g	10 g	10 g
<i>Διάλυμα ελαίου ρίγανης</i>	0,5 g	0,5 g	0,5 g	0,5 g
<i>Πελτές τομάτας</i>	30 g	30 g	30 g	30 g
<i>Ελαιόλαδο</i>	-	4,0 g	-	4,0 g
<i>Πηκτίνη</i>	3,0 g	3,0 g	3,0 g	3,0 g
<i>Νερό για διάλυση πηκτίνης</i>	60 g	60 g	60 g	60 g
<i>Guar gum</i>	-	-	1,5 g	1,5 g
<i>Νερό για διάλυση Guar gum</i>			100 g	100 g

Πίνακας 1. Συστατικά μεμβρανών από Ελληνική Σαλάτα

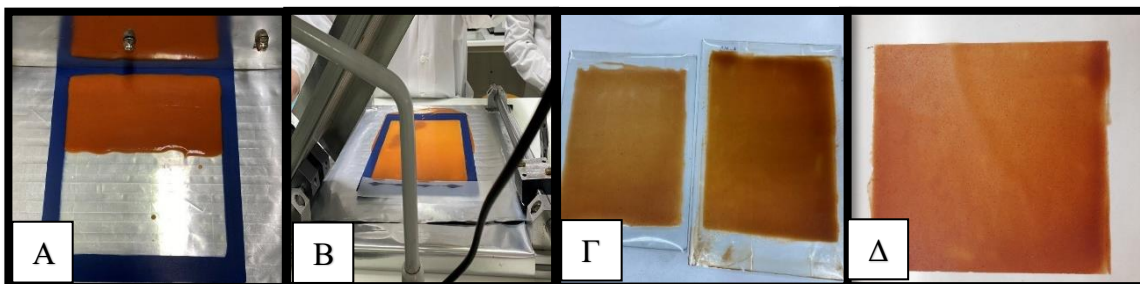
Χύτευση και ξήρανση

Η χύτευση και επίστρωση του μίγματος γίνεται πάνω σε γυάλινες επιφάνειες που έχουν επικαλυφθεί με φιλμ PET στην συσκευή χύτευσης του εργαστηρίου. Πάνω στις πλάκες τοποθετείται ένα πλαστικό πλαίσιο πάχους 0,75 mm. Με αυτόν τον τρόπο η επίστρωση του μίγματος πραγματοποιείται εντός του πλαισίου και η τελική μεμβράνη έχει διαστάσεις 21 ×

24 cm. Κατά τη διαδικασία της χύτευσης η θερμοκρασία του μίγματος ήταν πάντα μεγαλύτερη των 40°C. Η μάζα του πολτού πάνω στην πλάκα κυμαινόταν μεταξύ 50 και 60 g και το υπολογιζόμενο πάχος του πολτού ήταν μεταξύ 1,50 και 2,00 mm .Η επίστρωση γίνεται με το μαχαίρι, τμήμα της συσκευής χύτευσης, το οποίο προσαρμόζεται να έχει απόσταση από το φιλμ 1,40 mm. Μετά την επίστρωση του πολτού στις πλάκες, οι τελευταίες τοποθετούνται ξηραντήρα σήραγγας (Tray Drier, Armfield, Siemens, 5 SM1 314-0 RCCB) στον οποίο ατμοσφαιρικός αέρας θερμαίνονταν με αντιστάσεις στους 60°C και διοχετεύονταν παράλληλα προς την επιφάνεια του πολτού με ταχύτητα περίπου 1,5 m/s. Οι πλάκες απομακρύνονται από τον ξηραντήρα όταν έχει γίνει οπτικός έλεγχος ξήρανσης των μεμβρανών. Ο χρόνος που απαιτείται για την ξήρανση είναι περίπου δύο ώρες. Έπειτα οι πλάκες με τις μεμβράνες αφήνονται για μία μέρα σε θερμοκρασία και υγρασία περιβάλλοντος, ώστε να γίνει εξισορρόπηση με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Τέλος, οι μεμβράνες αφαιρούνται από τις πλάκες και τοποθετούνται σε πλαστικές διαφάνειες με ρυζόχαρτο σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.



Σχήμα 1. Διάγραμμα πειραματικής πορείας: Χύτευση, Ξήρανση, Αποκόλληση, Παραλαβή



Εικόνα 1. Παραγωγή μεμβράνης από ελληνική σαλάτα με την μέθοδο της ασυνεχούς χύτευσης: Α)Χύτευση μίγματος Β)Επίστρωση μίγματος σε γυάλινη επιφάνεια με λεπίδες συγκεκριμένου πάχους Γ) Μεμβράνες μετά την ξήρανση Δ)Παραλαβή μεμβράνης

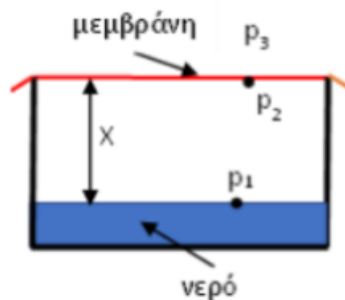
2. Πειράματα

2.1. Διαπερατότητα στους υδρατμούς

Ο προσδιορισμός του συντελεστή διαπερατότητας στους υδρατμούς των εδώδιμων μεμβρανών από ελληνική σαλάτα προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας την πρότυπη βαρυμετρική μέθοδο των κυπέλλων τροποποιημένη από τους McHugh and others (1993). Για αυτήν τη δοκιμή χρησιμοποιήθηκε ένας κλιματικός θάλαμος (Binder, 9020-0150, Germany) στον οποίο τοποθετήθηκαν στο μεσαίο ράφι 5 ανεμιστήρες, ώστε η κάθετη ροή του αέρα να είναι μεγαλύτερη από 2,5 m/s πάνω από τα κύπελλα που βρίσκονταν στο κάτω ράφι, καθώς και να διασφαλίζεται η ομοιομορφία της σχετικής υγρασίας του αέρα στον θάλαμο (T. H. McHUGH κ.ά., 1993). Η θερμοκρασία στο θάλαμο είχε ρυθμιστεί στους 25°C, ενώ η σχετική υγρασία στο 0%. Στα ράφια του θαλάμου, δεξιά και αριστερά των κυαθίων τοποθετήθηκαν ταψάκια με στρώματα κόκκων αναγεννημένου σίλικα τζελ (Silica gel with indicator, (orange gel), granulate, Made in Germany, 2021) και κόκκων αναγεννημένου άνυδρου CaSO₄ (Drierite DESICCANT-ANHYDROUS INDICATING DRIERITE, MANUFACTURED IN U.S.A BY W.A HAMMOND DRIERITE COMPANY, LTD). Οι ενδείξεις του θαλάμου έπρεπε να παραμείνουν σταθερές σε όλη τη διάρκεια του πειράματος. Γι' αυτόν το λόγο, πιθανή αύξηση της σχετικής υγρασίας αντιμετωπιζόταν με προσθήκη αναγεννημένων κόκκων των ξηραντικών ουσιών που προαναφέρθηκαν.

Χρησιμοποιήθηκαν έξι δείγματα από τα δύο είδη μεμβρανών (XG-ΧΛ , XG-ΜΛ). Για το πείραμα κατασκευάστηκαν κύπελλα (κυάθια) με βάση την περιγραφή της δοκιμής των McHugh and others (1993). Κάθε κυάθιο διαθέτει μία κυκλική οπή διαμέτρου 5cm, στην οποία προστίθενται 5ml απιονισμένου νερού. Πάνω στην κυκλική οπή τοποθετείται το δείγμα των μεμβρανών με διαστάσεις 6 ×6 cm και με την ανώμαλη πλευρά προς τα κάτω. Πάνω από το φιλμ τοποθετείται το καπάκι (σε σχήμα δίσκου) με την ίδια διάμετρο με την οπή και τέλος σφραγίζεται με τέσσερις βίδες συμμετρικά. Πριν πραγματοποιηθεί η τοποθέτηση του φιλμ στο κυάθιο, γίνεται επίστρωση των επιφανειών των κυπέλλων αλλά και των καπακιών τους με βαζελίνη. Στη συνέχεια, τα πλέον έτοιμα κύπελλα με τα δείγματα προς εξέταση ζυγίζονταν και τοποθετούνταν μέσα στον κλιματικό θάλαμο. Τα κυάθια αφαιρούνταν από το θάλαμο ανά μία ώρα, ζυγίζονταν και στη συνέχεια τοποθετούνταν και πάλι μέσα στο θάλαμο. Οι ζυγίσεις γίνονταν ανά μία ώρα , σε διάστημα επτά ωρών, καθώς η σταθερή κατάσταση επιταχυνόταν σε μία ώρα.

Ο υπολογισμός της ποσότητας των υδρατμών Q (σε g) που διαπέρασε την επιφάνεια A της μεμβράνης συναρτήσει του χρόνου t, έγινε με τη διαφορά του βάρους κάθε κυπέλλου συναρτήσει του χρόνου. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε υπολογισμός του Ρυθμού Μεταφοράς Υδρατμών (PMY) σε g/(m² h) από τη γραφική παράσταση του Q ως προς το χρόνο t μέσω της κλίσης ως: PMY = (κλίση)/A. Ο συντελεστής διαπερατότητας (WVP) υπολογίστηκε με βάση τη μέθοδο διόρθωσης των McHugh and others (1993) κατά την οποία, στις βρώσιμες μεμβράνες η μερική πίεση p₂ δεν είναι ίση με την p₁, λόγω του μεγάλου PMY όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Θεωρώντας ότι γίνεται διάχυση των υδρατμών σε στάσιμο αέρα στην απόσταση X της επιφάνειας του νερού από την κάτω επιφάνεια της μεμβράνης, η μερική πίεση των υδρατμών p₂ στην κάτω επιφάνειά της υπολογίστηκε από την εξίσωση:

$$p_2 = P - (P - p_1) \cdot \left(\exp \cdot \left[\frac{PMY \cdot R \cdot T \cdot X}{P \cdot D \cdot MW_{water}} \right] \right)$$

όπου:

p₁ = μερική πίεση των υδρατμών στην επιφάνεια του νερού στο κουπάκι = τάση ατμών του καθαρού νερού στους 25°C = 3,17 kPa

p₂ = μερική πίεση των υδρατμών στην κάτω επιφάνεια της μεμβράνης

P = ολική πίεση = ατμοσφαιρική = 101,325 kPa

D = συντελεστής διάχυσης υδρατμών στον αέρα στους 25°C = 2,5x10⁵ m² /s = 9,0 x10⁻² m²/h

$$R = 0,008314 \frac{kPa \cdot m^3}{mol \cdot K}$$

T=298 K

MW_{water} = 18,015 g/mol

όπου p₂ σε kPa, PMY σε g/(m² h) και X σε m.

Η σχετική υγρασία στην κάτω επιφάνεια της μεμβράνης είναι:

$$(RH)_2 = \frac{p_2}{p_1} \times 100 = \frac{p_2}{3,17} \times 100$$

Ο συντελεστής διαπερατότητας στους υδρατμούς WVP (water vapor permeability), υπολογίστηκε από την εξίσωση:

$$WVP = \frac{PMY}{p_2 - p_3} \cdot L = \frac{PMY \cdot L}{p_2}$$

όπου:

p_2 σε kPa, PMY σε g/(m² h) και

L το μέσο πάχος της μεμβράνης σε mm

Οι μονάδες του WVP είναι: $\frac{g \cdot mm}{kPa \cdot h \cdot m^2}$

2.2. Μηχανικές Ιδιότητες

Οι μηχανικές ιδιότητες περιγράφουν την αντίδραση ενός υλικού μετά την εφαρμογή μίας δύναμης. Η εφαρμογή δύναμης εφελκυσμού (τράβηγμα) F κάθετα σε μία επιφάνεια A ενός δοκιμίου τείνει να μεταβάλλει τις διαστάσεις του και η τάση εφελκυσμού (tensile stress) ορίζεται ως $\sigma = \frac{F}{A}$. Αποτέλεσμα του εφελκυσμού είναι η παραμόρφωση (strain) του δοκιμίου που ορίζεται ως $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$ (με L_0 το αρχικό μήκος του δοκιμίου και ΔL η αύξηση του μήκους) (Παπαδάκης, 2019).

Για την πραγματοποίηση αυτού του πειράματος, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των (Du κ.ά., 2008) με ορισμένες παραλλαγές. Από κάθε μεμβράνη κόπηκαν 8 έως 10 λωρίδες μήκους 70 mm και πλάτους 20 mm και τοποθετήθηκαν σε γυάλινο ξηραντήρα που περιείχε κορεσμένο διάλυμα MgCl₂·6H₂O όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 3. Ο ξηραντήρας τοποθετήθηκε σε κλιματικό θάλαμο στους 25°C. Τα δείγματα των μεμβρανών παρέμειναν στον ξηραντήρα για 48 ώρες για εξισορρόπηση ($a_w=0,33$). Χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής υφής TA-XT2i (Stable Microsystems Ltd) εφοδιασμένος με tensile grips και load cell 5 kg προκειμένου να γίνει η διεξαγωγή της καταπόνησης των δειγμάτων σε εφελκυσμό. Προηγείται μέτρηση του πάχους κάθε δείγματος και η τοποθέτηση του ανάμεσα από τις δύο σιαγόνες. Το αρχικό μήκος του δείγματος L_0 (απόσταση ανάμεσα στις σιαγόνες) ρυθμίζεται στα 50 mm και η ταχύτητα ανύψωσης του κινούμενου βραχίονα στα 0,12 mm/s (=7,2 mm/min). Από το διάγραμμα της δύναμης F (σε N) ως προς τον χρόνο ανύψωσης του βραχίονα t (σε s) και με τη βοήθεια του software του αναλυτή υφής προσδιορίζονταν για κάθε δείγμα η

δύναμη F στο σημείο θραύσης, ο αντίστοιχος χρόνος θραύσης καθώς και η κλίση dF/dt (σε N/s) στο αρχικό ευθύγραμμο τμήμα του διαγράμματος. Τα δείγματα εφελκύνονται με σταθερή ταχύτητα, αυξάνοντας το μήκος τους και ταυτόχρονα μετριέται η δύναμη που απαιτείται για τον εφελκυσμό με σταθερή ταχύτητα και κατασκευάζονται τα διαγράμματα (Παπαδάκης, 2019).

Από τις μετρήσεις που προέκυψαν υπολογίζεται η επιφάνεια διατομής A_0 σε m^2 , η αντοχή σε εφελκυσμό (Tensile Strength TS) = (Δύναμη θραύσης)/ A_0 σε MPa , η επί τοις % παραμόρφωση στη θραύση (% Elongation at break) = [(Χρόνος θραύσης) x (ταχύτητα ανύψωσης βραχίονα) x 100/ L_0], και το μέτρο της ελαστικότητας (Elastic Modulus) (σε MPa) = $\{(dF/dt) \times L_0\} / \{A_0 \times (\text{ταχύτητα ανύψωσης βραχίονα})\}$.



Εικόνα 2. Δείγματα των μεμβρανών κομμένα σε λωρίδες τοποθετημένα σε ξηραντήρα με κορεσμένο διάλυμα $MgCl_2 \cdot 6H_2O$



Εικόνα 3. Δείγμα μεμβράνης στον αναλυτή υφής (δοκιμή εφελκυσμού)

2.3. Μέτρηση πάχους μεμβρανών

Με το όργανο χειρός (Interapid, Switzerland) λήφθηκαν μετρήσεις του πάχους των μεμβρανών σε διαφορετικά σημεία, σημειώθηκε το εύρος των τιμών και υπολογίστηκε ο μέσος όρος τους. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται κατά την προετοιμασία για τον έλεγχο της διαπερατότητας στους υδρατμούς και καθώς και για το πείραμα των μηχανικών ιδιοτήτων. Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις λαμβάνονται μετά την εξισορρόπηση υγρασίας μεταξύ της αποξηραμένης μεμβράνης που είναι στην πλάκα και του περιβάλλοντος.

2.4. Οργανοληπτικός έλεγχος

Ο οργανοληπτικός έλεγχος των βρώσιμων μεμβρανών που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Οργανοληπτικού Ελέγχου βασίστηκε σε συναισθηματικές δοκιμές, δηλαδή σε δοκιμές που έχουν στόχο να διαπιστώσουν τι συναισθήματα δημιουργούν οι μεμβράνες στους καταναλωτές. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν δύο δοκιμές: α) διαβάθμιση της αποδοχής και β) πρόθεσης κατανάλωσης τροφίμου.

Κατά την δοκιμή διαβάθμισης της αποδοχής, κάθε μεμβράνη αξιολογείται ως προς 5 χαρακτηριστικά (εμφάνιση, οσμή, υφή στο χέρι, υφή στο στόμα και γεύση), βαθμολογείται σε πενταβάθμια κλίμακα (με 5=πιο αρεστό) και σημειώνονται από τους δοκιμαστές προαιρετικές παρατηρήσεις ως προς τα χαρακτηριστικά. Κατά την δοκιμή της πρόθεσης κατανάλωσης τροφίμου οι δοκιμαστές απαντούν στην ερώτηση «πόσο συχνά θα καταναλώνατε το τρόφιμο;» για καθεμία από τις μεμβράνες και σημειώνουν “X” στο αντίστοιχο πλαίσιο: ποτέ, σπάνια, μερικές φορές, συχνά, πολύ συχνά.

Για την διεξαγωγή του πειράματος παρασκευάστηκε αρχικά διπλή δόση πολτού για κάθε είδος (XG-XΛ, XG-MΛ, MG-XM, MG-MΛ) κατά την διαδικασία που αναφέρεται στο B1 μέχρι το σημείο της χύτευσης. Παρασκευάζοντας δύο πρώτα είδη μεμβρανών λαμβάνεται δείγμα με αποστειρωμένη σύριγγα των 7,5 ml και επιστρώνεται σε τρυβλίο Petri. Στην συνέχεια, πραγματοποιείται διόρθωση με βάση τα στερεά συστατικά των πολτών και χρησιμοποιούνται 9 ml για τα επόμενα δύο είδη προκειμένου να επιτευχθεί ομοιομορφία σε όλα τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά. Τα 50 πρώτα τρυβλία (25 XG-XΛ και 25 XG-MΛ) στην συνέχεια μεταφέρονται στον αποστειρωμένο απαγωγό Telstar AV-100 και αφήνονται για ξήρανση για 24 ώρες. Ο απαγωγός αποστειρώνεται με την χρήση υπερϊώδους ακτινοβολίας και στην συνέχεια τοποθετούνται τα επόμενα 50 τρυβλία (25 MG-XM και 25 MG-MΛ) για ξήρανση. Ορισμένα δείγματα από κάθε μεμβράνη εξετάστηκαν μικροβιολογικά προκειμένου να διασφαλιστεί ότι είναι κατάλληλα προς κατανάλωση. Στην συνέχεια, συντάσσεται το έντυπο των δοκιμών καθώς και οι οδηγίες που δίδονται στους δοκιμαστές. Τέλος, κατά την προετοιμασία των δειγμάτων τα φιλμ αφαιρούνται από το τρυβλίο, κόβονται στην μέση και τοποθετούνται σε πλαστικό ποτήρι. Κάθε είδος μεμβράνης κωδικοποιείται και γίνεται ταυτόχρονη παρουσίασή τους στους δοκιμαστές για την έναρξη των οργανοληπτικών δοκιμών.

Πλεονέκτημα της ξήρανσης στον απαγωγό έναντι του ξηραντήρα είναι η παρουσία φίλτρου σωματιδίων, που επιτρέπει την λειτουργία σε αποστειρωμένες και χωρίς σωματίδια

συνθήκες λόγω της συνεχούς ροής αέρα, εξασφαλίζοντας έτσι το μειωμένο μικροβιακό φορτίο στις μεμβράνες που πρόκειται να καταναλωθούν.

Οι συναισθηματικές δοκιμές όπως έχει αναφερθεί πραγματοποιούνται με την βοήθεια μη εκπαιδευμένων δοκιμαστών και απαιτούνται τουλάχιστον 30 (ωστόσο το σφάλμα είναι μεγάλο και η αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος είναι αμφισβητούμενη). Γενικά, ένας αριθμός 100 ατόμων είναι επαρκής για τις δοκιμές που είναι εστιασμένες στους καταναλωτές (καλή αντιπροσωπευτικότητα, μικρό σφάλμα) (Τσάκης & Γρηγοράκης, 2014). Στις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε εργαστηριακή κλίμακα έλαβαν μέρος 34 δοκιμαστές.



Εικόνα 4. Επιστρωμένα τρυβλία στον απαγωγό



Εικόνα 5. Αποξηραμένες μεμβράνες μετά από 24 ώρες

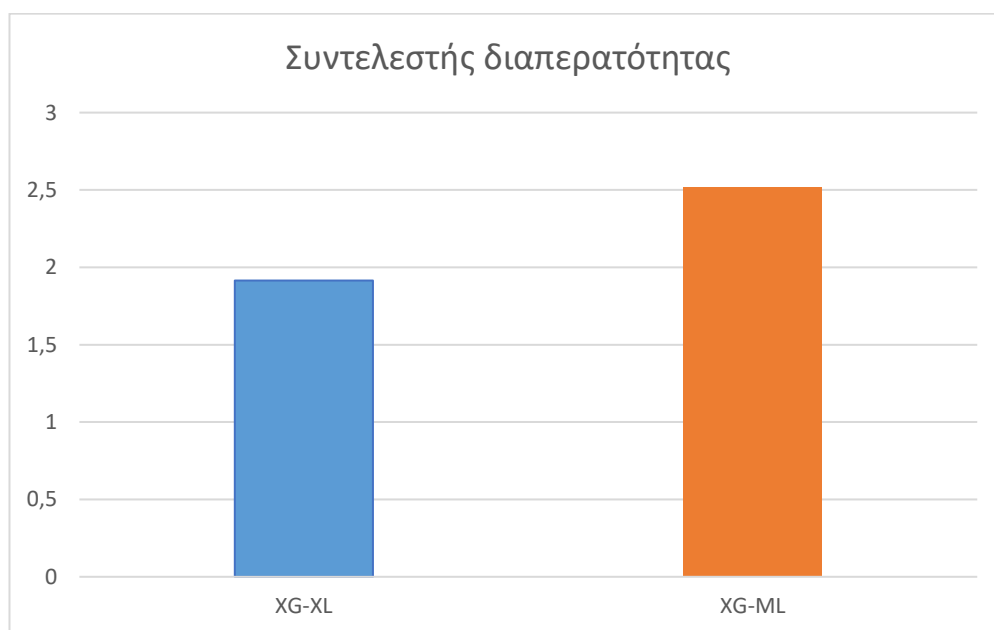
3. Στατιστική επεξεργασία

Για την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε την Ανάλυση Διακύμανσης (ANOVA) του Microsoft Excel κατά ένα ή κατά δύο παράγοντες, ανάλογα με τον αριθμό των διαφορετικών δειγμάτων.

4. Αποτελέσματα και συζήτηση

4.1. Διαπερατότητα στους υδρατμούς

Από το πείραμα της διαπερατότητας στους υδρατμούς για τα δύο είδη μεμβρανών (XG-XL, XG-ML) προέκυψαν αποτελέσματα τα οποία είναι συγκρίσιμα, καθώς όλες οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε σταθερές συνθήκες. Πρέπει να σημειωθεί ότι μοναδική μεταβλητή αποτελεί το πάχος των μεμβρανών, το οποίο όμως δεν επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα. Με την εφαρμογή της μεθόδου διόρθωσης (T. H. McHUGH κ.ά., 1993) και με την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι το ελαιόλαδο δεν προσφέρει στην ελάττωση του συντελεστή διαπερατότητας στους υδρατμούς, αλλά και παρατηρήθηκε μία μικρή αύξηση αυτού. Αν και τα μόρια του ελαιόλαδου είναι λιγότερο πολικά σε σχέση με αυτά των υδρατμών, αυτό δεν είχε αντίκτυπο στην αύξηση της αδιαπερατότητας της μεμβράνης στους υδρατμούς.



Διάγραμμα 1. Συντελεστής Διαπερατότητας

Από την στατιστική ανάλυση (ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα και τον έλεγχο t δύο δειγμάτων με υποτιθέμενες άνισες διακυμάνσεις) προέκυψε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις διαπερατότητες στους υδρατμούς των δυο ειδών μεμβρανών.

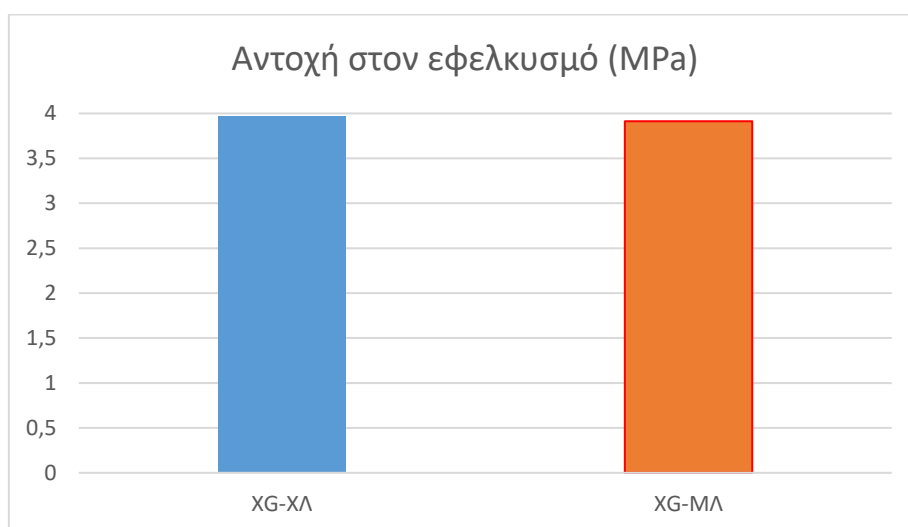
Πίνακας 2. Δεδομένα και αποτελέσματα ελέγχου διαπερατότητας στους

Είδος μεμβράνης	Πάχος μεμβράνης (μm)	Διαπερατότητα $g\ mm\ kPa^{-1}\ h^{-1}\ m^{-2}$
XG -ΧΛ	124 ± 17,7	1,92 ± 0,38
XG -ΜΛ	147 ± 15,0	2,52 ± 0,29

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η προσθήκη ελαιόλαδου ενίσχυσε την διαπερατότητα στους υδρατμούς. Αυτό το συμπέρασμα έρχεται σε αντιπαράθεση με τη βιβλιογραφία. Έρευνα των Garcia, M. et al. (2000) σε μεμβράνες με βάση το άμυλο έδειξαν ότι ενσωμάτωση καθορισμένης ποσότητας ηλιέλαιου προκαλούσε αξιοσημείωτη ελάττωση του συντελεστή διαπερατότητας (WVP), λόγω της υδροφοβικότητας των λιπαρών ουσιών. Ωστόσο, αναφέρεται ότι μεγαλύτερες ποσότητες λαδιού προκαλούσαν αύξηση του συντελεστή διαπερατότητας των υδρατμών. Επίσης, υψηλή αποδοτικότητα στην μείωση του WVP είχε και ο συνδυασμός λιπιδίων με πλαστικοποιητές, η παρουσία των οποίων βοηθούσε στην απουσία ρωγμών και σχισμών στις μεμβράνες. Παρ' όλες τις τεχνικές βελτίωσης της αδιαπερατότητας, είναι γενικά αποδεκτό ότι η ικανότητα φραγμού στους υδρατμούς που παρέχουν οι βρώσιμες μεμβράνες είναι πολύ μικρότερη από εκείνη των συνθετικών μεμβρανών (M. A. García κ.ά., χ.χ.; T. H. McHUGH κ.ά., 1993; Otoni κ.ά., 2017).

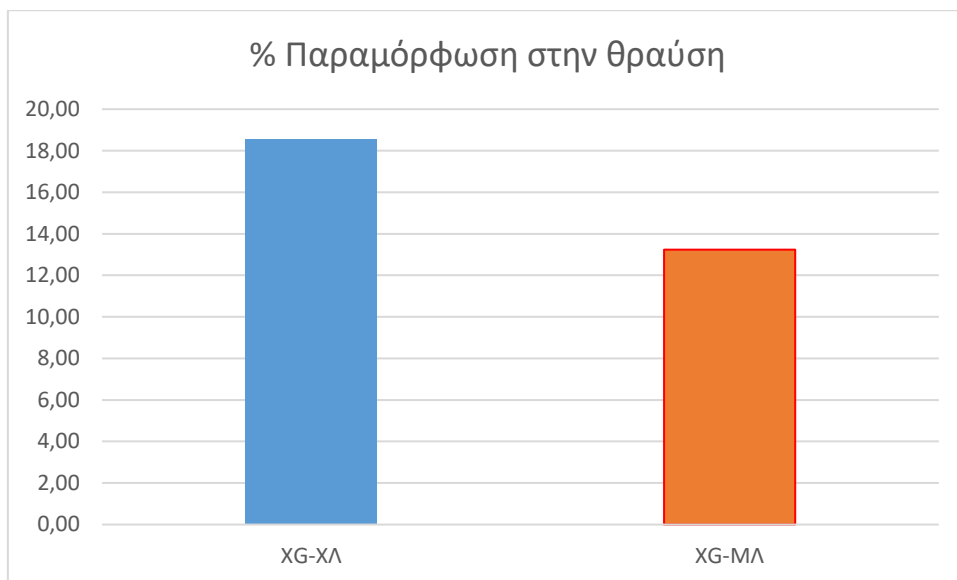
4.2. Μηχανικές ιδιότητες

Τα διαγράμματα 1,2,3 αντιπροσωπεύουν τα αποτελέσματα της Αντοχής στον Εφελκυσμό, του ποσοστού Παραμόρφωσης και του Μέτρου Ελαστικότητας αντίστοιχα.



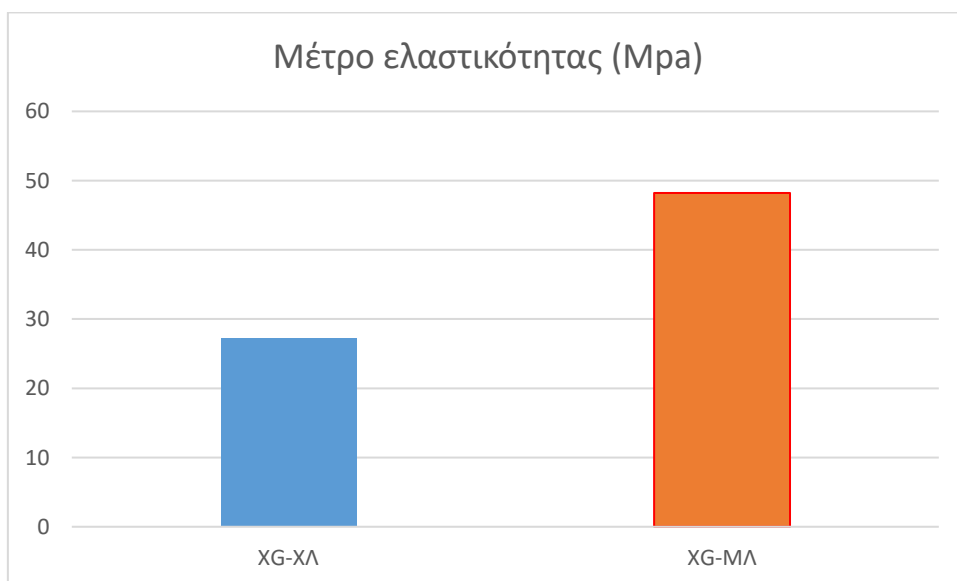
Διάγραμμα 2. Αντοχή στον εφελκυσμό

Από την στατιστική ανάλυση (Ανάλυση Διακύμανσης κατά ένα παράγοντα) προέκυψε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεμβρανών που είχαν λάδι και εκείνων που δεν είχαν (διότι $F < \text{κριτήριο } F$ και $\text{τιμή-}P > 0,05$) ως προς την αντοχή τους στον εφελκυσμό.



Διάγραμμα 3. % Παραμόρφωση στην θραύση

Από την στατιστική ανάλυση (Ανάλυση Διακύμανσης κατά ένα παράγοντα) προέκυψε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεμβρανών που είχαν λάδι και εκείνων που δεν είχαν (διότι $F > \text{κριτήριο } F$ και $\text{τιμή-}P < 0,05$) ως προς την % παραμόρφωση στην θραύση.



Διάγραμμα 4. Μέτρο ελαστικότητας

Από την στατιστική ανάλυση (Ανάλυση Διακύμανσης κατά ένα παράγοντα) προέκυψε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεμβρανών που είχαν λάδι και εκείνων που δεν είχαν (διότι $F <$ κριτήριο F και τιμή- $P > 0,05$) ως προς το μέτρο ελαστικότητας.

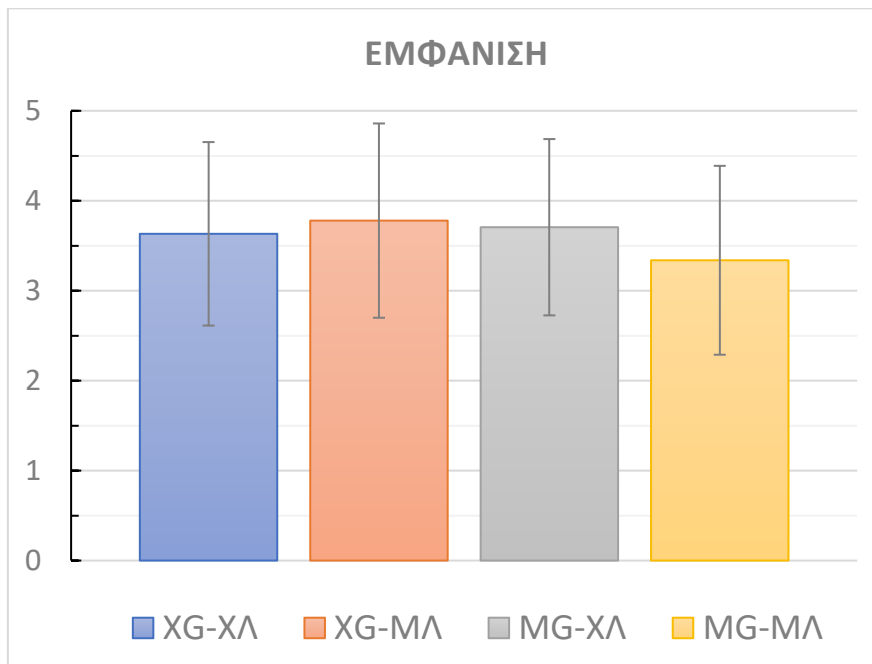
Με βάση το Διάγραμμα 2 και δεδομένου ότι όλα τα δείγματα έχουν τις ίδιες διαστάσεις (επιφάνεια A), είναι δυνατή η σύγκρισή τους ως προς την αντοχή στον εφελκυσμό. Από το διάγραμμα εξάγεται το συμπέρασμα ότι λίγο μεγαλύτερες τιμές αντοχής στον εφελκυσμό έχουν οι μεμβράνες χωρίς γκουάρ και χωρίς λάδι. Επιπλέον, σύμφωνα με τον τύπο $TS = F_{\theta\rho\alpha\upsilon\sigma\eta\sigma}/A_0$, συνάγεται το συμπέρασμα πως για μέγιστη τάση εφελκυσμού συνεπάγεται και μέγιστη τιμή δύναμης που χρειάζεται για να σπάσει η μεμβράνη. Από την στατιστική ανάλυση προκύπτει ότι τα δύο είδη μεμβρανών δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά, ενώ αναμένονταν τα δείγματα XG-XΛ να έχουν μεγαλύτερη αντοχή στον εφελκυσμό. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται σε λανθασμένο πειραματικό χειρισμό, καθώς η βιβλιογραφία αναφέρει ότι οι μεμβράνες λάδι παρουσιάζουν μικρότερη αντοχή στον εφελκυσμό. Όσον αφορά την παραμόρφωση στην θραύση, το μήκος των δειγμάτων L_0 και η ταχύτητα της κεφαλής παραμένουν σταθερά σε όλες τις μετρήσεις, ενώ μεταβάλλεται ο χρόνος θραύσης ο οποίος καθορίζει το τελικό αποτέλεσμα. Από το Διάγραμμα 3 παρατηρείται ότι οι μεμβράνες που δεν περιείχαν λάδι παρουσιάζουν μεγαλύτερη παραμόρφωση στην θραύση, γεγονός που επιβεβαιώνεται από την βιβλιογραφία, διότι τα λιπίδια δεν προσδίδουν ιδιαίτερα καλές μηχανικές ιδιότητες (αντοχή στον εφελκυσμό και παραμόρφωση στην θραύση) (Lazaridou & Biliaderis, 2002). Υπολογίζεται επίσης το μέτρο ελαστικότητας των μεμβρανών, από τον τύπο $EM = \{(\kappa\lambda\iota\sigma\eta) \times L_0\} / \{A_0 \times (\tau\alpha\chi\upsilon\tau\eta\tau\alpha \text{ κεφαλής})\}$. Με αρχικό μήκος L_0 , επιφάνεια διατομής A και ταχύτητα κεφαλής να είναι σταθερά σε όλα τα δείγματα. Επομένως, τα αποτελέσματα εξαρτώνται από τις κλίσεις που λαμβάνονται για κάθε δείγμα. Έτσι, όσο αυξάνεται η κλίση, τόσο αυξάνεται και το μέτρο ελαστικότητας. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς οι μεμβράνες με λάδι παρουσιάζουν μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας χαρακτηρίζονται ως σκληρές (hard) συγκριτικά με εκείνες που δεν έχουν.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα ελέγχου μηχανικών ιδιοτήτων

Είδος Μεμβράνης	Αντοχή στον εφελκυσμό (MPa)	%Παραμόρφωση στη θραύση	Μέτρο Ελαστικότητας (MPa)
XG-XΛ	3,97 ±1,3	18,57±3,14	27,25±17,54
XG-MΛ	3,91±0,62	13,24±3,71	48,21±30,39

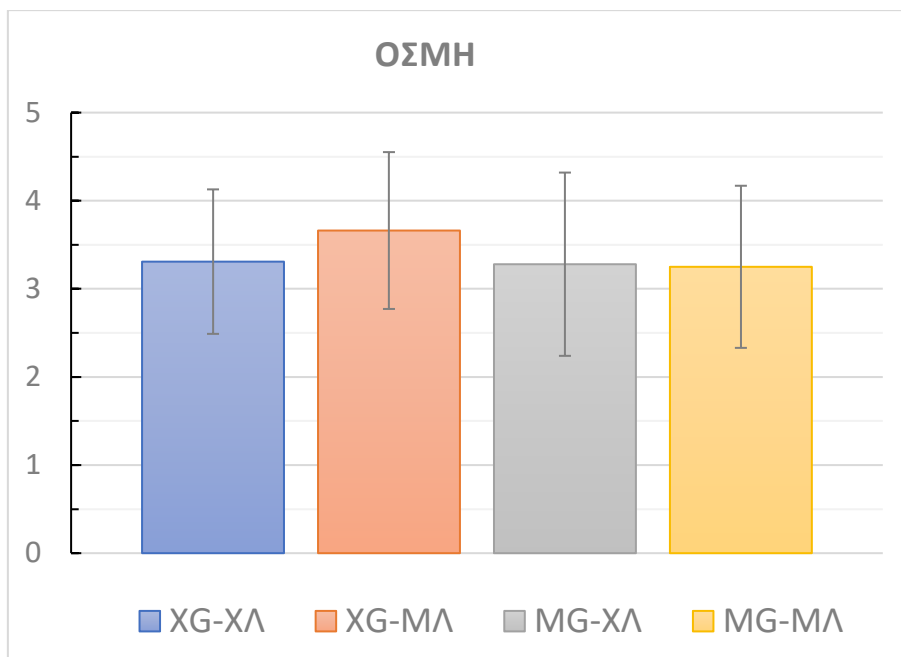
4.3. Οργανοληπτικός έλεγχος

ι. Δοκιμή διαβάθμισης αποδοχής



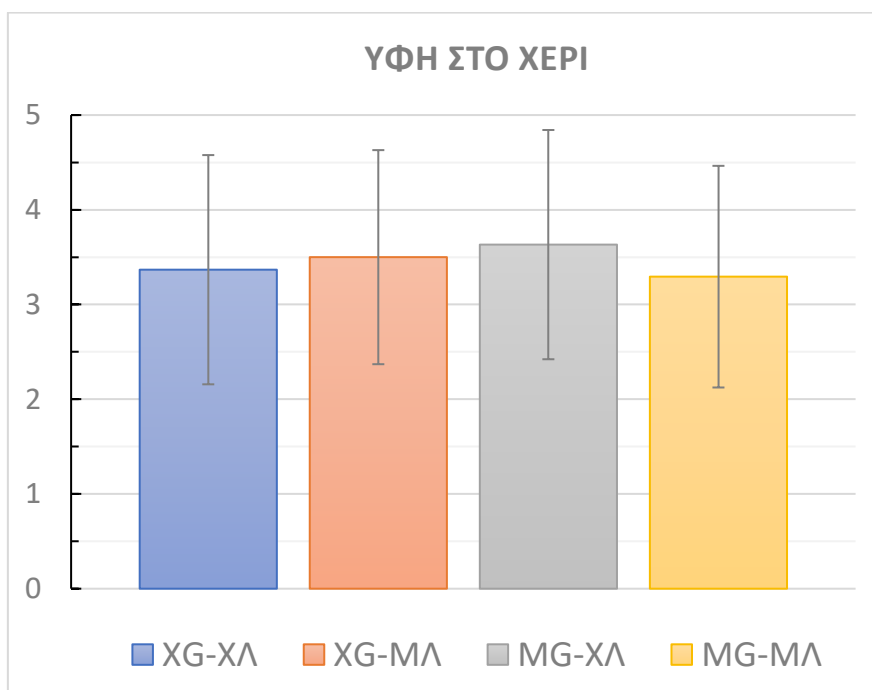
Διάγραμμα 5. Διαβάθμιση αποδοχής της εμφάνισης

Από την στατιστική ανάλυση (Ανάλυση Διακύμανσης κατά δύο παράγοντες) προέκυψε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεμβρανών που είχαν λάδι και εκείνων που δεν είχαν, αλλά ούτε και μεταξύ των μεμβρανών με γκουάρ και χωρίς γκουάρ ως προς την εμφάνισή τους (διότι $F < \text{κριτήριο } F$ και τιμή- $P > 0,05$).



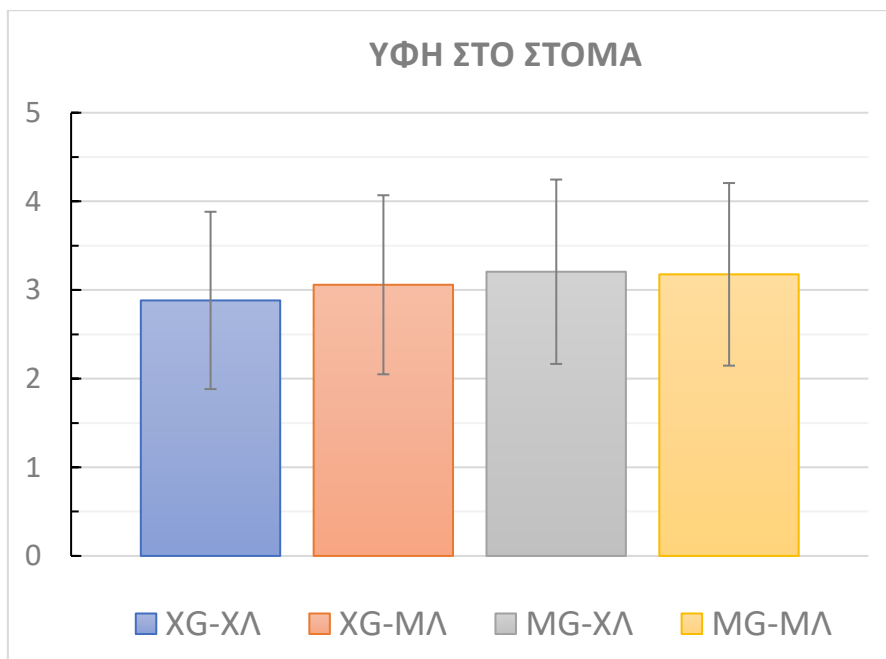
Διάγραμμα 6. Διαβάθμιση της αποδοχής της οσμής

Από την στατιστική ανάλυση (Ανάλυση Διακύμανσης κατά δύο παράγοντες) προέκυψε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεμβρανών που είχαν λάδι και εκείνων που δεν είχαν, αλλά ούτε και μεταξύ των μεμβρανών με γκουάρ και χωρίς γκουάρ ως προς την οσμή τους (διότι $F < \text{κριτήριο } F$ και $\text{τιμή-}P > 0,05$).



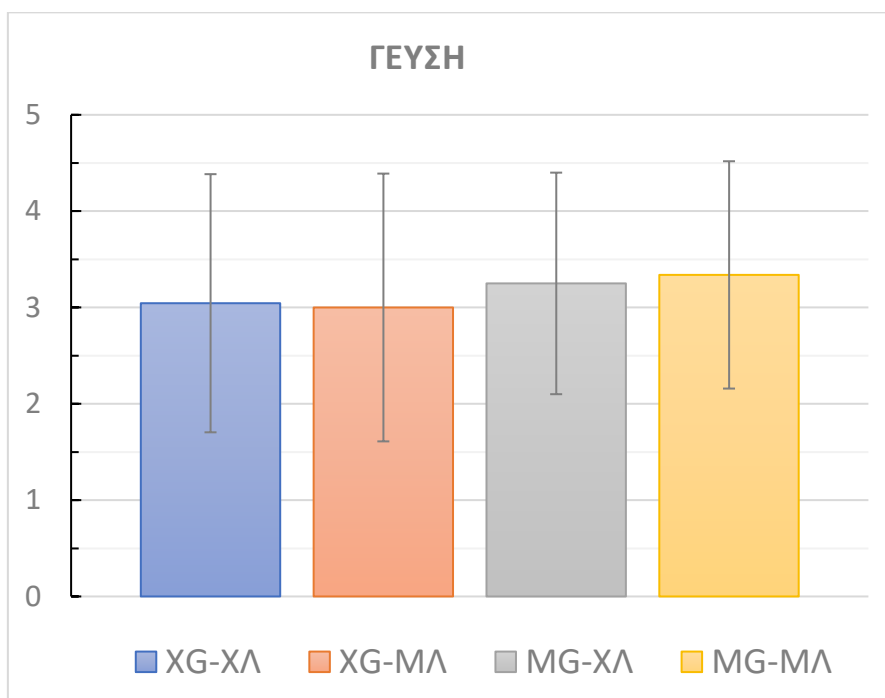
Διάγραμμα 7. Διαβάθμιση της αποδοχής της υφής στο χέρι

Από την στατιστική ανάλυση (Ανάλυση Διακύμανσης κατά δύο παράγοντες) προέκυψε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεμβρανών που είχαν λάδι και εκείνων που δεν είχαν, αλλά ούτε και μεταξύ των μεμβρανών με γκουάρ και χωρίς γκουάρ ως προς την υφή στο χέρι (διότι $F < \text{κριτήριο } F$ και $\text{τιμή-}P > 0,05$).



Διάγραμμα 8. Διαβάθμιση της αποδοχής της υφής στο χέρι

Από την στατιστική ανάλυση (Ανάλυση Διακύμανσης κατά δύο παράγοντες) προέκυψε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεμβρανών που είχαν λάδι και εκείνων που δεν είχαν, αλλά ούτε και μεταξύ των μεμβρανών με γκουάρ και χωρίς γκουάρ ως προς την υφή στο στόμα (διότι $F < \text{κριτήριο } F$ και $\text{τιμή-}P > 0,05$).

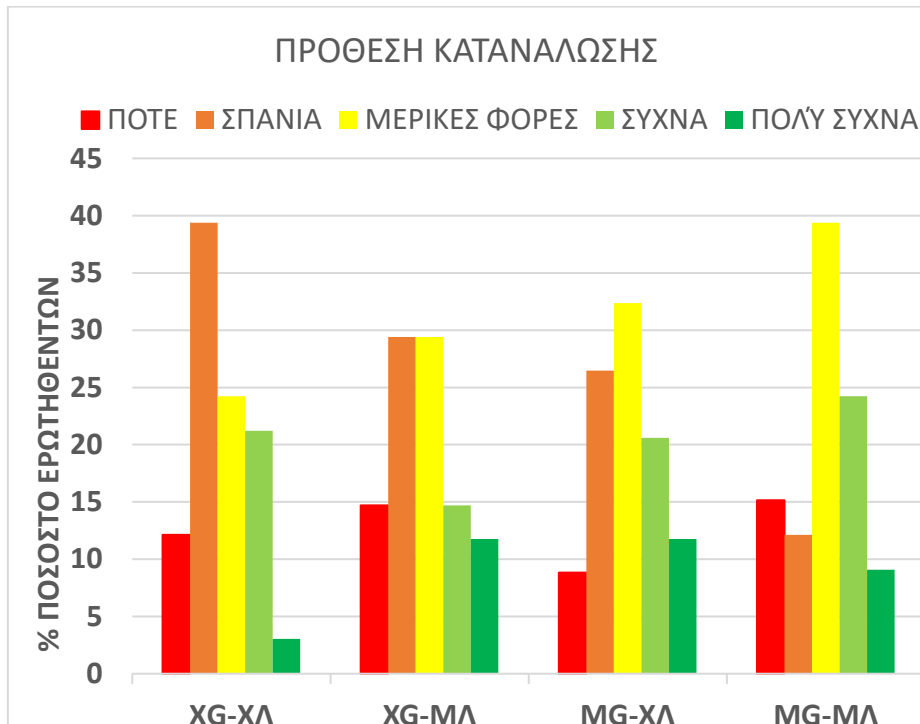


Διάγραμμα 9. Διαβάθμιση της αποδοχής της γεύσης

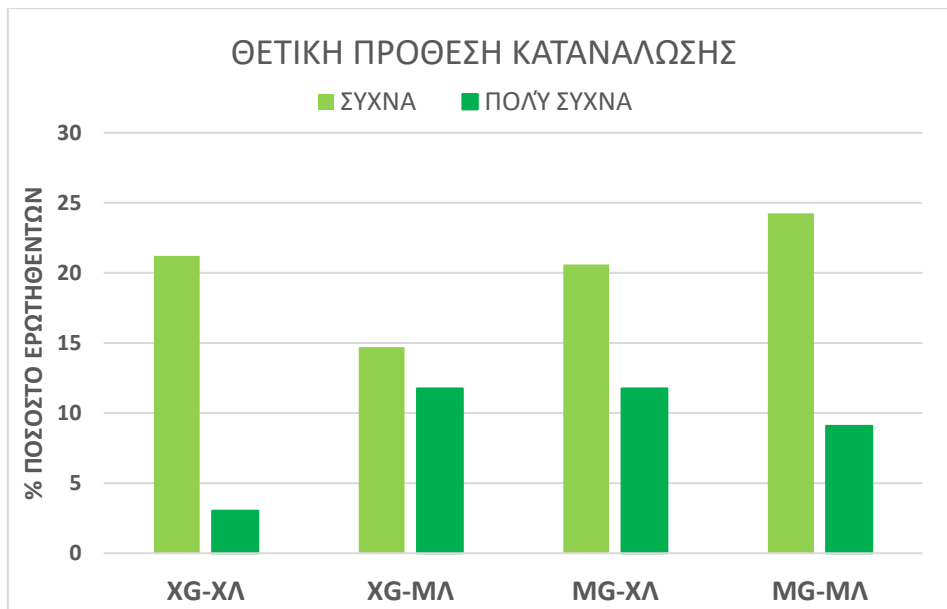
Από την στατιστική ανάλυση (Ανάλυση Διακύμανσης κατά δύο παράγοντες) προέκυψε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεμβρανών που είχαν λάδι και εκείνων που δεν είχαν, αλλά ούτε και μεταξύ των μεμβρανών με γκουάρ και χωρίς γκουάρ ως προς τη γεύση (διότι $F <$ κριτήριο F και τιμή- $P > 0,05$).

Με την επεξεργασία των αποτελεσμάτων από την δοκιμή διαβάθμισης αποδοχής που πραγματοποιήθηκε στα τέσσερα είδη μεμβρανών, καθώς και με την στατιστική ανάλυση αυτών, προκύπτει το εξής συμπέρασμα: Για τα πέντε διαφορετικά χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν, εμφάνιση, οσμή, υφή στο χέρι, υφή στο στόμα, γεύση δεν υπάρχει σημαντική διαφορά αλληλεπίδρασης μεταξύ μεμβρανών με γκουάρ και χωρίς γκουάρ (guar/ no guar) και μεμβρανών με λάδι και χωρίς λάδι (oil / no oil). Αυτό μπορεί να διαπιστωθεί και από τα διαγράμματα για το κάθε χαρακτηριστικό όπου η διαφορά μεταξύ των τεσσάρων μεμβρανών είναι πολύ μικρή. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι οποιοδήποτε είδος μεμβράνης χρησιμοποιηθεί μελλοντικά, αποδίδει σχεδόν τα ίδια χαρακτηριστικά γεύσης, οσμής, υφής και εμφάνισης στους καταναλωτές.

ii. Δοκιμή πρόθεσης κατανάλωσης



Διάγραμμα 10. Πρόθεση κατανάλωσης τροφίμων



Διάγραμμα 11. Θετικής πρόθεσης κατανάλωσης τροφίμων

Με την επεξεργασία των αποτελεσμάτων από τη δοκιμή πρόθεσης κατανάλωσης τα οποία φαίνονται στο Διάγραμμα 10 φαίνεται ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ

των μεμβρανών, XG-ΧΛ, XG-ΜΛ, ΜG-ΧΛ, ΜG- ΜΛ. Για να διευκολυνθεί η αξιολόγηση της πρόθεσης κατανάλωσης μεταξύ των διαφορετικών μεμβρανών, σχεδιάστηκε κι ένα διάγραμμα μόνο με την κατανάλωση ΣΥΧΝΑ και ΠΟΛΥ ΣΥΧΝΑ όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 11. Ίσως μπορεί να παρατηρηθεί μία μεγαλύτερη προθυμία κατανάλωσης της μεμβράνης ΜG- ΜΛ αλλά και πάλι οι διαφορές είναι πολύ μικρές. Ωστόσο, είναι πολύ θετικό το γεγονός ότι παρατηρείται ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό των δοκιμαστών να έχει θετική πρόθεση κατανάλωσης και ως προς τις τέσσερις μεμβράνες.

A. Συμπεράσματα

Από πειράματα που διεξήχθησαν για τον έλεγχο της διαπερατότητας στους υδρατμούς προέκυψε ότι η προσθήκη ελαιολάδου δεν μείωσε τον συντελεστή διαπερατότητας όπως αναμενόταν λόγω της υδροφοβικότητάς του, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στην έλλειψη μη υδρόφιλων πλαστικοποιητών καθώς και στην αυξημένη ποσότητα ελαιόλαδου σύμφωνα με την βιβλιογραφία. Από τα πειράματα για τον έλεγχο των μηχανικών ιδιοτήτων προκύπτουν ότι η προσθήκη ελαιολάδου δεν συνεισφέρει στην αντοχή στον εφελκυσμό ούτε και στο μέτρο ελαστικότητας, ενώ οι μεμβράνες που δεν περιείχαν λάδι παρουσιάζουν μεγαλύτερη παραμόρφωση στην θραύση. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν διεξήχθησαν επαναληπτικά πειράματα για τις μηχανικές ιδιότητες, οπότε και η περαιτέρω διερεύνηση των ιδιοτήτων αυτών για σαφή συμπεράσματα κρίνεται απαραίτητη. Τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού ελέγχου οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα τέσσερα είδη μεμβράνης δεν ξεχωρίζουν ως προς τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά καθώς και ότι μεγάλο ποσοστό των δοκιμαστών απάντησαν θετικά στην πρόθεση κατανάλωσης. Παρόλα αυτά, είναι αναγκαίοι περισσότεροι οργανοληπτικοί έλεγχοι σε μεγάλες πληθυσμιακές ομάδες, ώστε να εξαχθούν σαφή αποτελέσματα για τον βαθμό αρέσκειας και την πρόθεση κατανάλωσής τους.

Συμπερασματικά, περαιτέρω έρευνα πρέπει να διεξαχθεί για την βελτίωση της διαπερατότητας στους υδρατμούς καθώς και των μηχανικών ιδιοτήτων καθώς και για την αποδοχή των προϊόντων από την αγορά. Επίσης, θα μπορούσαν να προστεθούν και άλλα υλικά της Ελληνικής σαλάτας όπως φέτα, ξύδι, αλάτι που ενδεχομένως να προσδώσουν καλύτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

B. Δυνητικές εφαρμογές

Μία πολλά υποσχόμενη εφαρμογή των βρώσιμων μεμβρανών είναι η χρησιμοποίησή τους ως ενεργές συσκευασίες, ενδεικτικά ως περιτυλίγματα ή σακίδια που περιέχουν το τρόφιμο. Οι μεμβράνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φορείς αντιμικροβιακών και αντιοξειδωτικών ενώσεων, καθώς και να ρυθμίζουν τη διάχυση αυτών των ουσιών από την επιφάνεια προς το εσωτερικό του τροφίμου (Παπαδάκης, 2019). Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν, η εκτεταμένη χρήση των αιθέριων ελαίων κανέλας και ρίγανης αλλά και διάφορων οξέων όπως το βενζοϊκό και το σορβικό. Οι ενεργές μεμβράνες έχουν την ικανότητα να απελευθερώνουν λειτουργικές ενώσεις, οι οποίες με τη σειρά τους να αναστέλλουν, να μειώνουν ή ακόμα και να αποτρέπουν την ανάπτυξη μικροοργανισμών στο τρόφιμο, προστατεύοντάς το από τέτοιου είδους αλλοιώσεις και επεκτείνοντας τη διάρκεια ζωής του (Falguera κ.ά., 2011). Επιπλέον, στα βρώσιμα φιλμ μπορούν να ενσωματωθούν και λειτουργικά πρόσθετα για τη βελτίωση της ποιότητας, των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και της διατροφικής αξίας του τροφίμου (Παπαδάκης, 2019; T. h. McHUGH κ.ά., 1996). Οι εδώδιμες αυτές μεμβράνες χαρακτηρίζονται ως μεμβράνες δεύτερης γενιάς, λόγω των μικροοργανισμών και χημικών ενώσεων που μπορούν να χρησιμοποιούν. Μία επιπρόσθετη ενδιαφέρουσα τεχνική, είναι αυτή της μικροενθυλάκωσης ή νανοενθυλάκωσης μέσω της οποίας οι μεμβράνες μπορούν να περιέχουν θρεπτικά συστατικά και βιοδραστικές ενώσεις ωφέλιμες για την ανθρώπινη υγεία (Falguera κ.ά., 2011).

Παρόλα αυτά, η εφαρμογή των βρώσιμων μεμβρανών μπορεί να περιοριστεί στην επικάλυψη των τροφίμων ως πρωτογενή συσκευασία. Πλεονέκτημα αποτελεί η θετική επίδραση στο περιβάλλον, καθώς καταναλώνονται μαζί με το περιεχόμενο προϊόν χωρίς να υπάρχουν απορριπτέα υπολείμματα. Επιπλέον, στην περίπτωση που δεν καταναλωθούν η απόρριψή τους δεν επιβαρύνει σε μεγάλο βαθμό το περιβάλλον χάρη στα βιοαποικοδομήσιμα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένες (Παπαδάκης, 2019). Η αντικατάσταση των μη ανανεώσιμων υλικών που χρησιμοποιούνται στις αντίστοιχες μεμβράνες συνθετικών πολυμερών, αποτελεί βασικό πλεονέκτημα ως προς τη βελτίωση της διαδικασίας ανακύκλωσης (Falguera κ.ά., 2011) και κατ' επέκταση στη μέριμνα για την περιβαλλοντική ρύπανση.

Βιβλιογραφία

- Αναγνωστοπούλου, Α., & Ταλλέλη, Α. (2008). *Τεχνολογία και ποιότητα φρούτων και λαχανικών* (Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών). <https://metabook.gr/books/tekhnologhia-kai-roioutita-frouton-kai-lakhanikwn-anna-anaghnostopouloy-aikaterini-talelli-137614>
- Λάζου Α.Ε., (2019), *ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ*.
- Λουγκοβόης, Β. (2019), *Συμπληρωματικό βοήθημα για το μάθημα του οργανοληπτικού ελέγχου τροφίμων (μέρος 3ο)*.
- Παπαδάκης, Σ. Ε., 2^η Έκδοση 2019, *Συσκευασία Τροφίμων* 2η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα.
- Τσάκνης, Ι., & Γρηγοράκης, Κ. (2014). *ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ*. Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Arvanitoyannis, I. S. (2010). *Irradiation of Food Commodities: Techniques, Applications, Detection, Legislation, Safety and Consumer Opinion*. Academic Press.
- Ayranci, E., & Tunc, S. (2003). A method for the measurement of the oxygen permeability and the development of edible films to reduce the rate of oxidative reactions in fresh foods. *Food Chemistry*, 80(3), 423–431. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00485-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00485-5)
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., Gatto, G. J., & Stryer, L. (2015). *Βιοχημεία* (μτφ 8η Αμερικανική). Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Bonilla, J., Atarés, L., Vargas, M., & Chiralt, A. (2012). Edible films and coatings to prevent the detrimental effect of oxygen on food quality: Possibilities and limitations. *Journal of Food Engineering*, 110(2), 208–213. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.05.034>
- Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: Characteristics and properties. *International Food Research Journal*, 15.
- Bravin, B., Peressini, D., & Sensidoni, A. (2004). Influence of Emulsifier Type and Content on Functional Properties of Polysaccharide Lipid-Based Edible Films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(21), 6448–6455. <https://doi.org/10.1021/jf040065b>
- Chaichi, M., Hashemi, M., Badii, F., & Mohammadi, A. (2017). Preparation and characterization of a novel bionanocomposite edible film based on pectin and crystalline

- nanocellulose. *Carbohydrate Polymers*, 157, 167–175.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.09.062>
- Chen, W., Ma, S., Wang, Q., McClements, D. J., Liu, X., Ngai, T., & Liu, F. (2022). Fortification of edible films with bioactive agents: A review of their formation, properties, and application in food preservation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(18), 5029–5055. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1881435>
- Cox, S., Sandall, A., Smith, L., Rossi, M., & Whelan, K. (2021). Food additive emulsifiers: A review of their role in foods, legislation and classifications, presence in food supply, dietary exposure, and safety assessment. *Nutrition Reviews*, 79(6), 726–741.
- Dangaran, K., Tomasula, P. M., & Qi, P. (2009). Structure and Function of Protein-Based Edible Films and Coatings. Στο K. C. Huber & M. E. Embuscado (Επιμ.), *Edible Films and Coatings for Food Applications* (σσ. 25–56).
- Dangaran, K., Tomasula, P. M., & Qi, P. (2009). Structure and function of protein-based edible films and coatings. In *Edible films and coatings for food applications* (pp. 25-56). Springer, New York, NY
- Dhumal, C. V., Pal, K., & Sarkar, P. (2019). Characterization of Tri-Phasic Edible Films from Chitosan, Guar Gum, and Whey Protein Isolate Loaded with Plant-Based Antimicrobial Compounds. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 58(3), 255–269. <https://doi.org/10.1080/03602559.2018.1466179>
- Du, W.-X., Olsen, C. W., Avena-Bustillos, R. J., McHugh, T. H., Levin, C. E., & Friedman, M. (2008). Storage Stability and Antibacterial Activity against *Escherichia coli* O157:H7 of Carvacrol in Edible Apple Films Made by Two Different Casting Methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(9), 3082–3088.
- Espitia, P. J. P., Du, W.-X., Avena-Bustillos, R. de J., Soares, N. de F. F., & McHugh, T. H. (2014). Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review. *Food Hydrocolloids*, 35, 287–296.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.06.005>
- Falguera, V., Quintero, J. P., Jiménez, A., Muñoz, J. A., & Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*, 22(6), 292–303
- García, M. A., Martino, M. N., & Zaritzky, N. E. (χ.χ.). *JFS: Food Chemistry and Toxicology Lipid Addition to Improve Barrier Properties of Edible Starch-based Films and Coatings*.

- García, M. a., Martino, M. n., & Zaritzky, N. e. (2000). Lipid Addition to Improve Barrier Properties of Edible Starch-based Films and Coatings. *Journal of Food Science*, 65(6).
- Gennadios, A., Brandenburg, A. H., Weller, C. L., & Testin, R. F. (1993). Effect of pH on properties of wheat gluten and soy protein isolate films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41(11), 1835–1839.
- Guillard, V., Gaucel, S., Fornaciari, C., Angellier-Coussy, H., Buche, P., & Gontard, N. (2018). The Next Generation of Sustainable Food Packaging to Preserve Our Environment in a Circular Economy Context. *Frontiers in Nutrition*, 5.
- Han, J.-W., Ruiz-Garcia, L., Qian, J.-P., & Yang, X.-T. (2018). Food Packaging: A Comprehensive Review and Future Trends: Food packaging: Review and future trends.... *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(4), 860–877.
- Jeya Jeevahan, J., Chandrasekaran, M., Venkatesan, S. P., Sriram, V., Britto Joseph, G., Mageshwaran, G., & Durairaj, R. B. (2020). Scaling up difficulties and commercial aspects of edible films for food packaging: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 210–222.
- Lazaridou, A., & Biliaderis, C. G. (2002). Thermophysical properties of chitosan, chitosan–starch and chitosan–pullulan films near the glass transition. *Carbohydrate Polymers*,
- Liu, D., Nikoo, M., Boran, G., Zhou, P., & Regenstein, J. M. (2015). Collagen and Gelatin. *Annual Review of Food Science and Technology*, 6(1), 527–557.
- Manzoor, M., Singh, J., Bandral, J. D., Gani, A., & Shams, R. (2020). Food hydrocolloids: Functional, nutraceutical and novel applications for delivery of bioactive compounds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 554–567.
- Marsh, K., & Bugusu, B. (2007). Food Packaging? Roles, Materials, and Environmental Issues. *Journal of food science*, 72.
- McHUGH, T. H., Avena-Bustillos, R., & Krochta, J. m. (1993). Hydrophilic Edible Films: Modified Procedure for Water Vapor Permeability and Explanation of Thickness Effects. *Journal of Food Science*, 58(4), 899–903.
- McHUGH, T. h., Huxsoll, C. c., & Krochta, J. m. (1996). Permeability Properties of Fruit Puree Edible Films. *Journal of Food Science*, 61(1), 88–91.

- Mudgil, D., Barak, S., & Khatkar, B. S. (2014). Guar gum: Processing, properties and food applications—A Review. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(3), 409–418.
- Ncube, L. K., Ude, A. U., Ogunmuyiwa, E. N., Zulkifli, R., & Beas, I. N. (2020). Environmental impact of food packaging materials: A review of contemporary development from conventional plastics to polylactic acid based materials. *Materials*, *13*(21), 1–24. Scopus.
- Nur Hanani, Z. A., Aelma Husna, A. B., Nurul Syahida, S., Nor Khaizura, M. A. B., & Jamilah, B. (2018). Effect of different fruit peels on the functional properties of gelatin/polyethylene bilayer films for active packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, *18*, 201–211.
- Otoni, C. G., Avena-Bustillos, R. J., Azeredo, H. M. C., Lorevice, M. V., Moura, M. R., Mattoso, L. H. C., & McHugh, T. H. (2017). Recent Advances on Edible Films Based on Fruits and Vegetables-A Review: Fruit and vegetable edible films.... *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *16*(5), 1151–1169.
- Peressini, D., Bravin, B., Lapsin, R., Rizzotti, C., & Sensidoni, A. (2003). Starch–methylcellulose based edible films: Rheological properties of film-forming dispersions. *Journal of Food Engineering*, *59*(1), 25–32.
- Ramos, Ó. L., Fernandes, J. C., Silva, S. I., Pintado, M. E., & Malcata, F. X. (2012). Edible Films and Coatings from Whey Proteins: A Review on Formulation, and on Mechanical and Bioactive Properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *52*(6), 533–552.
- Ridley, B. L., O'Neill, M. A., & Mohnen, D. (2001). Pectins: Structure, biosynthesis, and oligogalacturonide-related signaling. *Phytochemistry*, *57*(6), 929–967. Scopus.
- Rodríguez, M., Osés, J., Ziani, K., & Maté, J. I. (2006). Combined effect of plasticizers and surfactants on the physical properties of starch based edible films. *Food Research International*, *39*(8), 840–846.
- Saiful, Saleha, S., & Salman. (2013). Preparation and characterization edible film packaging from carrageenan. *Proceedings of The Annual International Conference, Syiah Kuala University - Life Sciences & Engineering Chapter*, *3*(3), Article 3.
- Salgado, P. R., Ortiz, C. M., Musso, Y. S., Di Giorgio, L., & Mauri, A. N. (2015). Edible films and coatings containing bioactives. *Current Opinion in Food Science*, *5*, 86–92.

- Santacruz, S., Rivadeneira, C., & Castro, M. (2015). Edible films based on starch and chitosan. Effect of starch source and concentration, plasticizer, surfactant's hydrophobic tail and mechanical treatment. *Food Hydrocolloids*, *49*, 89–94.
- Sharma, P., Shehin, V. P., Kaur, N., & Vyas, P. (2019). Application of edible coatings on fresh and minimally processed vegetables: A review. *International Journal of Vegetable Science*, *25*(3), 295–314.
- Shivangi, S., Dorairaj, D., Negi, P. S., & Shetty, N. P. (2021). Development and characterisation of a pectin-based edible film that contains mulberry leaf extract and its bioactive components. *Food Hydrocolloids*, *121*, 107046.
- Sothornvit, R., & Pitak, N. (2007). Oxygen permeability and mechanical properties of banana films. *Food Research International*, *40*(3), 365–370. Scopus.
- Su, J.-F., Huang, Z., Yuan, X.-Y., Wang, X.-Y., & Li, M. (2010). Structure and properties of carboxymethyl cellulose/soy protein isolate blend edible films crosslinked by Maillard reactions. *Carbohydrate Polymers*, *79*(1), 145–153.
- Suhag, R., Kumar, N., Petkoska, A. T., & Upadhyay, A. (2020). Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Research International*, *136*, 109582.
- Wang, H., Ding, F., Ma, L., & Zhang, Y. (2021). Edible films from chitosan-gelatin: Physical properties and food packaging application. *Food Bioscience*, *40*, 100871.
- Wang, X., Sun, X., Liu, H., Li, M., & Ma, Z. (2011). Barrier and mechanical properties of carrot puree films. *Food and Bioproducts Processing*, *89*(2), 149–156.
- Wu, X., Liu, Q., Luo, Y., Murad, M. S., Zhu, L., & Mu, G. (2020). Improved packing performance and structure-stability of casein edible films by dielectric barrier discharges (DBD) cold plasma. *Food Packaging and Shelf Life*, *24*, 100471.
- Younis, H. G. R., & Zhao, G. (2019). Physicochemical properties of the edible films from the blends of high methoxyl apple pectin and chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, *131*, 1057–1066.
- Zhang, W., Zhang, Y., Cao, J., & Jiang, W. (2021). Improving the performance of edible food packaging films by using nanocellulose as an additive. *International Journal of Biological Macromolecules*, *166*, 288–296.