



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΥΓΙΕΙΝΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΠΟΤΩΝ
Π.Μ.Σ. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΤΣ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΝΤΙΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΕΤΟΙΜΩΝ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ
ΦΕΤΩΝ ΜΗΛΟΥ

ΣΕΡΓΙΟΣ Β. ΙΩΣΗΦΙΔΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΣΚΑΝΔΑΜΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΙΑ

Αθήνα, 2019

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΝΤΙΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΕΤΟΙΜΩΝ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ
ΦΕΤΩΝ ΜΗΛΟΥ**

**STUDY OF QUALITATIVE PARAMETERS DURING THE
DEVELOPMENT OF ANTIMICROBIAL ACTIVE
PACKAGING, APPLIED TO APPLE SLICES**

ΣΕΡΓΙΟΣ Β. ΙΩΣΗΦΙΔΗΣ

Εξεταστική επιτροπή:

Σκανδάμης Παναγιώτης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ (Επιβλέπων)

Ευαγγελίου Βασιλική, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΓΠΑ

Καραθάνος Βάιος, Καθηγητής Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου

Ευχαριστίες

Φτάνοντας στο τέλος του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών, αισθάνομαι την ανάγκη να αναφερθώ και να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν με τον τρόπο τους να ολοκληρωθεί η διπλωματική μου μελέτη και στήριξαν αυτή μου την προσπάθεια.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Παναγιώτη Σκανδάμη, Αναπληρωτή Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, που μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, αλλά και για την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας μελέτης. Το ενδιαφέρον και η αγάπη του για το διδακτικό έργο και την έρευνα, σου εμπνέει το σεβασμό και τη θέληση να συνεχίσεις και εσύ την επιστημονική σου κατάρτιση, ώστε να γίνεις καλύτερος επιστήμονας και άνθρωπος.

Στη συνέχεια, οφείλω να εκφράσω τη βαθιά μου ευγνωμοσύνη στη μεταδιδακτορική ερευνήτρια Αναστασία Καπετανάκου για την πολύτιμη καθοδήγησή της, το συνεχές ενδιαφέρον της και τον χρόνο που αφιέρωσε ώστε να ολοκληρωθεί αυτή η μελέτη. Ευχαριστώ, επίσης, την πλέον απόφοιτη του τμήματος Ιωάννα Γέρμανου για την άριστη συνεργασία που είχαμε κατά την εκπόνηση των πειραμάτων, καθώς και την υποψήφια διδάκτορα Μαρία Γκερέκου για τις χρήσιμες συμβουλές της και τις γνώσεις που μου μετέφερε.

Ακόμη, ευχαριστώ το προσωπικό του Εργαστηρίου για την υποστήριξη και το φιλικό περιβάλλον, καθώς και όλους τους καθηγητές του μεταπτυχιακού προγράμματος για τις γνώσεις και τα εφόδια που μας πρόσφεραν.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου για τη στήριξη, τη συμπαράσταση και την κατανόησή τους, καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Σέργιος Β. Ιωσηφίδης

Περίληψη

Η ποιότητα των φρεσκοκομμένων φρούτων υποβαθμίζεται πιο γρήγορα σε σχέση με αυτή των ακέραιων καρπών, οδηγώντας σε φαινόμενα όπως η επιφανειακή αμαύρωση και αφυδάτωση, η μεταβολή της υφής, η ανάδειξη δυσάρεστης γεύσης, καθώς και η ανάπτυξη μικροοργανισμών, που επηρεάζει την ασφάλειά τους. Η επίδραση των μεταβολών αυτών θα μπορούσε, εν μέρει, να αποφευχθεί με την εφαρμογή εναλλακτικών τρόπων συντήρησης και συσκευασίας, με στόχο την αύξηση του χρόνου ζωής του προϊόντος και την αποδοχή του από το καταναλωτικό κοινό. Μια τέτοιου είδους τεχνολογία, η οποία έχει μελετηθεί από αρκετούς ερευνητές, αποτελεί η ενεργός συσκευασία.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση διαφορών ειδών ενεργού συσκευασίας στις ποιοτικές παραμέτρους έτοιμων προς κατανάλωση μήλων, ποικιλίας Starkin. Σε φρεσκοκομμένες φέτες μήλων εφαρμόστηκαν εδώδιμες επικαλύψεις αλγινικού νατρίου 1.5% w/v, πηκτίνης χαμηλής μεθυλίωσης 3% w/v, καθώς και διπλές επικαλύψεις με συνδυασμό των δύο παραπάνω συστατικών, με ή χωρίς την προσθήκη αντιμικροβιακής ουσίας βανιλίνης σε συγκέντρωση 0.3 και 0.6% w/v. Τα δείγματα συσκευάστηκαν σε πλαστικές σακούλες, είτε σε παθητική συσκευασία αέρα είτε σε συνθήκες τροποποιημένης ατμόσφαιρας, στους 4° C για 14 ημέρες. Κατά τη διάρκεια της συντήρησης πραγματοποιήθηκαν φυσικοχημικές και μικροβιολογικές αναλύσεις και αξιολογήθηκαν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων (επικαλυμμένων και μαρτύρων).

Οι επικαλύψεις αλγινικού νατρίου, πηκτίνης και συνδυασμού τους φάνηκε πως συνέβαλαν στην καθυστέρηση της διαδικασίας ωρίμανσης και αμαύρωσης των φρέσκων φετών μήλου, ενώ παράλληλα παρεμπόδισαν αποτελεσματικά τη μετανάστευση των μορίων νερού από το μήλο στο περιβάλλον, σε σχέση με τους μάρτυρες. Η ενσωμάτωση βανιλίνης δύο διαφορετικών συγκεντρώσεων συνέβαλε στην παρεμπόδιση της ανάπτυξης των μικροοργανισμών και ταυτόχρονα είχε θετική επίδραση στην οσμή των επικαλυμμένων δειγμάτων. Πιο συγκεκριμένα η προσθήκη βανιλίνης συγκέντρωσης 0.6% w/v παρουσίασε μεγαλύτερη αντιμικροβιακή δράση, ενώ τα δείγματα με ενσωματωμένη βανιλίνη 0.3% w/v συγκέντρωσαν μεγαλύτερες βαθμολογίες κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο. Παράλληλα φάνηκε πως η εφαρμογή διπλών επικαλύψεων παρουσίαζε καλύτερα και πιο σταθερά αποτελέσματα από τις

μονές επικαλύψεις πηκτίνης ή αλγινικού νατρίου, τόσο στο χρώμα όσο και στη σκληρότητα των φρεσκοκομμένων μήλων. Τέλος, διαπιστώθηκε πως η συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας σε συνδυασμό με τη χαμηλή θερμοκρασία αποθήκευσης (4° C), είχαν θετική επίδραση στη διατήρηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των φετών μήλου, καθώς συνέβαλαν στη μείωση του ρυθμού αναπνοής και της ανάπτυξης των μικροοργανισμών πιο αποτελεσματικά από την παθητική συσκευασία αέρα.

Λέξεις κλειδιά: ελαφρώς επεξεργασμένα φρούτα, φέτες μήλου, εδώδιμες επικαλύψεις, αλγινικό νάτριο, πηκτίνη, επικαλύψεις διπλοστοιβάδας, βανιλίνη, αντιμικροβιακή ενεργός συσκευασία, συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας, παθητική συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας, ποιοτικά χαρακτηριστικά, τεχνολογία συσκευασίας.

Abstract

The quality of minimally processed fruits deteriorates more rapidly than that of the intact ones, leading to phenomena such as surface browning and dehydration, textural breakdown, development of off-flavor, as long as the growth of microorganisms, that could affect their safety. The effect of these changes could, in part, be avoided by using alternative methods in the field of maintenance and packaging, aimed at increasing the product's shelf life and making it acceptable by the consumers. One such technology, which has been studied by several researchers, is active packaging.

In this study, the effect of various active packaging types, on the quality parameters of ready-to-eat Starkin apples, was studied. Edible coatings of sodium alginate 1.5% w/v, low methoxyl pectin 3% w/v as well as double layer coatings, formed from the combination of the above materials, were applied to fresh-cut apple slices, with or without the incorporation of vanillin in two different concentrations (0.3 and 0.6% w/v). The samples were packed in plastic bags, either in passive air packaging or under modified atmosphere conditions, at 4° C for 14 days. Physicochemical and microbiological analyses were performed and the organoleptic characteristics of the samples (coated and controls) were evaluated, during the storage period.

Edible coatings of sodium alginate, pectin and their combination (double layers) appeared to delay the ripening process and the surface browning of fresh-cut apple slices. They also effectively prevent the migration of water molecules from the coated samples to the headspace of packaging, compared to the controls. The incorporation of vanillin in two different concentrations contributed to the inhibition of microbial growth and at the same time had a positive effect on the odor of the treated samples. In particular, coatings in combination with 0.6% w/v vanillin exhibited higher antimicrobial activity, while samples with incorporated vanillin 0.3% w/v scored higher during the sensory evaluation. The application of double-layer coatings appeared to provide better and more stable results, both in the color and hardness parameters of the fresh-cut apples, compared to the single ones. Finally, it was found that modified atmosphere packaging in combination with low storage temperature (4° C) had a positive effect on the preservation of the sensory quality of apple slices, as they

contributed to a decrease in the respiration rate and the growth of microorganisms in a more effective way than the passive packaging did.

Key words: minimally processed fruits, apple slices, edible coatings, sodium alginate, pectin, double-layer coatings, vanillin, antimicrobial active packaging, modified atmosphere packaging, passive modified atmosphere packaging, qualitative parameters, packaging technology.

Πίνακας Περιεχομένων

A. Θεωρητικό Μέρος

1. Μήλο

1.1 Γενικά.....	-9-
1.2 Ποιότητα και ρυθμός ωρίμανσης του μήλου.....	-11-
1.3 Διατροφική αξία.....	-12-

2. Ελαφρώς επεξεργασμένα φρούτα

2.1 Φρεσκοκομμένα φρούτα.....	-13-
2.2 Η σύγχρονη τάση στην κατανάλωση φρεσκοκομμένων φρούτων.....	-14-

3. Συσκευασία

3.1 Γενικά.....	-15-
3.2 Συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP).....	-17-
3.3 Ενεργός συσκευασία.....	-19-
3.4 Ενεργός αντιμικροβιακή συσκευασία.....	-19-

4. Εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις

4.1 Γενικά.....	-21-
4.2 Είδη εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων.....	-23-
4.3 Αλγινικά.....	-24-
4.4 Πηκτίνη.....	-26-
4.5 Εδώδιμες επικαλύψεις διπλής στιβάδας.....	-27-
4.6 Αντιμικροβιακές εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις.....	-28-
4.7 Μειονεκτήματα χρήσης των εδώδιμων επικαλύψεων.....	-32-

B. Σκοπός.....-33-

Γ. Πειραματικός μέρος

1. Υλικά & Μέθοδοι

1.1 Προετοιμασία των δειγμάτων.....	-34-
1.2 Παρασκευή πηκτών αλγινικού νατρίου (1.5% w/v) με προσθήκη βανιλίνης (0.0, 0.3 & 0.6% w/v).....	-34-
1.3 Παρασκευή πηκτών πηκτίνης χαμηλής μεθυλίωσης (3% w/v) με προσθήκη βανιλίνης (0.0, 0.3 & 0.6% w/v).....	-35-

1.4 Παρασκευή πηκτών πηκτίνης χαμηλής μεθυλίωσης (3% w/v) και αλγινικού νατρίου (1.5% w/v) για τη δημιουργία διαδοχικών διπλών επικαλύψεων.....	-35-
1.5 Πειραματική διαδικασία.....	-35-
1.6 Αναλυτικές μέθοδοι.....	-38-
1.6.1 Σύσταση αερίων στο εσωτερικό της συσκευασίας.....	-38-
1.6.2 Μικροβιολογικές αναλύσεις.....	-38-
1.6.3 Μέτρηση pH.....	-39-
1.6.4 Χρώμα.....	-39-
1.6.5 Οξύτητα.....	-40-
1.6.6 Ολικά διαλυτά στερεά.....	-40-
1.6.7 Υφή.....	-40-
1.6.8 Υγρασία.....	-40-
1.6.9 Οργανοληπτικός έλεγχος.....	-41-
2. Αποτελέσματα & Συζήτηση	
2.1 Σύσταση αερίων.....	-41-
2.2 Μικροβιολογικές αναλύσεις.....	-46-
2.3 pH.....	-50-
2.4 Χρώμα.....	-52-
2.5 Οξύτητα.....	-53-
2.6 Ολικά διαλυτά στερεά – TSS.....	-56-
2.7 Υγρασία.....	-58-
2.7 Υφή.....	-59-
2.8 Οργανοληπτικός έλεγχος.....	-64-
Δ. Συμπεράσματα	-70-
Ε. Βιβλιογραφία	-71-

A. Θεωρητικό Μέρος

1. Μήλο

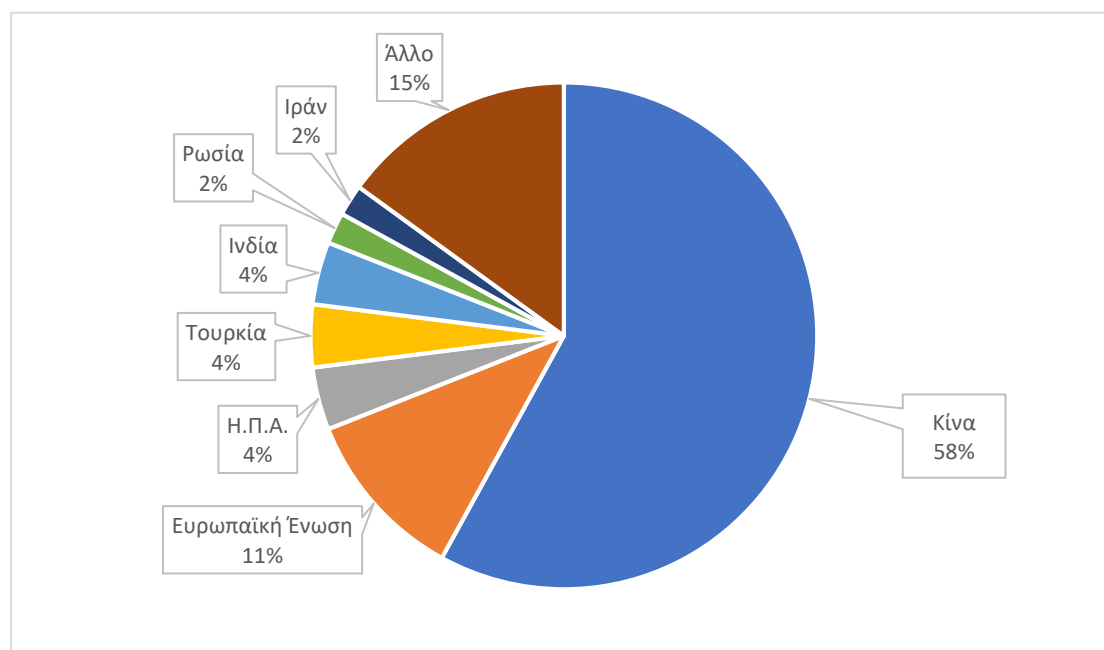
1.1 Γενικά

Το μήλο (*Malus domestica*, *Malus pumila*, *Malus sylvestris*) είναι ένα εύκρατο κλιμακτηριακό φρούτο, το οποίο ανήκει στην οικογένεια των Ροδοειδών (*Rosoceae*) και αποτελεί ένα από τα πιο ευρέως καταναλισκόμενα φρούτα σε ολόκληρο τον πλανήτη, τόσο λόγω της διατροφικής όσο και της οικονομικής του αξίας. Οι ρίζες του ξεκινούν από την κεντρική Ασία και την ανατολική Ευρώπη ήδη από την αρχαιότητα, ενώ η παλαιότερη καταγεγραμμένη περιγραφή των μήλων εμφανίζεται στην ελληνική λογοτεχνία του 4^{ου} αιώνα π.Χ. Μέχρι σήμερα έχουν αναγνωριστεί πάνω από 1.000 διαφορετικές ποικιλίες που καλλιεργούνται και ευδοκιμούν σε διαφορετικά μέρη της γης με εύκρατο κλίμα, ενώ έχει παρατηρηθεί πως ορισμένες από αυτές προσαρμόζονται καλύτερα σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές ("*Fruits*", 2002).

Η συνολική ετήσια παγκόσμια παραγωγή μήλων έφτασε τα 89,3 εκατομμύρια τόνους το 2016, σημειώνοντας μια μέση αύξηση της τάξεως του 3,5% σε σχέση με τα προηγούμενα έτη και αποφέροντας συνολικά 52 δισεκατομμύρια δολάρια (*World Apple Market Report*, 2017). Οι χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή μήλων το 2016 παγκοσμίως παρουσιάζονται στον Πίνακα 1, ενώ στο Διάγραμμα 1 φαίνεται η κατανάλωση των μήλων για τα έτη 2015 – 2016 σε παγκόσμιο επίπεδο. Η Ευρωπαϊκή Ένωση θεωρείται από τους κορυφαίους παραγωγούς και καταναλωτές μήλων στον κόσμο, παρουσιάζοντας τόσο εισαγωγική όσο και εξαγωγική δραστηριότητα, με την Πολωνία, την Ιταλία και τη Γαλλία να αποτελούν τους μεγαλύτερους εξαγωγείς μήλων ευρωπαϊκά (*EUROSTAT*, 2016). Όσον αφορά την Ελλάδα και σύμφωνα με τα στοιχεία του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων για τα έτη 2012 – 2013, οι εκτάσεις που καλλιεργούνταν με μηλιές, ανέρχονταν στα 124.700 στρέμματα με μέση απόδοση τους 2,01 τόνους/στρέμμα. Πιο συγκεκριμένα, η καλλιέργεια της μηλιάς σε μορφή συστηματικών οπωρώνων εντοπίζεται κυρίως στην κεντρική και δυτική Μακεδονία, στη Θεσσαλία και στην Πελοπόννησο. Ωστόσο, από στατιστικά δεδομένα έχει παρατηρηθεί μια σημαντική μείωση, της τάξεως του 18%, στη συνολική ετήσια παραγόμενη ποσότητα μήλων από το 2010 έως το 2013 (*World Apple Report*, 2013).

Πίνακας 1. Χώρες με τις μεγαλύτερες ποσότητες παραγωγής μήλων το 2016 σε παγκόσμιο επίπεδο. (Πηγή: FAOSTAT, 2016)

Χώρα	Ετήσια παραγωγή (τόνοι)
Κίνα	44.447.793
Η.Π.Α.	4.649.323
Πολωνία	3.604.271
Τουρκία	2.925.828
Ινδία	2.872.000
Ιράν	2.799.197
Ιταλία	2.455.616
Ρωσία	1.843.544
Γαλλία	1.819.762



Διάγραμμα 1. Παγκόσμια κατανάλωση μήλων τα έτη 2015 – 2016.

(Πηγή: DG AGRI, 2018)

Η πορεία διάθεσης των φρέσκων μήλων προς τους τελικούς καταναλωτές περιλαμβάνει διάφορα στάδια, όπως η συγκομιδή, η διαλογή, η διακίνηση, η συντήρηση, η μεταπώληση κ.α. (O'Rourke, 2003). Στο στάδιο διαλογής του καρπού, για παράδειγμα, δίνεται έμφαση στη σάρκα και τη φλούδα του μήλου, καθώς η μεν θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένη σκληρότητα ενώ η δε να είναι συνεχής, χωρίς μώλωπες, μαλακές κηλίδες και τρύπες. Έχει παρατηρηθεί, μάλιστα, πως μήλα με μεγαλύτερο μέγεθος τείνουν να έχουν πιο αλευρώδη σάρκα σε σχέση με τα μικρότερα,

τα οποία είναι πιο τραγανά. Το χρώμα του φρούτου μπορεί να ποικίλει από σκούρο πράσινο σε κίτρινο ή σε έντονο κόκκινο ή και συνδυασμό των χρωμάτων αυτών (Βασιλακάκης, 2004). Όσον αφορά το στάδιο της συντήρησης, αυτό περιλαμβάνει τη διατήρηση των μηλών σε ψυχόμενους θαλάμους με χαμηλή υγρασία περιβάλλοντος, έτσι ώστε να μπορούν διατηρηθούν για μεγάλες χρονικές περιόδους. Επιπλέον, η πρόοδος της τεχνολογίας έχει συμβάλλει αρκετά στη συντήρηση των μήλων υπό ελεγχόμενη ατμόσφαιρα, αυξάνοντας έτσι τη ζωή του προϊόντος, με στόχο την ικανοποίηση των καταναλωτών. Ωστόσο, η συντήρηση κομμένων μήλων, ακόμη και στις μέρες μας, δεν είναι εύκολη υπόθεση, καθώς οι φέτες του φρούτου αμαυρώνονται γρήγορα όταν εκτεθούν στον ατμοσφαιρικό αέρα (Salunkhe & Kadam, 1995; Watkins, 2003).

1.2 Ποιότητα και ρυθμός ωρίμανσης του μήλου

Πολλές μέθοδοι έχουν προταθεί για τον προσδιορισμό της ωρίμανσης του μήλου. Αρκετές από αυτές, μάλιστα, αποτελούν δείκτες ποιότητας παρά ωρίμανσης. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κυριότεροι δείκτες ωρίμανσης - ποιότητας των μήλων.

Πίνακας 2. Δείκτες ωρίμανσης – ποιότητας του μήλου. (Πηγή: Watkins, 2003)

Παραγωγή αιθυλενίου	<i>Το αιθυλένιο είναι μια σημαντική ορμόνη που επηρεάζει την ωρίμανση των καρπών και μπορεί να μετρηθεί σχετικά εύκολα με αέρια χρωματογραφία.</i>
Υφή	<i>Η υφή του καρπού μεταβάλλεται (μαλακώνει) κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης. Ως δείκτης ποιότητας η υφή μπορεί να προσφέρει σημαντικές πληροφορίες που αφορούν το χρόνο αποθήκευσης.</i>
Συγκέντρωση διαλυτών στερεών	<i>Η συγκέντρωση των διαλυτών στερεών των μήλων γενικότερα αυξάνεται καθώς ο</i>

	<i>καρπός ωριμάζει, κυρίως με τη μετατροπή του αμύλου σε σάκχαρο.</i>
Τιτλοδοτημένη οξύτητα	<i>Το μηλικό οξύ κυριαρχεί στον καρπό του μήλου και συμβάλλει καθοριστικά στην τιτλοδοτημένη οξύτητα, η οποία μειώνεται κατά την ωρίμανση.</i>
Χρώμα	<i>Δεδομένου ότι το μήλο ωριμάζει και σαπίζει, το χρώμα της σάρκας αλλάζει από πράσινο σε κίτρινο, αντανακλώντας έτσι την απώλεια της χλωροφύλλης.</i>

1.3 Διατροφική αξία

Το φρέσκο μήλο αποτελεί ένα θρεπτικό μέσο, με υψηλό περιεχόμενο υγρασίας, χαμηλή συγκέντρωση λιπαρών και είναι πλούσιο τόσο σε μακρο όσο και σε μικροθρεπτικά συστατικά, όπως μέταλλα, οργανικά οξέα, βιταμίνες, φλαβονοειδή και φαινολικές ενώσεις. Επιπλέον, περιέχει αρκετή ποσότητα βιταμίνης C, η οποία ωστόσο χάνεται κατά τη θερμική επεξεργασία και το στύψιμο του φρούτου ("*Fruits*", 2002).

Πίνακας 3. Διατροφική σύσταση μήλου ανά 100g νωπού προϊόντος.

(Πηγή: [USDA](#))

Διατροφική σύσταση	
Νερό (g)	85.56
Ενέργεια (kcal)	52
Πρωτεΐνες (g)	0.26
Λιποειδή (g)	0.17
Υδατάνθρακες (g)	13.81
Φυτικές ίνες (g)	2.4
Σάκχαρο (g)	10.39
Μέταλλα	
Κάλιο (mg)	107
Νάτριο (mg)	1
Φώσφορος (mg)	11
Ασβέστιο (mg)	6
Μαγνήσιο (mg)	5

Βιταμίνες	
Βιταμίνη C (mg)	4.6
Ριβοφλαβίνη (μg)	26
Νιασίνη (μg)	91
Φυλλικό οξύ (μg)	3
Βιταμίνη A (μg)	3

2. Ελαφρώς επεξεργασμένα φρούτα

2.1 Φρεσκοκομμένα φρούτα

Ο όρος «ελαφρώς επεξεργασμένα φρούτα» αναφέρεται σε μια κατηγορία φρούτων που έχουν υποστεί φυσικές μεταβολές από την αρχική τους κατάσταση (ξεφλούδισμα, πλύσιμο, κόψιμο), αλλά παραμένουν ωστόσο φρέσκα (*Olivas & Barbosa-Cánovas, 2005*). Στην ομάδα αυτή ανήκουν και τα φρεσκοκομμένα φρούτα, τα οποία παρουσιάζονται στον καταναλωτή σε μια κατάσταση που επιτρέπει την άμεση κατανάλωσή τους, χωρίς κάποια προηγούμενη προετοιμασία. Η παραγωγή ελαφρώς επεξεργασμένων φρούτων, έτοιμων προς κατανάλωση αποτελεί μεγάλη πρόκληση για τη βιομηχανία τροφίμων, καθώς αυτά υποβαθμίζονται ποιοτικά πιο γρήγορα σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα. Οι λόγοι στους οποίους οφείλεται η παραπάνω υποβάθμιση είναι κυρίως ο τραυματισμός των κυττάρων και των ιστών, καθώς και η αφαίρεση της φυσικής προστατευτικής επιδερμίδας. Οι διεργασίες αυτές οδηγούν σε μια απότομη αύξηση του ρυθμού αναπνοής των φρούτων, επιταχύνοντας την κατανάλωση σακχάρων, λιπιδίων και οργανικών οξέων, καθώς και την παραγωγή αιθυλενίου, η οποία επακόλουθα αυξάνει το ρυθμό ωρίμανσης (*Kays, 1991*). Η διάρκεια ζωής και η ποιότητα των κομμένων φρούτα συνεχίζει να μειώνεται περαιτέρω από μια σειρά διεργασιών αποσύνθεσης μεταξύ των οποίων είναι η ενζυμική αμαύρωση, η απώλεια της υφής και του νερού, η αυξημένη ευαισθησία στη μικροβιακή αλλοίωση, καθώς και η παραγωγή δυσάρεστων οσμών και γευστικών ουσιών.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν διάφορες φυσικές και χημικές μέθοδοι για την αναστολή και την καθυστέρηση των παραπάνω φαινομένων. Για παράδειγμα ο έλεγχος της θερμοκρασίας, η χρήση τροποποιημένης ατμόσφαιρας, καθώς και πρόσθετων ουσιών, όπως οι ενζυμικοί αναστολείς, μπορούν να περιορίσουν το φαινόμενο της ενζυμικής αμαύρωσης. Επιπλέον, η παρεμπόδιση της απώλειας νερού και η προσθήκη

συστατικών όπως το χλωριούχο ασβέστιο μπορούν να ενισχύσουν τη δομή των ιστών του φρούτου και να βελτιώσουν την υφή του. Τέλος, οι αντιμικροβιακές ουσίες, όπως το βενζοϊκό οξύ, το σορβικό κάλιο, το προπιονικό οξύ, καθώς και η συντήρηση σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα με χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο και υψηλή σε διοξείδιο του άνθρακα μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση της μικροβιακής αλλοίωσης του φρούτου και στον περιορισμό σχηματισμού ενώσεων υπεύθυνων για τις δυσάρεστες οσμές, αντίστοιχα (*Olivas & Barbosa-Cánovas, 2005*).

2.2 Η σύγχρονη τάση στην κατανάλωση φρεσκοκομμένων φρούτων

Η κατανάλωση ολόκληρων φρέσκων φρούτων φαίνεται πως έχει αυξηθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες σε πολλές αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες, γεγονός που πιθανότατα αποδίδεται στην αγωγή υγείας του πληθυσμού ως προς τις υγιεινές διατροφικές συνήθειες. Ωστόσο, η τάση αυτή φάνηκε να διακόπτεται για μερικά χρόνια (*USDA, 2003*), όταν ξαφνικά παρατηρήθηκε μια αύξηση στην κατανάλωση κατεψυγμένων φρούτων αντί των νωπών, ως ένδειξη της κλίσης του κοινού για τα έτοιμα προς κατανάλωση προϊόντα, φανερώνοντας έτσι την αυξανόμενη προτίμηση των καταναλωτών για τα ελαφρώς επεξεργασμένα φρούτα. Μια παλαιότερη έρευνα που διεξάχθηκε από την IFPA (International Fresh-cut Product Association) φανέρωσε πως το 76% των συμμετεχόντων νοικοκυριών αγοράζει φρεσκοκομμένα προϊόντα μια φορά το μήνα, ενώ το 70% αγοράζει φρεσκοκομμένα φρούτα κάθε λίγες εβδομάδες (*IFPA, 2003*).

Τα φρεσκοκομμένα φρούτα είναι ένας πολύ βολικός τρόπος για την παροχή θρεπτικών, υγιεινών και νόστιμων προϊόντων προς τους καταναλωτές. Τα έτοιμα προς κατανάλωση φρούτα που έχουν πλυθεί, κοπεί σε κατάλληλο μέγεθος και συσκευαστεί επιτρέπουν στους καταναλωτές να τρώνε υγιεινά και ταυτόχρονα να εξοικονομούν χρόνο από την προετοιμασία των τροφίμων. Η διαθεσιμότητα, για παράδειγμα, φρεσκοκομμένων φρούτων σε αυτόματες μηχανές πώλησης σε σχολεία και χώρους εργασίας θα ήταν μια καλή στρατηγική για τη βελτίωση της ποιότητας των σνακ, σε μια εποχή που η παχυσαρκία και τα νοσήματα σχετιζόμενα με τη διατροφή επηρεάζουν μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού. Ωστόσο, η μικρή διάρκεια ζωής και η απώλεια ποιοτικών χαρακτηριστικών που αντιμετωπίζουν τα φρεσκοκομμένα φρούτα κατά τη

διάρκεια της συντήρησης και αποθήκευσης τους, μειώνουν τη προσέγγιση της παραπάνω στρατηγικής. Ως εκ τούτου, είναι πρωταρχικής σημασίας για τον καθορισμό του βέλτιστου τρόπου διατήρησης των ελαφρώς επεξεργασμένων φρούτων, να λαμβάνονται υπόψη όλοι οι προαναφερθέντες παράγοντες που οδηγούν στην υποβάθμιση της ποιότητας. Η χρήση εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων, ως στρατηγική για την αύξηση της διάρκειας ζωής των φρεσκοκομμένων καρπών, έχει προταθεί από πολλούς ερευνητές ως μια πιθανή μέθοδος βελτίωσης των ποιοτικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών των ελαφρώς επεξεργασμένων φρούτων (*Olivas & Barbosa-Cánovas, 2005; Rojas-Graü et al, 2009*).

3. Συσκευασία

3.1 Γενικά

Σύμφωνα με το άρθρο 2 του *N.2939/2001* ως συσκευασία ορίζεται «κάθε προϊόν κατασκευασμένο από οποιοδήποτε είδος υλικού, από πρώτες ύλες μέχρι επεξεργασμένα υλικά, και προοριζόμενο να χρησιμοποιείται για να περιέχει αγαθά με σκοπό την προστασία, τη διακίνηση, τη διάθεση και την παρουσίασή τους από τον παραγωγό μέχρι τον χρήστη ή τον καταναλωτή». Πιο συγκεκριμένα ως συσκευασία τροφίμων (food packaging) μπορεί να οριστεί «το σύνολο των δραστηριοτήτων που περιλαμβάνουν το σχεδιασμό, την κατασκευή, και την τοποθέτηση του προϊόντος σε κατάλληλο περιέκτη, ο οποίος: α) περιέχει το προϊόν σε πωλήσιμες ποσότητες, αποτρέπει τη νοθεία και διασφαλίζει τη γνησιότητά του, β) προστατεύει το προϊόν από εξωτερικούς παράγοντες και δεν αλληλεπιδρά αρνητικά μαζί του, γ) προσελκύει και ενημερώνει τον καταναλωτή με αποτέλεσμα να προωθεί τις πωλήσεις και να μεγιστοποιεί το κέρδος, δ) διευκολύνει την εμπορία του προϊόντος και ε) παρέχει άνεση στον καταναλωτή και συμβάλει στη διαχείριση των στερεών αποβλήτων με τη μικρότερη δυνατή επιβάρυνση του περιβάλλοντος» (*Μπλούκας, 2004*).

Σύμφωνα με το FDA (Food and Drug Administration) περίπου 13 δισεκατομμύρια τόνοι τροφίμων απορρίπτονται κάθε χρόνο παγκοσμίως, εξαιτίας προβλημάτων που σχετίζονται με την παραγωγή, τη διανομή και την αποθήκευση. Στις πιο ανεπτυγμένες χώρες η απώλεια αυτή αντιπροσωπεύει περίπου 300 κιλά ανά άτομο

ετησίως (*Contreras et al, 2017*). Λόγω της κατάστασης αυτής, γίνεται αντιληπτό ότι η συσκευασία παίζει βασικό ρόλο τόσο στην παραγωγή όσο και την αποθήκευση των τροφίμων.

Τα συνθετικά πολυμερή, κυρίως τα θερμοπλαστικά, είναι μέχρι και σήμερα τα βασικά υλικά συσκευασίας λόγω των ευπροσάρμοστων λύσεων που προσφέρουν σε μια μεγάλη ποικιλία αναγκών. Παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτικά χαρακτηριστικά, όπως η διαφάνεια, η καλή παρουσίαση, η αντοχή στη μεταφορά και η καλή αναλογία αντοχής/βάρους. Επιπλέον, τα πλαστικά είναι γενικά φθηνά και αποδοτικά, παρουσιάζουν καλές μηχανικές ιδιότητες και αποτελούν καλούς φραγμούς για το οξυγόνο και τη θερμότητα (*Hu & Wang, 2016*). Ωστόσο, παρ' όλα τα παραπάνω πλεονεκτήματα, η χρήση των συμβατικών πολυμερών στη συσκευασία τροφίμων έχει αρχίσει να αμφισβητείται, εξαιτίας των αυξανόμενων περιβαλλοντικών ανησυχιών, καθώς τα περισσότερα υλικά με βάση το πετρέλαιο, προέρχονται από μη ανανεώσιμες πηγές και είναι μη βιοδιασπώμενα (*Contreras et al, 2017*).

Στις μέρες μας, πολλές μελέτες επικεντρώνονται στην επίλυση αυτών των προβλημάτων, προσπαθώντας να βρουν μια πιθανή επαναχρησιμοποίηση και αξιοποίηση των απορριμμάτων χωρίς να βλάπτουν το περιβάλλον. Για το λόγο αυτό, αρκετοί ερευνητές έχουν μελετήσει τη δυνατότητα αντικατάστασης των παραδοσιακών πλαστικών με χαμηλού κόστους βιοδιασπώμενα υλικά που παρουσιάζουν παρόμοιες ιδιότητες (*Brownlee et al, 2009; Oms-Oliu et al., 2008; Sanchis et al., 2016*). Τα βιοπολυμερή αυτά υλικά, όπως οι πρωτεΐνες, οι υδατάνθρακες και τα λιπίδια, μπορούν να απομονωθούν από φυτικά και ζωικά προϊόντα και παραπροϊόντα, καθώς και από μικροοργανισμούς. Τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων ουσιών είναι η χιτοζάνη, το άμυλο, η ζελατίνη, οι εστέρες, τα αλγινικά και οι πηκτίνες. Για να μπορέσουν, ωστόσο, τα υλικά αυτά να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς στον τομέα της συσκευασίας τροφίμων θα πρέπει, όπως και τα συμβατικά, να πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις, όπως η προστασία και διατήρηση της ποιότητας του τροφίμου, η δημιουργία επιλεκτικών φραγμών στην υγρασία και το οξυγόνο, η παρεμπόδιση της οξειδωσης των λιπών, η διατήρηση του χρώματος, των γεύσεων, των οσμών και άλλα.

Ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα των φυσικών πολυμερών είναι ότι αυτά παρουσιάζουν φτωχές μηχανικές ιδιότητες, σε σύγκριση με τα συμβατικά. Συνεπώς, υπάρχει μια ερευνητική τάση για τη βελτίωση της σταθερότητας των

μηχανικών τους ιδιοτήτων, καθώς και για την παραγωγή νέων βιο-υλικών που θα υπερβαίνουν τους εγγενείς περιορισμούς τους και θα παρουσιάζουν περισσότερες από μια βελτιωμένες ιδιότητες (*Contreras et al, 2017*).

Τέλος, να σημειωθεί πως τα υλικά της συσκευασίας δεν είναι η μόνη παράμετρος που επηρεάζει την ποιότητα, την ασφάλεια και το χρόνο ζωής των τροφίμων, καθώς συχνά χρησιμοποιούνται και μεθοδολογίες όπως η προσθήκη φυσικών ενεργών συστατικών (π.χ. αντιμικροβιακές ουσίες), η συντήρηση σε χαμηλές θερμοκρασίες, η συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας και άλλα. Τα παραπάνω εμπόδια στοχεύουν στην καθυστέρηση της υποβάθμισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών και στον περιορισμό της μικροβιακής αλλοίωσης, βελτιώνοντας το χρόνο συντήρησης των φρέσκων ή/και των ελαφρώς επεξεργασμένων τροφίμων.

3.2 Συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP)

Η τεχνολογία της MAP στηρίζεται στην τροποποίηση της ατμόσφαιρας, που περιβάλλει το τρόφιμο, στο εσωτερικό της συσκευασίας και οδηγεί σε αύξηση της ζωής του προϊόντος, επιδρώντας σε μικροβιολογικό, μεταβολικό και φυσικοχημικό επίπεδο (*Cunha & Fonseca, 2016*). Η μέθοδος της συσκευασίας αυτής αναπτύχθηκε περίπου πριν από 90 χρόνια και δύναται να προστατέψει φρέσκα ή/και ελαφρώς επεξεργασμένα τρόφιμα είτε για μικρή είτε για μεγάλη χρονική διάρκεια, ανάλογα με την τελική χρήση και τα τελικά επιθυμητά ποιοτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου (*Goswami & Mangaraj, 2011*). Αξίζει, επίσης, να σημειωθεί πως η MAP σε συνδυασμό με τη διατήρηση σε χαμηλές θερμοκρασίες είναι μια ήπια μέθοδος συντήρησης για ασφαλή φρεσκοκομμένα φρούτα και λαχανικά (*Tajeddin et al, 2018*). Συχνά αντί του όρου «τροποποιημένη ατμόσφαιρα» χρησιμοποιείται ο όρος «προστατευτική ατμόσφαιρα», που θεωρείται πιο αποδεκτός από τους καταναλωτές.

Η συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας χρησιμοποιείται τόσο για τρόφιμα που παρουσιάζουν υψηλή αναπνευστική δραστηριότητα (π.χ. φρούτα, λαχανικά), όσο και για εκείνα με χαμηλό ρυθμό αναπνοής. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διεργασία της MAP αφαιρείται από τη συσκευασία ο ατμοσφαιρικός αέρας και αντικαθίσταται από ένα αέριο ή ένα μίγμα αερίων, το οποίο ποικίλει ανάλογα με το είδος του τροφίμου. Τα αέρια που χρησιμοποιούνται συνήθως στην τεχνολογία αυτή

είναι το οξυγόνο, το διοξείδιο του άνθρακα και το άζωτο (*Tajeddin et al, 2018*). Η σύσταση, ωστόσο, της τροποποιημένης ατμόσφαιρας μέσα στη συσκευασία μεταβάλλεται καθ' όλη τη διάρκεια της αποθήκευσης του τροφίμου, λόγω της αναπνοής του προϊόντος, διάλυσης των αερίων στο τρόφιμο, χημικών αντιδράσεων, ανάπτυξης μικροοργανισμών και διαπερατότητας του υλικού της συσκευασίας (*Παπαδάκης, 2010*).

Πέραν από την ενεργητική MAP υπάρχει και η παθητική συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας, όπου τα επίπεδα ισορροπίας των τελικών αερίων (O₂ και CO₂) παράγονται στο εσωτερικό της συσκευασίας (in situ), στηριζόμενα στην αλληλεπίδραση της διαπερατότητας του φιλμ συσκευασίας και στις φυσιολογικές διαδικασίες που εμφανίζουν τα φρέσκα τρόφιμα (κυρίως αναπνοή), με στόχο την αλλαγή της αρχικής σύνθεσης του ατμοσφαιρικού αέρα μέσα στη συσκευασία (*Sandhya, 2010*).

Το συνιστώμενο ποσοστό οξυγόνου σε μια συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας για φρέσκα φρούτα και λαχανικά, τόσο από άποψη ασφάλειας όσο και ποιότητας, υπολογίζεται στο 1-5%. Το υπόλοιπο ποσοστό του αρχικού μίγματος αποτελείται από άζωτο. Η υψηλή συγκέντρωση O₂ παρεμποδίζει την ανάπτυξη των αναερόβιων μικροοργανισμών αλλά ταυτόχρονα προάγει τον πολλαπλασιασμό των αερόβιων μικροβίων, καθώς και ορισμένες μη επιθυμητές αντιδράσεις οξείδωσης και την απώλεια των βιταμινών. Από την άλλη πλευρά, χαμηλά επίπεδα O₂, σε σύγκριση με τον ατμοσφαιρικό αέρα, συμβάλλουν στην ευεργετική μείωση της αναπνευστικής δραστηριότητας των φρέσκων προϊόντων. Ύστερα, η εισαγωγή του N₂, το οποίο παρουσιάζει χαμηλή διαλυτότητα σε τρόφιμα, συμβάλλει στην παρεμπόδιση της μικροβιακής αλλοίωσης, διατηρεί την ατμοσφαιρική πίεση και αποτρέπει την κατάρρευση της συσκευασίας. Επιπλέον, η σταδιακή αύξηση των επιπέδων CO₂ οδηγεί σε ένα βακτηριοστατικό και μυκητοστατικό αποτέλεσμα (εξαιτίας εν μέρει των οξέων που παράγονται από το διαλυμένο CO₂ εντός του τροφίμου), ενώ ταυτόχρονα συνεισφέρει στη μείωση του ρυθμού αναπνοής των τροφίμων (*Cunha & Fonseca, 2016*). Τέλος, έχει αποδειχθεί πως το μειωμένο επίπεδο O₂ σε συνδυασμό με υψηλό επίπεδο CO₂ στο εσωτερικό της συσκευασίας ελέγχουν αποτελεσματικά την ενζυμική αμαύρωση, μειώνουν την παραγωγή αιθυλενίου, διατηρούν τη σκληρότητα της σάρκας και παρεμποδίζουν την κατάρρευση των φυτικών ιστών (*Tajeddin et al, 2018*).

3.3 Ενεργός συσκευασία

Τις τελευταίες δεκαετίες, μία από τις πιο καινοτόμες εξελίξεις στον τομέα της συσκευασίας τροφίμων, αποτελεί ή «ενεργός» συσκευασία, η οποία βασίζεται σε προμελετημένες αλληλεπιδράσεις μεταξύ του τροφίμου και του περιβάλλοντός του. Ο βασικότερος στόχος της ενεργού συσκευασίας είναι η επέκταση της διάρκειας ζωής του προϊόντος ή ακόμη και η βελτίωση της ποιότητάς του (*Contreras et al, 2017*). Η τεχνολογία αυτή περιλαμβάνει την προσθήκη αντιμικροβιακών, αντιοξειδωτικών, συντηρητικών και άλλων παραγόντων βελτίωσης ποιότητας σε υλικά συσκευασίας, τα οποία θα επιτρέπουν τη σταδιακή μετακίνηση ή/και διάχυση των ενεργών συστατικών προς το συσκευασμένο τρόφιμο, σε ποσότητες που να διασφαλίζουν την ασφάλεια του προϊόντος (*Diblan & Kaya, 2018*). Συνεπώς, σε αντίθεση με την κλασική συσκευασία, η «ενεργός» δεν αποτελεί απλά τον περιέκτη του τροφίμου, αλλά επιτελεί μια πρόσθετη λειτουργία επηρεάζοντας την ασφάλεια και την ποιότητα του προϊόντος.

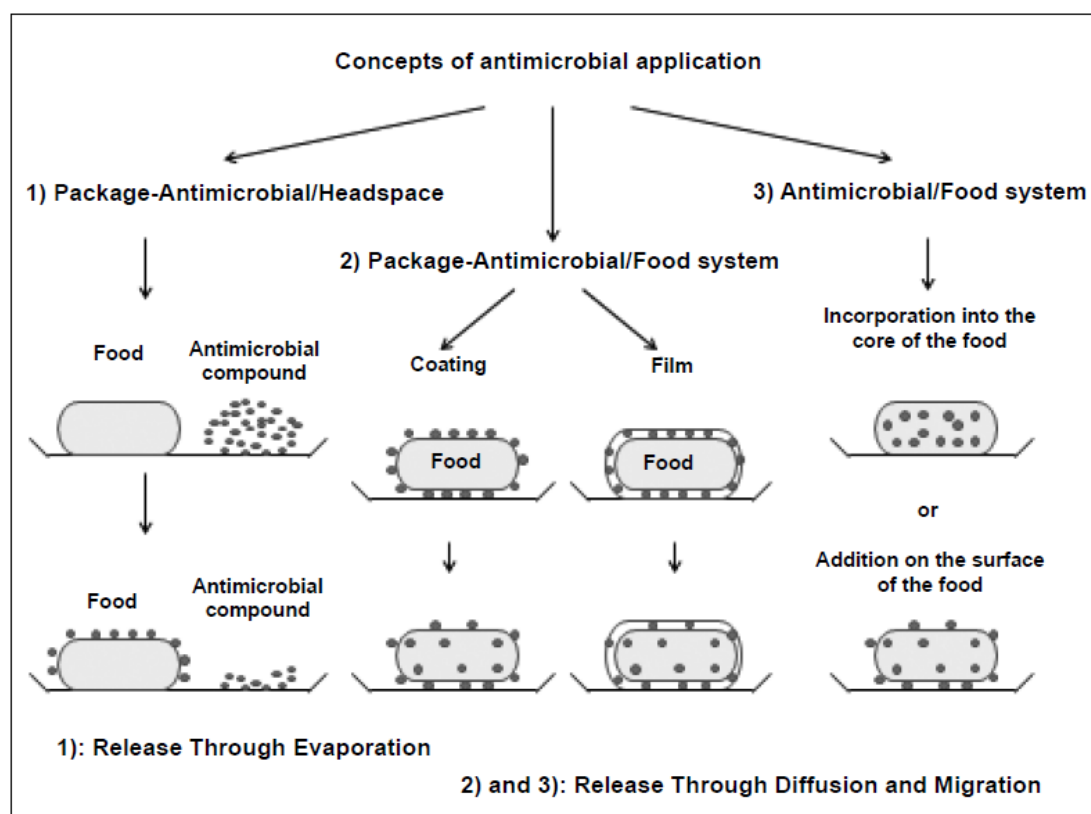
Η ενεργός συσκευασία μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο κύριες κατηγορίες, οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους ανάλογα με την εμφάνιση του φαινομένου της μετανάστευσης δραστικών ουσιών από τη συσκευασία προς το τρόφιμο. Τα πιο γνωστά παραδείγματα μη μεταναστευτικής ενεργού συσκευασίας αποτελούν οι απορροφητές υγρασίας, που βασίζονται κυρίως στην προσρόφηση των μορίων νερού από τον ζεόλιθο, την κυτταρίνη και τα παράγωγά τους (*Contreras et al, 2017*). Από την άλλη πλευρά χαρακτηριστικό παράδειγμα ενεργού συσκευασίας στην οποία εμφανίζεται το φαινόμενο της μετανάστευσης, αποτελεί η ενεργός αντιμικροβιακή συσκευασία, κατά την ανάπτυξη της οποίας οι αντιμικροβιακές ουσίες μπορούν είτε να προστεθούν απευθείας στην επιφάνεια του τροφίμου είτε να ενσωματωθούν σε εδώδιμα υλικά-φορείς, όπως είναι οι μεμβράνες και οι επικαλύψεις (*Kapetanakou et al, 2014*).

3.4 Ενεργός αντιμικροβιακή συσκευασία

Οι μικροβιακές επιμολύνσεις και η επακόλουθη ανάπτυξη των μικροοργανισμών αποτελεί έναν από τους κύριους παράγοντες που οδηγούν στην αλλοίωση των τροφίμων, επηρεάζοντας τόσο την ποιότητα όσο και την ασφάλειά τους. Μερικές από τις παραδοσιακές μεθόδους αναστολής της ανάπτυξης των μικροοργανισμών αποτελούν η θερμική επεξεργασία, η ακτινοβολία, η ελεγχόμενη

ατμόσφαιρα, η άμεση προσθήκη αντιμικροβιακών παραγόντων, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μια ποικιλία μειονεκτημάτων (Contreras et al, 2017). Ωστόσο, οι τεχνικές αυτές συντήρησης δεν μπορούν να εφαρμοστούν εξίσου σε όλα τα είδη των τροφίμων.

Μια συσκευασία τροφίμου αποτελείται συνήθως από το προϊόν, τον περιέκτη και τον ενδιάμεσο χώρο. Πιο συγκεκριμένα, σε αντιμικροβιακές συσκευασίες, τα ενεργά συστατικά μπορούν να ενσωματωθούν σε μη εδώδιμα μέρη της συσκευασίας, να προστεθούν απευθείας στο τρόφιμο ή να εισαχθούν στον ενδιάμεσο χώρο ανάμεσα στο προϊόν και τον περιέκτη. Επιπλέον, ένα είδος αντιμικροβιακής συσκευασίας το οποίο έχει αναπτυχθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια, κυρίως για την πρόληψη της αλλοίωσης των φρούτων και των λαχανικών, είναι οι εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις, που μπορούν να λειτουργήσουν ως φορείς των αντιμικροβιακών (Han, 2005). Στο Σχήμα 1 αναπαριστούνται οι πιθανές εφαρμογές ενεργού αντιμικροβιακής συσκευασίας, καθώς οι τρόποι δράσης τους.



Σχήμα 1: Αναπαράσταση πιθανών εφαρμογών αντιμικροβιακών συσκευασιών και οι τρόποι δράσης τους. Οι κουκίδες αντιπροσωπεύουν το αντιμικροβιακό συστατικό. (Πηγή: Kapetanakou et al, 2014)

Τα δυνητικά αντιμικροβιακά τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην παραπάνω τεχνολογία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε φυσικά και χημικά συστατικά. Για την επιλογή του κατάλληλου ενεργού συστατικού χρειάζεται να ληφθεί υπόψη η ευαισθησία του μικροοργανισμού στόχου, καθώς και κάθε πιθανή αλληλεπίδραση της αντιμικροβιακής ένωσης με τα πολυμερή ή τα βιοπολυμερή και τα υπάρχοντα συστατικά του τροφίμου (*Campos et al, 2011*). Τα αντιμικροβιακά που χρησιμοποιούνται συνήθως σε ενεργές συσκευασίες τροφίμων είναι ουσίες όπως τα οργανικά οξέα, τα αιθέρια έλαια, οι βακτηριοσίνες (π.χ. νισίνη), το σύστημα λακτοπεροξειδάσης, τα μπαχαρικά κ.α. (*Kapetanakou et al, 2014; Diblan & Kaya, 2017*).

4. Εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις

4.1 Γενικά

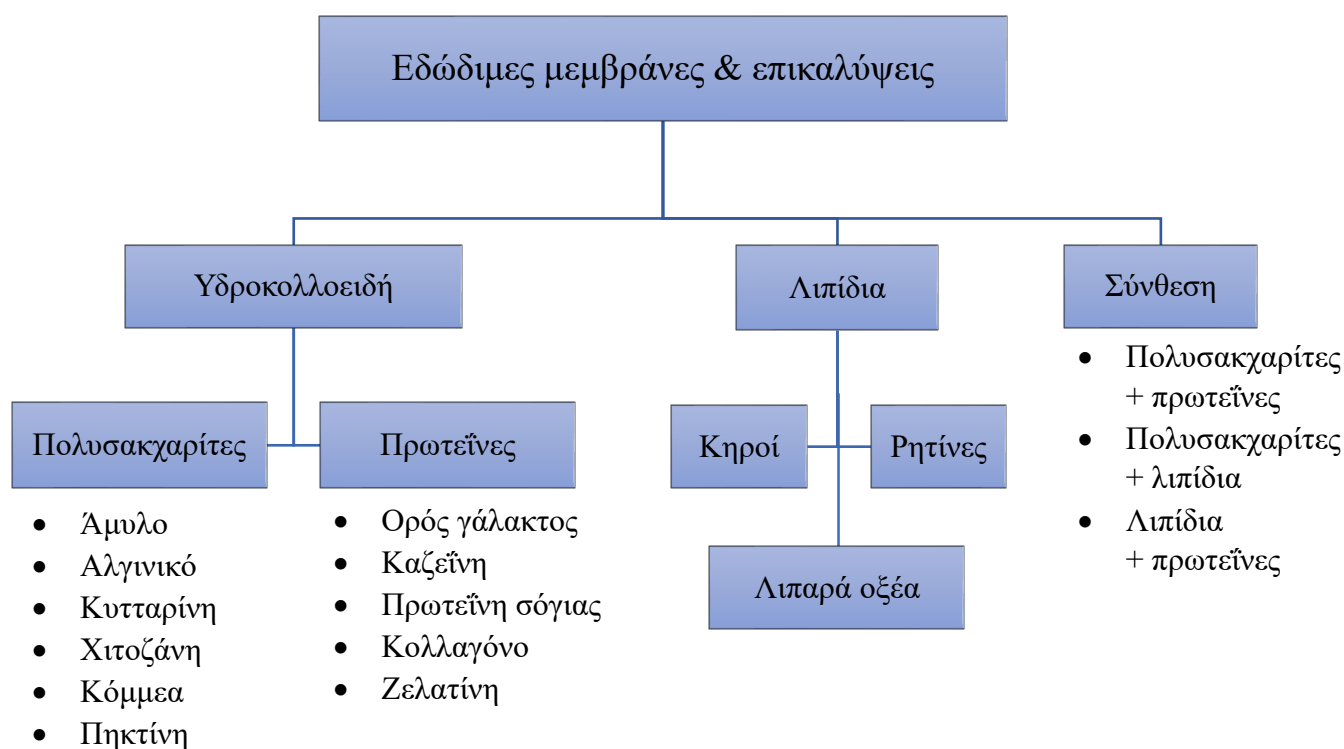
Ως εδώδιμη μεμβράνη και επικάλυψη ορίζεται ένα πολύ λεπτό στρώμα γύρω από το τρόφιμο, το οποίο αποτελείται από εδώδιμα συστατικά και χρησιμοποιείται για την αρχική συσκευασία του τροφίμου, με στόχο να επεκτείνει το χρόνο ζωής του προϊόντος στο ράφι (*Hassan et al, 2018; Dehghani et al, 2018*). Τα τελευταία χρόνια οι εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών, χάρις την ικανότητά τους να δημιουργούν έναν φυσικό ημιπερατό φραγμό στο νερό, το οξυγόνο, το διοξείδιο του άνθρακα, καθώς και στη μετακίνηση διαλυτών συστατικών, ανάμεσα στο τρόφιμο και το περιβάλλον του (*Olivas & Barbosa-Cánovas, 2005; Arnon-Rips & Poverenova, 2018*). Ένας από τους κύριους λόγους για την εφαρμογή των εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων είναι τα πλεονεκτήματα που αυτές παρουσιάζουν σε σχέση με τα συμβατικά υλικά συσκευασίας, καθώς μπορούν να καταναλωθούν μαζί με το τρόφιμο, είναι βιοδιασπώμενες και φιλικές προς το περιβάλλον, έχουν χαμηλό κόστος παρασκευής και ταυτόχρονα συμβάλλουν στη διατήρηση της ποιότητας και της ασφάλειας του τροφίμου (*Kapetanakou et al, 2014*). Επιπλέον, οι επικαλύψεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως φορείς πρόσθετων συστατικών, όπως γλυκαντικών, χρωστικών, αρωματικών υλών, καθώς και αντιοξειδωτικών και αντιμικροβιακών ουσιών που καθυστερούν την οξείδωση και/ή την μικροβιακή αλλοίωση του τροφίμου.

Η κύρια διαφοροποίηση ανάμεσα στις μεμβράνες και τις επικαλύψεις έγκειται στο γεγονός ότι οι μεμβράνες αποτελούν ένα αφυδατωμένο και λεπτό στρώμα-φύλλο βιοπολυμερούς που προστίθεται ξεχωριστά στην επιφάνεια του τροφίμου, ενώ οι επικαλύψεις είναι αρχικά σε υγρή μορφή και στη συνέχεια σχηματίζουν μεμβράνες απευθείας πάνω στην επιφάνεια του προϊόντος (*Cordeiro de Azeredo, 2012*). Ωστόσο, και οι δύο χαρακτηρίζονται από ένα εκτεταμένο δίκτυο πολυμερούς που διαθέτει μια τρισδιάστατη δομή τύπου πηκτής (*Kapetanakou et al, 2014*). Οι εδώδιμες επικαλύψεις μπορούν να εφαρμοστούν στα τρόφιμα με τη μέθοδο του ψεκασμού, της εμβάπτισης αλλά και του ηλεκτροψεκασμού, που οδηγεί στο σχηματισμό λεπτής και ομοιόμορφης επικάλυψης (*Khan et al, 2013*). Από την άλλη πλευρά οι εδώδιμες μεμβράνες χρησιμοποιούνται ως ένα είδος περιτυλίγματος γύρω από το προϊόν, το οποίο μπορεί να αφαιρεθεί εύκολα από το τρόφιμο, δίνοντας έτσι την επιλογή στον καταναλωτή να μην την καταναλώσει (*Hassan et al, 2018*).

Η αυξανόμενη απαίτηση των καταναλωτών για τρόφιμα με λιγότερα ή και χωρίς συντηρητικά, έχει ωθήσει πολλές βιομηχανίες στην ανάπτυξη εναλλακτικών μεθόδων συντήρησης των τροφίμων, μεταξύ των οποίων είναι και τα βιοπολυμερή που προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές καθώς και βιομηχανικά παραπροϊόντα (*Hassan et al, 2018; Arnon-Rips & Poverenova, 2018*). Οι Ευρωπαϊκοί κανονισμοί και η νομοθεσία των Η.Π.Α. εντάσσουν τις εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις στα τρόφιμα, συστατικά των τροφίμων, πρόσθετα τροφίμων, ουσίες που έρχονται σε επαφή με τα τρόφιμα ή υλικά συσκευασίας των τροφίμων (*EU Reg. No 1935/2004, FDA 2006, EU Reg. No 450/2009*). Ωστόσο, από τη στιγμή που αυτές αποτελούν κομμάτι του τελικού προϊόντος, θα πρέπει να πληρούν όλα τα κριτήρια που ισχύουν για τα συστατικά των τροφίμων. Μια, ακόμη, παράμετρος που θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψη από τη βιομηχανία είναι η επιλογή κατάλληλης ετικέτας, καθώς πολλά από τα βιοπολυμερή που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή των πηκτών χαρακτηρίζονται ως αλλεργιογόνα (π.χ. πρωτεΐνες γάλακτος ή φιστικιών) (*Rojas-Graü et al, 2009*). Τέλος, όλα τα βιοπολυμερή καθώς και οποιοδήποτε λειτουργικό συστατικό που προστίθεται στις εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις θα πρέπει να περιέχουν εδώδιμες μη τοξικές ουσίες, ενώ οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας να πληρούν υψηλά πρότυπα υγιεινής (*Kapetanakou et al, 2014*).

4.2 Είδη εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων

Οι εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε υδροκολλοειδή, λιπίδια καθώς και στη σύνθεση των προαναφερθέντων κατηγοριών. Τα υδροκολλοειδή χωρίζονται σε πολυσακχαρίτες και πρωτεΐνες. Τα λιπίδια, από την άλλη, περιλαμβάνουν κηρούς, έλαια και ρητίνες, ενώ η σύνθεση περιέχει συστατικά και από τα υδροκολλοειδή και τα λιπίδια (*Kapetanakou et al, 2014*). Τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των πολυμερών αυτών επηρεάζουν σημαντικά τις ιδιότητες των επικαλύψεων που προκύπτουν, καθώς και τις εφαρμογές που μπορεί αυτές να έχουν σε διάφορα είδη τροφίμων (*Zhao et al, 2018*).



Διάγραμμα 2. Κατηγοριοποίηση εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων.

(Πηγή: *Kapetanakou et al, 2014*)

Το εκάστοτε βιοπολυμερές έχει συγκεκριμένη διαδικασία παρασκευής, ωστόσο σε κάθε περίπτωση οι πολυσακχαρίτες και οι πρωτεΐνες απαιτούν την παρουσία πλαστικοποιητών, ενώ τα λιπίδια την παρουσία γαλακτωματοποιητών. Οι πλαστικοποιητές είναι ουσίες χαμηλού μοριακού βάρους που ενσωματώνονται σε

διαλύματα βιοπολυμερών, με στόχο τη μείωση των ενδομοριακών δυνάμεων μεταξύ των αλυσίδων του πολυμερούς. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι πλαστικοποιητές είναι η γλυκερόλη, η σακχαρόζη και η σορβιτόλη. Οι γαλακτωματοποιητές, από την άλλη, είναι επιφανειοδραστικοί παράγοντες με αμφίφιλη φύση που αλληλεπιδρούν στη διασύνδεση νερού-λίπους μειώνοντας την επιφανειακή τάση του νερού - λίπους ή τις διασυνδέσεις νερού - αέρα, βελτιώνοντας έτσι τη σταθερότητα του γαλακτώματος. Οι πιο κοινοί γαλακτωματοποιητές είναι τα λιπαρά οξέα, η αιθυλενογλυκόλη η μονοστεατική γλυκερόλη και οι εστέρες λιπαρών οξέων (*Han & Aristippos, 2005; Kapetanakou et al, 2014 2014*).

Στα φρέσκα φρούτα και λαχανικά οι επικαλύψεις που προκύπτουν από πολυσακχαρίτες αποτελούν αποτελεσματικό φραγμό στο οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα ($RH < 70\%$), ενώ ταυτόχρονα συμβάλλουν στη ρύθμιση της μετανάστευσης του αιθυλενίου και άλλων πτητικών ουσιών από το τρόφιμο προς το περιβάλλον. Ωστόσο, οι επικαλύψεις αυτές παρουσιάζουν χαμηλή αντίσταση στα μόρια του νερού και υψηλή διαπερατότητα στην υγρασία, λόγω της υδρόφιλης φύσης τους. Οι πρωτεΐνες, από την άλλη, δημιουργούν και αυτές αποτελεσματικό φραγμό στη μετακίνηση του οξυγόνου σε συνθήκες χαμηλού pH, έχουν καλές μηχανικές ιδιότητες, αλλά είναι πιο διαπερατές στους υδρατμούς σε σχέση με τους πολυσακχαρίτες. Τέλος, οι επικαλύψεις λιπιδίων ενώ βελτιώνουν τη συνολική εμφάνιση του προϊόντος και παρεμποδίζουν σημαντικά την μετακίνηση των υδρατμών, ενδέχεται να παρουσιάζουν ρωγμές, έλλειψη ομοιογένειας και κακή προσκόλληση πάνω στην επιφάνεια του τροφίμου. Στη βιβλιογραφία, συχνά, χρησιμοποιούνται συνδυασμοί λιπιδίων με πολυσακχαρίτες ή πρωτεΐνες με στόχο την παρασκευή επικαλύψεων με καλές μηχανικές ιδιότητες και ελεγχόμενο φραγμό στη μετακίνηση διαφόρων ουσιών (*Zhao et al, 2018; Olivas & Barbosa-Cánovas, 2005; Kapetanakou et al, 2014*).

4.3 Αλγινικά

Το αλγινικό είναι μια γραμμική πολυουρονάνη που απομονώνεται από τα κυτταρικά τοιχώματα των φαιοφυκών της τάξης *Phaeophyceae*. Ο πολυσακχαρίτης αυτός αποτελεί ένα άλας του αλγινικού οξέος και έχει την ικανότητα να αντιδρά σιγμιαία και μη αντιστρεπτά με κατιόντα πολυσθενούς μετάλλου, παράγοντας

αδιάλυτα στο νερό πολυμερή τα οποία είναι μη διαπερατά στα έλαια και στα λίπη, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζουν υψηλή διαπερατότητα στους υδρατμούς (*Brownlee et al, 2009; Kapetanakou et al, 2014*).

Τα αλγινικά χρησιμοποιούνται σε μια μεγάλη κλίμακα βιομηχανικών διεργασιών, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζουν και πολλές ιατρικές εφαρμογές, όπως η μικροενθυλάκωση κυττάρων, η χρήση τους ως φορείς μεταφοράς δραστικών φαρμακευτικών ουσιών, η κατασκευή οδοντικών αποτυπωμάτων κ.α. Ωστόσο, το μεγαλύτερο ποσοστό των εσόδων από τις εν λόγω εφαρμογές, προκύπτει παγκοσμίως από τη χρήση φυκιών και προϊόντων αυτών από τη βιομηχανία τροφίμων. Παρόλο που στην Ανατολική Ασία καταναλώνονται μεγάλες ποσότητες φυκιών, στον δυτικό πολιτισμό τα φυκοκολλοειδή χρησιμοποιούνται κυρίως ως πρόσθετα τροφίμων, τα οποία θεωρούνται ασφαλή και εγκεκριμένα για χρήση σε ολόκληρη των Ευρωπαϊκή Ένωση (*Brownlee et al, 2009*). Το αλγινικό οξύ συμβολίζεται με το E400, ενώ τα άλατα νατρίου, καλίου, αμμωνίου και ασβεστίου με E401 – E404, αντίστοιχα (*Food Standard Agency, 2002*).

Επιπλέον, τα αλγινικά λαμβάνουν μέρος σε ένα μεγάλο αριθμό εφαρμογών στη βιομηχανία τροφίμων, μεταξύ άλλων ως παράγοντες πηκτωματοποίησης, σταθεροποίησης και γαλακτωματοποίησης. Για παράδειγμα στις μαρμελάδες και στις σάλτσες φρούτων τα αλγινικά χρησιμοποιούνται ως πυκνωτικά μέσα αυξάνοντας το ιξώδες και βελτιώνοντας την υφή των τροφίμων (*Brownlee et al, 2009*). Επιπρόσθετα, σε συνδυασμό με άλλα υδροκολλοειδή συμβάλλουν στη διόγκωση και τη σταθεροποίηση του παγωτού, αυξάνοντας τις θερμικές αντιστάσεις, μειώνοντας τη συρρίκνωση και το σχηματισμό κρυστάλλων πάγου και προσδίδοντας τα επιθυμητά χαρακτηριστικά τήξης στο προϊόν (*Regand & Goff, 2003*). Ακόμη, μία από τις πιο πρόσφατες εξελίξεις στη χρήση των αλγινικών αλάτων αποτελεί η ενθυλάκωση ζωντανών κυττάρων (προβιοτικών), με στόχο τη μεταφορά τους μέσω των τροφίμων στο παχύ έντερο του ανθρώπου. Μελέτες έχουν δείξει πως τα αλγινικά μπορούν να συμβάλλουν στην αύξηση του χρόνου επιβίωσης των βακτηριακών κυττάρων (προβιοτικών) κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και αποθήκευσης των τροφίμων, καθώς και να τα προστατέψουν από το αφιλόξενο περιβάλλον του στομάχου και του λεπτού εντέρου (*Kailasapathy, 2002*). Η μικροενθυλάκωση έχει πολλές περαιτέρω

εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων, συμπεριλαμβανομένης της ενθυλάκωσης δραστικών ή πτητικών ουσιών, όπως οξέων, λιπών και γεύσεων.

Τέλος, η ικανότητα των αλγινικών να σχηματίζουν εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις για μια μεγάλη γκάμα τροφίμων, τους προσδίδει ένα υψηλό τεχνολογικό ενδιαφέρον, λόγω της σύγχρονης πρόκλησης για αντικατάσταση των μη βιοδιασπώμενων και μη ανακυκλώσιμων συσκευασιών για τα τρόφιμα. Οι νέες αυτές τεχνολογικές εφαρμογές ενισχύουν τη σταθερότητα, την ασφάλεια και τη διάρκεια ζωής των προϊόντων, σε αντίθεση με τις συμβατικές συσκευασίες (*Wang et al., 2007*). Οι επικαλύψεις του αλγινικού νατρίου, για παράδειγμα, παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στον εφελκυσμό, ευκαμψία και είναι αδιαπέραστες στα έλαια. Ωστόσο, λόγω της φύσης του πορώδους των αλγινικών πηκτών, οι επικαλύψεις τους εμφανίζουν υψηλή διαπερατότητα στο οξυγόνο και το νερό. Επιπλέον, η ενσωμάτωση αντιμικροβιακών παραγόντων στην αλγινική γέλη, έχει φανεί ότι μπορεί να αποτελέσει έναν αποτελεσματικό φραγμό στην αλλοίωση των μικροβιακών επιφανειών των λαχανικών, των φρούτων, του κρέατος και των ιχθυρών (*Brownlee et al, 2009*). Κλείνοντας, η ικανότητα των αλγινικών να σχηματίζουν επικαλύψεις σε θερμοκρασία δωματίου μειώνει τον κίνδυνο πρόκλησης ζημιάς στην επιφάνεια των νωπών φρούτων και λαχανικών, όπως το μαρούλι (*Tay & Perera, 2004*), καθώς και τα φρεσκοκομμένα τμήματα μήλων και πεπονιών (*Oms-Oliu et al., 2008; Rojas-Grau et al., 2008*), όπου οι αλγινικές επικαλύψεις συνέβαλαν στη μείωση της αμαύρωσης και της απώλειας βιταμίνης C, στη διατήρηση της τραγανής υφής και στην αύξηση της ζωής του προϊόντος.

4.4 Πηκτίνη

Η πηκτίνη είναι ένας φυσικός υδατοδιαλυτός ετεροπολυσακχαρίτης που εξάγεται από τα κυτταρικά τοιχώματα και τις ενδοκυττάριας περιοχές των φυτών ή των καρπών τους (π.χ. φλούδες εσπεριδοειδών) και κυρίως απομονώνεται από τα παραπροϊόντα της αγροδιατροφής (*Zeinab et al., 2019*). Με βάση τον βαθμό μεθυλίωση των ελεύθερων καρβοξυλομάδων, η πηκτίνη μπορεί να χαρακτηριστεί ως υψηλής μεθυλίωσης (εστεροποίηση >50%) ή χαμηλής μεθυλίωσης (εστεροποίηση <50%). Οι πηκτωματικές ιδιότητες των πηκτινών διέπονται έντονα από την

περιεκτικότητα των εστεροποιημένων καρβοξυλομάδων. Έτσι, οι πηκτίνες χαμηλής μεθυλίωσης δημιουργούν δίκτυα δεσμών και ενδομοριακές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των υδατανθρακικών αλυσίδων παρουσία δισθενών ιόντων, όπως το Ca^{2+} (*Pérez Espitia et al., 2013*), σχηματίζοντας αδιάλυτα στο νερό πολυμερή, αντίστοιχα με τα αλγινικά.

Οι πηκτίνες έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε φαρμακευτικές εφαρμογές και συνθέσεις, καθώς και στη βιομηχανία τροφίμων και ποτών, λόγω της μη τοξικής τους φύσης, της ικανότητας σχηματισμού πηκτών και του χαμηλού κόστους παραγωγής. Οι μεμβράνες του πολυσακχαρίτη αυτού μπορούν να λάβουν μέρος σε πιθανές εμπορικές εφαρμογές, όπως ο σχηματισμός υδατοδιαλυτών περιβλημάτων για απορρυπαντικά και εντομοκτόνα, καθώς και για διάφορες φαρμακευτικές ουσίες (*Dhall, 2013*). Όσον αφορά, τη βιομηχανία τροφίμων οι πηκτίνες (ευρωπαϊκός κωδικός E440) χρησιμοποιούνται κατά κόρον ως παράγοντες πηκτωματοποίησης σε προϊόντα όπως οι μαρμελάδες, οι ζελέδες και οι χυμοί φρούτων, ενώ παράλληλα παίζουν σπουδαίο ρόλο στη σταθεροποίηση των οξινισμένων ποτών γάλακτος και των γιαουρτιών (*Willats et al., 2006*). Τέλος, η ικανότητα των πηκτινών να σχηματίζουν εδώδιμες επικαλύψεις και να λειτουργούν ως φορείς δραστικών ουσιών φαίνεται πως συμβάλει στη διατήρηση φυσικοχημικών, μικροβιολογικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών σε κομμάτια μαγειρεμένου χοιρινού κρέατος (*Kang et al., 2007*), ενώ παράλληλα αυξάνει το χρόνο ζωής, διατηρεί το χρώμα και μειώνει τον ρυθμό αμαύρωσης και μικροβιακής ανάπτυξης σε φρεσκοκομμένα φρούτα όπως τα μήλα, τα πεπόνια, οι λωτοί κ.α. (*McHugh & Senesi, 2000; Oms-Oliu et al., 2008; Sanchis et al., 2016*)

4.5 Εδώδιμες επικαλύψεις διπλής στιβάδας

Οι επικαλύψεις διπλής στιβάδας είναι ένας συνδυασμός αλληπάλληλων επιστρώσεων που αποτελούνται κυρίως από υδροκολλοειδή (πολυσακχαρίτες ή πρωτεΐνες) και επιτρέπουν τη ρύθμιση των ιδιοτήτων των υλικών, δίνοντας τη δυνατότητα σχηματισμού προηγμένων εδώδιμων επικαλύψεων (*Arnon-Rips & Poverenov, 2018*). Με άλλα λόγια, επικαλύψεις που παρασκευάζονται από ένα μόνο δομικό υλικό, μπορεί να παρουσιάζουν καλή συμπεριφορά ως προς μια ιδιότητα, αλλά ταυτόχρονα να αποτυγχάνουν να προσφέρουν πολλές ιδιότητες/φραγμούς μαζί.

Συνεπώς, οι εδώδιμες επικαλύψεις διπλής στιβάδας διαμορφώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να συνδυαστούν τα πλεονεκτήματα του κάθε δομικού υλικού, μειώνοντας ταυτόχρονα τους περιορισμούς που μπορεί να παρουσιάζει το εκάστοτε υλικό ξεχωριστά (*Dhall, 2013*). Σύμφωνα με τους *Krzemiski et al.* (2006) και *Marudova et al.* (2005) η πολύ-L-λυσίνη, το αλγινικό, η πηκτίνη και η χιτοζάνη είναι από τα πιο κοινά πολυμερή που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σχηματισμό δομών που αποτελούνται από πολύ-στιβάδες.

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα, ωστόσο, της τεχνολογίας αυτής είναι ότι η μέθοδος παρασκευής της διπλοστιβάδας περιλαμβάνει τέσσερα στάδια (2 στάδια εμφαπτίσεων και 2 ξηράνσεων), γεγονός που την καθιστά λιγότερο δημοφιλή στον τομέα της βιομηχανίας τροφίμων. Εν τούτοις, όπως υποστηρίζουν οι *Vargas et al.* (2008) η τεχνική σχηματισμού των επικαλύσεων διπλής στιβάδας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολύ υδρόφιλα συστήματα τροφίμων, όπως είναι τα φρεσκοκομμένα φρούτα και λαχανικά. Αρκετοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με την εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής σε νωπές φέτες φρούτων, όπως είναι το μήλο, το αχλάδι, το πεπόνι, η παπάγια, το μάνγκο, κ.α., καθώς φαίνεται πως η επίδραση της διπλοστιβάδας μπορεί να συμβάλλει στην αύξηση ζωής του προϊόντος, να ενισχύσει την ποιότητα, να βελτιώσει την εμφάνιση και να παρέχει αντιμικροβιακή προστασία στα έτοιμα προς κατανάλωση φρούτα και λαχανικά (*Arnon-Rips & Poverenov, 2018*). Επιπρόσθετα, η παραπάνω μέθοδος μπορεί να συνδυαστεί και με άλλες προσεγγίσεις, όπως για παράδειγμα η μεταφορά δραστικών ουσιών προς το τρόφιμο. Ωστόσο, στον τομέα της τεχνολογίας τροφίμων που αφορά τις εδώδιμες επικαλύψεις, η χρήση των διπλοστιβάδων έχει ξεκινήσει σχετικά πρόσφατα και χρειάζεται περαιτέρω έρευνα που θα οδηγήσει στο σχεδιασμό και την παραγωγή βρώσιμων επικαλύσεων με προσαρμοσμένες ιδιότητες, κατάλληλες για το εκάστοτε τρόφιμο, οι οποίες θα μπορούν να ενισχύσουν αποτελεσματικά την ποιότητα και τη διάρκεια αποθήκευσης του προϊόντος.

4.6 Αντιμικροβιακές εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις

Τα αντιμικροβιακά συστατικά που χρησιμοποιούνται για το σχηματισμό εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύσεων θα πρέπει να ανήκουν στα πρόσθετα τροφίμων

ή στις ενώσεις που αναγνωρίζονται γενικά ως ασφαλείς (GRAS) για κατανάλωση, από τους αντίστοιχους νομοθετικούς κανονισμούς. Για παράδειγμα τα φυτά, τα βότανα, τα μπαχαρικά, τα αιθέρια έλαιά τους, καθώς και ουσίες που απομονώνονται από διάφορα φυτικά εκχυλίσματα, περιέχουν ένα μεγάλο ποσοστό συστατικών, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να αναστείλουν τη μεταβολική δραστηριότητα των βακτηρίων, των ζυμών και των μυκήτων και ταυτόχρονα δεν βλάπτουν την υγεία του καταναλωτή (*Valencia-Chamorro et al, 2011*).

Πίνακας 4: Αντιμικροβιακά συστατικά που χρησιμοποιούνται στις edώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις (Πηγή: *Valencia-Chamorro et al, 2011*)

Συντηρητικά τροφίμων

<i>Χημικά συστατικά</i>	<i>E-Code</i>	<i>Φυσικά συστατικά</i>	<i>E-Code RegNum</i>
Οργανικά οξέα		Πολυπεπίδια	
Οξικό	E-260	Λυσοζύμη	E-1105
Βενζοϊκό	E-210	Περοξιδάση	-
Κιτρικό	E-330	Λακτοπεροξιδάση	-
Γαλακτικό	E-270	Λακτοφερρίνη	-
Μαλικό	E-296	Νισίνη	E-234
Προπιονικό	E-280	Ναταμυκίνη	E-235
Σορβικό	E-200		
Τρυφικό	E-334		
Αλατα οργανικών οξέων		Φυτικά εκχυλίσματα, αιθέρια έλαια, μπαχαρικά	
Οξικό νάτριο	E-262(I)	Κανέλα	182.1
Διοξικό νάτριο	E-262(II)	Κοκκινοπίπερο	182.1
Βενζοϊκό νάτριο	E-211	Λεμονόχορτο	182.2
Κιτρικό νάτριο	E-331(I)	Ρίγανη	182.1
Προπιονικό νάτριο	E-281	Δενδρολίβανο	182.2
Προπιονικό ασβέστιο	E-282	Σκόρδο	184.1317
Σορβικό κάλιο	E-202	Βανίλια	182.1
Μυρμηγκικό νάτριο	E-237	Καρβακρόλη	172.515
Μυρμηγκικό ασβέστιο	E-238	Κιτράλη	182.6
L-γαλακτικό νάτριο	E-325	Κιναμαλδεϋδη	182.6
L-τρυγικό νάτριο	E-335(I)	Βανιλίνη	182.6
		Εχύλισμα σπόρων σταφυλιού	-
Parabens			
Methyl paraben	E-218		

Ethyl paraben	E-214
Propyl paraben	E-216
Sodium salt of methyl paraben	E-219
Sodium salt of ethyl paraben	E-215
Sodium salt of propyl paraben	E-217
Μεταλλικά άλατα	
Διττανθρακικό νάτριο	E-500(I)
Διττανθρακικό αμμώνιο	E-237
Ανθρακικό νάτριο	E-500(II)
Άλλα	
EDTA-CaNa ₂	E-385

Η επιλογή του κατάλληλου αντιμικροβιακού σε συνδυασμό με τις μηχανικές ιδιότητες της εδώδιμης επικάλυψης είναι παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά τη λειτουργικότητα του ενεργού βιοπολυμερούς. Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις των αρχικών πρώτων υλών (βιοπολυμερές και αντιμικροβιακό), καθώς και τα εγγενή χαρακτηριστικά του προϊόντος, που θα επικαλυφθεί, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται μελέτες στις οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις με ενσωματωμένα αντιμικροβιακά συστατικά για την αξιολόγηση της αντιμικροβιακής τους δράσης σε προϊόντα τροφίμων. Ωστόσο, τα αποτελέσματα διαφόρων ερευνών είναι δύσκολο να συγκριθούν, κυρίως λόγω των διαφορετικών πειραματικών συνθηκών και παραμέτρων, όπως η σύνθεση της μεμβράνης-επικάλυψης, ο αντιμικροβιακός παράγοντας και η συγκέντρωσή του, το στέλεχος, η συγκέντρωση του μελετώμενου μικροοργανισμού, καθώς και η αναλυτική μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της αντιμικροβιακής δράσης.

Πίνακας 5: Εφαρμογές εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων με ενσωματωμένες αντιμικροβιακές ουσίες σε διάφορα συστήματα τροφίμων.

Βιοπολυμερές	Αντιμικροβιακό	Προϊόν	Μικροοργανισμοί	Αποτέλεσμα	Αναφορές
Επικαλύψεις: <i>Αμύλου (15% w/v)</i> <i>Χιτοζάνης (2% w/v)</i> <i>Αλγινικού (1% w/v)</i> <i>Πηκτίνης (1% w/v)</i>	Γαλακτικό νάτριο (2% w/v) Διοξικό νάτριο (0.25% w/v)	Ψητή γαλοπούλα	<i>L. monocytogenes</i>	Οι πληθυσμοί του μ.ο. υπολογίστηκαν 2.1-4 log/cm ² χαμηλότεροι από τους μάρτυρες	Jiang et al. (2011a)
Επικαλύψεις & μεμβράνες: <i>Χιτοζάνης (2% w/v)</i>	Γαλακτικό νάτριο Διοξικό νάτριο Σορβικό κάλιο	Σολωμός ψυχρού καπνίσματος	<i>L. monocytogenes</i>	Οι πληθυσμοί του μ.ο. ήταν ≥ 1.3 log/cm ² στις αντιμικροβιακές μεμβράνες χιτοζάνης και ≥ 2.8 log/cm ² στις αντιμικροβιακές επικαλύψεις χιτοζάνης.	Jiang et al. (2011b)
Επικαλύψεις: <i>Αλγινικού νατρίου (2% w/v)</i>	Αιθέριο έλαιο ρίγανης	Φέτες τυριού χαμηλών λιπαρών	<i>S. aureus</i>	Επικαλύψεις με τουλάχιστον 2% w/v σε αιθέριο έλαιο μείωσαν τον πληθυσμό του μ.ο. από 6.0 σε 4.6 log CFU/g μετά 15 από ημέρες.	Artiga-Artigas et al., (2017)
Επικαλύψεις: <i>Χιτοζάνης (0.01 & 0.02 g/mL)</i>	Χιτοζάνη	Φρεσκοκομμένη παπάγια	OMX Ζύμες & Μύκητες	Οι αντιμικροβιακές επικαλύψεις περιορίσαν την ανάπτυξη της OMX καθώς και των ζυμών και μυκήτων σε σύγκριση με τους μάρτυρες μετά από 14 ημέρες συντήρησης στους 5° C.	González-Aguilar et al. (2009)
Μίγμα: <i>Χιτοζάνης / μεθυλοκυτταρίνης</i>	Βανιλίνη	Φρεσκοκομμένος ανανάς & πεπόνι	<i>E. coli</i> <i>S. cerevisiae</i>	Οι επικαλύψεις με βανιλίνη μείωσαν τους πληθυσμούς των μ.ο. κατά 4 logs CFU/g σε σχέση με τους μάρτυρες.	Sangsuwan et al. (2008)
Επικάλυψη: <i>Αλγινικού νατρίου (1% w/v)</i>	Βανιλίνη (1% w/v) Trans-κινναμικό οξύ (0.015% w/v)	Φρεσκοκομμένα ροδάκινα	<i>E. coli</i> <i>L. monocytogenes</i> <i>Salmonella spp.</i>	Κανένας από τους παθογενείς μ.ο. δεν ανιχνεύτηκε σε κανένα δείγμα κατά τη διάρκεια ζωής του προϊόντος.	Falagán et al. (2018)
Μεμβράνη: <i>Πηκτίνης (3% w/v)</i>	Αιθέριο έλαιο φύλλων κανέλλας	Φρεσκοκομμένα ροδάκινα	<i>E. coli</i> <i>L. monocytogenes</i> <i>S. aureus</i>	Μεμβράνες με υψηλότερη συγκέντρωση αντιμικροβιακού παρουσίαζαν μικρότερη μικροβιακή ανάπτυξη.	Ayala-Zavala et al. (2012)

4.7 Μειονεκτήματα χρήσης των εδώδιμων επικαλύψεων

Παρόλο που αρκετές εδώδιμες επικαλύψεις έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία σε διάφορα τρόφιμα, μεταξύ των οποίων είναι και τα φρεσκοκομμένα φρούτα και λαχανικά, υπάρχουν και περιπτώσεις όπου φαίνεται ότι μπορεί να επηρεάζουν αρνητικά τα χαρακτηριστικά ποιότητας του προϊόντος. Ένα, από τα μεγαλύτερα μειονεκτήματα της χρήσης των εδώδιμων επικαλύψεων σε ελαφρώς επεξεργασμένα φρούτα και λαχανικά είναι η τροποποίηση της εσωτερικής ατμόσφαιρας που οδηγεί σε διαταραχές που σχετίζονται με υψηλή συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα και χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται σε περιπτώσεις σχηματισμού επικαλύψεων μεγάλου πάχους, οι οποίες αποτελούν ανεπιθύμητο φραγμό στην ανταλλαγή των αερίων της αναπνοής, γεγονός που οδηγεί σε αναερόβια αναπνοή, κατά την οποία παράγεται μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα, ακεταλδεΰδη και αιθανόλη. Οι ουσίες αυτές (ακεταλδεΰδη και αιθανόλη) παράγονται κατά τη διαδικασία της ζύμωσης και προσδίδουν αντιληπτή και δυσάρεστη γεύση στο τρόφιμο, επηρεάζοντας αρνητικά την ποιότητά του (*Dhall, 2013*).

Επιπλέον, πολλοί ερευνητές έχουν επισημάνει πως επειδή οι εδώδιμες επικαλύψεις συνήθως καταναλώνονται μαζί με το τρόφιμο, η χρήση τους ως φορείς δραστικών ουσιών ενδέχεται να επηρεάζει την αποδοχή τους από το καταναλωτικό κοινό. Για παράδειγμα, η ενσωμάτωση αντιμικροβιακών ουσιών μπορεί να επιφέρει μη επιθυμητές οργανοληπτικές αλλαγές στα χαρακτηριστικά του τροφίμου (κυρίως όταν χρησιμοποιούνται αιθέρια έλαια), ενώ η χρήση παραγόντων κατά της αμαύρωσης να οδηγήσει στην παραγωγή δυσάρεστων οσμών (*Burt, 2004; Rojas-Grau et al., 2006*). Ύστερα, πολλές εδώδιμες επικαλύψεις παράγονται από συστατικά τα οποία ενδέχεται να προκαλέσουν αλλεργικές αντιδράσεις και για αυτό θα πρέπει τα γνωστά αλλεργιογόνα να επισημαίνονται ξεκάθαρα στην ετικέτα του προϊόντος. Τέλος, το υψηλό κόστος των πρώτων υλών, καθώς και η έλλειψη βασικών πληροφοριών που αφορούν τη σύνθεση των επικαλύψεων, τις ιδιότητες, την αποτελεσματικότητά τους και τις μεθόδους εφαρμογής στην επιφάνεια των οπωροκηπευτικών περιορίζουν την τεχνολογία αυτή σε ερευνητικό, προς το παρόν, επίπεδο (*Dhall, 2013; Hassan et al., 2018*).

B. Σκοπός

Η ζήτηση των φρεσκοκομμένων φρούτων, έτοιμων προς κατανάλωση, έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, κυρίως, λόγω της γνώσης που έχουν αποκτήσει οι καταναλωτές ως προς την αξία των υγιεινών διατροφικών συνηθειών, αλλά και του όλο και μικρότερου διαθέσιμου χρόνου για την προετοιμασία των γευμάτων τους. Επιπλέον, οι περιβαλλοντικές ανησυχίες που οφείλονται στις πλαστικές συσκευασίες αυξάνονται ραγδαία με αποτέλεσμα το ενδιαφέρον να στρέφεται πλέον σε νέες τεχνολογίες συσκευασίας, οι οποίες θα μπορούσαν να συμβάλλουν στη διατήρηση της ασφάλειας και της ποιότητας των τροφίμων. Οι εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις, με βάση τους υδατάνθρακες, έχουν προταθεί από πολλούς ερευνητές ως πιθανά βιοδιασπώμενα υλικά δευτερογενούς συσκευασίας ελαφρώς επεξεργασμένων φρούτων (minimally processed fruits), καθώς δύναται να αποτελέσουν αποτελεσματικά εμπόδια O₂, CO₂ και υγρασίας, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φορείς δραστικών ουσιών και κατά συνέπεια να αυξήσουν τη διάρκεια ζωής τους.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών και η μελέτη της μικροβιακής αλλοίωσης σε φρεσκοκομμένες φέτες μήλου ποικιλίας Starkin, κατά την ανάπτυξη ενεργού αντιμικροβιακής συσκευασίας. Πιο συγκεκριμένα, ο στόχος της μελέτης είναι η παρακολούθηση των μικροβιολογικών, φυσικοχημικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών σε ελαφρώς επεξεργασμένες φέτες μήλου, μετά από εφαρμογή εδώδιμων επικαλύψεων (αλγινικό νάτριο, πηκτίνη χαμηλής μεθυλίωσης και συνδυασμός των δύο), με ή χωρίς την ενσωμάτωση διαφορετικών συγκεντρώσεων βανιλίνης (0.3% κ.ό. και 0.6% κ.ό.) και συντήρηση στους 4° C, είτε σε παθητική συσκευασία αέρα είτε υπό MAP. Τελικό στόχο αποτελεί η δημιουργία ενός εναλλακτικού και υγιεινού σνακ, το οποίο θα χαρακτηρίζεται από βελτιωμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά και θα είναι ασφαλές για τον σύγχρονο καταναλωτή.

Γ. Πειραματικό Μέρος

1. Υλικά & Μέθοδοι

1.1 Προετοιμασία των δειγμάτων

Ως πρώτη ύλη, στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν μήλα ποικιλίας Starkin ελληνικής προέλευσης (Κατηγορία I), τα οποία αγοράστηκαν από ένα τοπικό κατάστημα μιας μεγάλης αλυσίδας ελληνικών σουπερμάρκετ. Μετά την αγορά τους αποθηκεύτηκαν σε συνθήκες ψύξης στους 4°C. Στη συνέχεια ακολούθησε μια σύντομη επεξεργασία των φρούτων, η οποία περιλάμβανε την απομάκρυνση ξένων σωμάτων από την επιφάνεια των καρπών, την εμβάπτιση τους σε αιθανόλη 100% και την εξάτμιση αυτής σε συνθήκες δωματίου. Έπειτα, κάθε μήλο τεμαχίστηκε σε οχτώ φέτες με τη χρήση ενός μαγειρικού κόφτη. Όλες οι παραπάνω διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν υπό ασηπτικές συνθήκες.

1.2 Παρασκευή πηκτών αλγινικού νατρίου (1.5% w/v) με προσθήκη βανιλίνης (0.0, 0.3 & 0.6% w/v)

Η παρασκευή διαλυμάτων αλγινικού νατρίου (AppliChem GmbH, Germany) συγκέντρωσης 1.5% w/v, επιτεύχθηκε με σταδιακή διάλυση της σκόνης του αλγινικού νατρίου σε αποστειρωμένο-απιονισμένο νερό θερμοκρασίας περίπου 70°C, υπό συνεχή μαγνητική ανάδευση, μέχρι τα διαλύματα να γίνουν διαυγή (*Chiabrando & Giacalone 2016*). Ακολούθησε ψύξη σε συνθήκες δωματίου και προσθήκη γλυκερόλης (AppliChem GmbH, Germany) (πλαστικοποιητής) 1% w/v, με στόχο τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων (ελαστικότητα, ευθραυστότητα, διαπερατότητα αερίων) των πηκτών. Τα τελικά διαλύματα παρέμειναν σε συνθήκες δωματίου μέχρι την επόμενη μέρα (για να απομακρυνθούν οι φυσαλίδες αέρα που είχαν σχηματιστεί κατά την παρασκευή), και στη συνέχεια έγινε προσθήκη του αντιμικροβιακού συστατικού βανιλίνης (AppliChem GmbH, Germany) σε τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις 0.0, 0.3 και 0.6% w/v, υπό ήπια συνεχή μαγνητική ανάδευση για να αποφευχθεί η νέα δημιουργία φυσαλίδων. Όλες οι διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν υπό ασηπτικές συνθήκες.

1.3 Παρασκευή πηκτών πηκτίνης χαμηλής μεθυλίωσης (3% w/v) με προσθήκη βανιλίνης (0.0, 0.3 & 0.6% w/v)

Η παρασκευή διαλυμάτων πηκτίνης LM (Krallis, Athens, Greece) συγκέντρωσης 3% w/v, επιτεύχθηκε με σταδιακή διάλυση της πηκτίνης σε αποστειρωμένο-απιονισμένο νερό θερμοκρασίας περίπου 60°C, υπό συνεχή μαγνητική ανάδευση, μέχρι τα διαλύματα να γίνουν διαυγή. Ακολούθησε ψύξη σε συνθήκες δωματίου και προσθήκη πλαστικοποιητή γλυκερόλης με λόγο μάζας 0.28g γλυκερόλης/g πολυμερούς (*Ramirez et al, 2015*). Τα τελικά διαλύματα παρέμειναν σε συνθήκες δωματίου μέχρι την επόμενη μέρα (για να απομακρυνθούν οι φυσαλίδες αέρα που είχαν σχηματιστεί κατά την παρασκευή), και στη συνέχεια έγινε προσθήκη του αντιμικροβιακού συστατικού βανιλίνης σε τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις 0.0, 0.3 και 0.6% w/v, υπό ήπια συνεχή μαγνητική ανάδευση για να αποφευχθεί η νέα δημιουργία φυσαλίδων. Όλες οι διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν υπό ασηπτικές συνθήκες.

1.4 Παρασκευή πηκτών πηκτίνης χαμηλής μεθυλίωσης (3% w/v) και αλγινικού νατρίου (1.5% w/v) για τη δημιουργία διαδοχικών διπλών επικαλύψεων

Για την παρασκευή των πηκτών ακολουθήθηκε η διαδικασία που περιγράφεται στις παραγράφους 1.2 και 1.3, με μόνη διαφορά τις ποσότητες του αντιμικροβιακού συστατικού που προστίθενται στο τελευταίο βήμα. Πιο συγκεκριμένα, οι ποσότητες βανιλίνης που προστέθηκαν, μοιράστηκαν ισόποσα ανάμεσα στα ζεύγη των διαλυμάτων, με τελικό στόχο να προκύψουν επικαλύψεις διπλής στοιβάδας με συγκεντρώσεις 0.0, 0.3 και 0.6% w/v σε βανιλίνη.

1.5 Πειραματική διαδικασία

1. Πριν την έναρξη κάθε πειράματος πραγματοποιούταν αποστείρωση των εργαστηριακών σκευών και του απιονισμένου νερού στους 121°C για 15 λεπτά, ενώ οι σκόνες του αλγινικού νατρίου και της πηκτίνης χαμηλής μεθυλίωσης (LM) παρέμεναν κάτω από λάμπα ακτινοβολίας UV όλη τη νύχτα.

2. Αρχικά, γινόταν η παρασκευή των πηκτών αλγινικού νατρίου ή πηκτίνης LM, όπως περιγράφεται στις παραγράφους 1.2 και 1.3. Συνολικά, παράγονταν 3 διαλύματα από κάθε πηκτή, με συγκεντρώσεις βανιλίνης 0.0, 0.3 και 0.6% w/v αντίστοιχα. Για κάθε είδος πηκτής παρασκευαζόταν διάλυμα CaCl_2 2% w/v, με διάλυση ένυδρου χλωριούχου ασβεστίου (AppliChem, Germany) σε αποστειρωμένο-απιονισμένο νερό.

3. Έπειτα, ακολουθούσε η προετοιμασία των μήλων όπως περιγράφεται στην παράγραφο 1.1 και στη συνέχεια πραγματοποιούταν η εμφύσηση των φετών μήλου στην εκάστοτε πηκτή, υπό ασηπτικές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, οι φέτες εμφύσιζονταν στα διαλύματα αλγινικού ή πηκτίνης για 1 ή 3 min αντίστοιχα, ενώ στη συνέχεια ακολουθούσε εμφύσηση των δειγμάτων σε διάλυμα CaCl_2 2% w/v για 1 min (Σχήμα 2). Τα επικαλυμμένα πλέον δείγματα τοποθετούνταν για λίγα λεπτά σε διηθητικό χαρτί, έτσι ώστε να απομακρυνθεί η περίσσεια του διαλύματος CaCl_2 . Τεμάχια μήλων, τα οποία εμφύσηστηκαν σε αποστειρωμένο νερό για τους ίδιους χρόνους χωρίς την εφαρμογή κάποιας εδώδιμης επικάλυψης, αποτέλεσαν τους μάρτυρες.

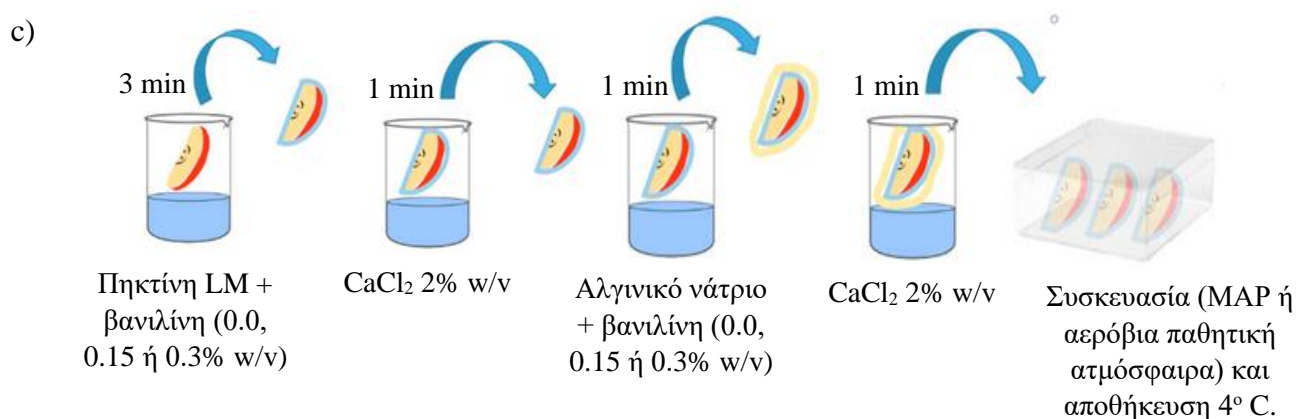
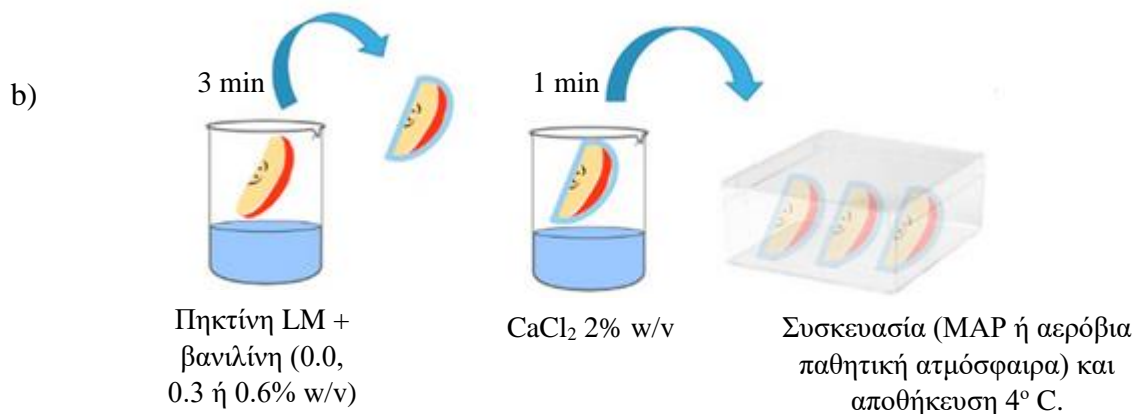
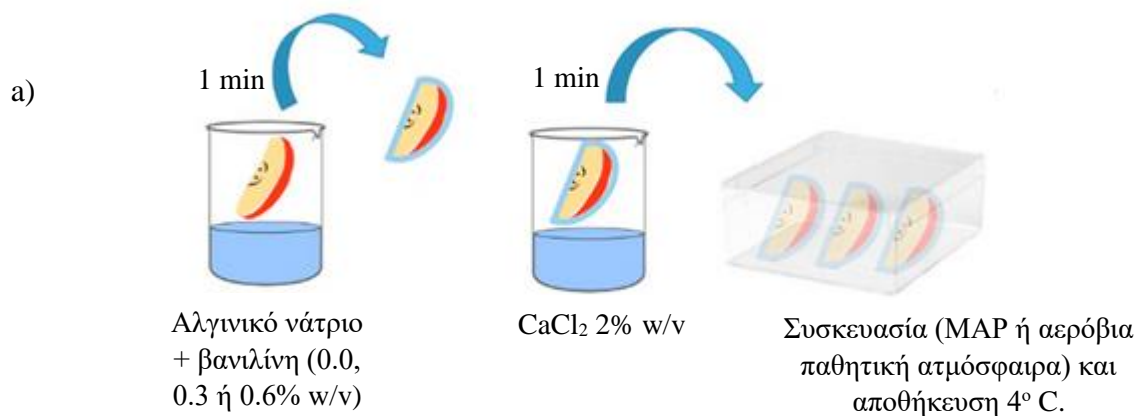
4. Τέλος, τα έτοιμα πλέον δείγματα και οι μάρτυρες τοποθετήθηκαν σε πλαστικές σακούλες (Flexo-Pack S.A., Athens, Greece) συσκευασίας με διαπερατότητα αερίου περίπου 25, 90 και 6 cm^3/m^2 ανά ημέρα/105 Pa για CO_2 , O_2 και N_2 αντίστοιχα, στους 4 °C και 50% σχετική υγρασία και συσκευάστηκαν (HENCOVAC 1900) είτε σε προστατευτική ατμόσφαιρα (MAP) N_2 100% είτε σε αερόβια παθητική ατμόσφαιρα.

5. Για κάθε είδος επεξεργασίας (αλγινικό, πηκτίνη LM, πηκτίνη LM – αλγινικό και μάρτυρες) συσκευάζονταν δύο πλαστικές σακούλες. Κάθε συσκευασία περιείχε 4 φέτες μήλου.

6. Η συντήρηση όλων των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σε ελεγχόμενες συνθήκες στους 4°C και RH 50% για χρονικό διάστημα 14 ημερών.

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 6 ανεξάρτητα πειράματα, όπου εφαρμόστηκαν τρεις διαφορετικές εδώδιμες επικαλύψεις (αλγινικό νάτριο, πηκτίνη LM και συνδυασμός των δύο) σε φέτες μήλου, με διαφορετικές συγκεντρώσεις αντιμικροβιακού συστατικού, καθώς και δύο διαφορετικά είδη συσκευασίας των δειγμάτων για κάθε επικάλυψη (συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας και συσκευασία αερόβιας παθητικής ατμόσφαιρας).

Στην περίπτωση των σύνθετων επικαλύψεων πηκτίνης LM και αλγινικού νατρίου, ακολουθήθηκαν τα παραπάνω βήματα, με εξαίρεση στον τρόπο των εμβαπτίσεων. Πιο συγκεκριμένα, οι φέτες μήλου αρχικά εμβαπτίζονταν σε διάλυμα πηκτίνης LM 3% w/v για 3 λεπτά, στη συνέχεια σε διάλυμα CaCl₂ 2% w/v για 1 min, έπειτα ακολουθούσε η εμβάπτιση σε διάλυμα αλγινικού νατρίου 1.5% w/v για 1 min και τέλος ξανά σε διάλυμα CaCl₂ 2% w/v για 1 min, με στόχο να δημιουργηθεί μια επικάλυψη διπλοστοιβάδας (Σχήμα 2). Η τεχνική αυτή εφαρμόστηκε για τα ζεύγη των πηκτών, που είχαν ίσες συγκεντρώσεις του αντιμικροβιακού συστατικού βανιλίνης. Τέλος, οι μάρτυρες εμβαπτίστηκαν για 1 min σε αποστειρωμένο νερό.



Σχήμα 2: Αναπαράσταση των διαδοχικών εμβαπτίσεων των φρεσκοκομμένων φετών μήλου στα διαφορετικά είδη εδωδιμων μεμβρανών (a. αλγινικό νάτριο, b. πηκτίνη LM και c. διπλή επικάλυψη).

1.6 Αναλυτικές μέθοδοι

1.6.1 Σύσταση αερίων στο εσωτερικό της συσκευασίας

Η σύσταση των αερίων (% O₂, % CO₂ & % N₂) στο εσωτερικό κάθε συσκευασίας προσδιορίστηκε με τη βοήθεια ενός αναλυτή αερίων (PBI Dansensor CheckMate 9900). Η μέτρηση πραγματοποιούνταν με εισαγωγή βελόνας, συνδεδεμένης στον αναλυτή, μέσα στον ενδιάμεσο χώρο (headspace) της συσκευασίας. Για την εισχώρηση της σύριγγας επιλεγόταν σημείο της σακούλας χωρίς εμφανή σημάδια υγρασίας, τοποθετώντας παράλληλα λαστιχένιο septum στο σημείο αυτό. Πριν από την έναρξη των μετρήσεων γινόταν βαθμονόμηση του οργάνου, μετρώντας τη σύσταση των αερίων της ατμόσφαιρας. Τα αποτελέσματα εκφράζονταν ως επί τοις εκατό (%) συγκεντρώσεις των αερίων (O₂, CO₂ & N₂) στο εσωτερικό κάθε πλαστικής σακούλας. Για κάθε διαφορετικό είδος επικάλυψης μετρούνταν δύο δείγματα.

1.6.2 Μικροβιολογικές αναλύσεις

Για την πραγματοποίηση των μικροβιολογικών αναλύσεων μια φέτα μήλου αφαιρούνταν από κάθε συσκευασία και στη συνέχεια τοποθετούνταν σε αποστειρωμένη σακούλα stomacher, όπου αραιωνόταν με αποστειρωμένο διάλυμα ½ strength Ringer (Lab M, Lancashire, UK) σε αναλογία 1:5. Στη συνέχεια, ακολουθούσε ομογενοποίηση του περιεχομένου της σακούλας σε μηχανήμα stomacher (Interscience, France) για 1 min. Έπειτα, 100 μL ή 1 mL (σε τριπλό τριβλίο) από την κατάλληλη αραιώση ομογενοποιημένου δείγματος επιστρώνονταν επιφανειακά στο επιλεγμένο θρεπτικό υλικό. Η ολική μεσόφιλη μικροχλωρίδα (OMX) προσδιορίστηκε σε θρεπτικό υλικό Plate Count Agar (PCA, Lab M, Lancashire, UK) (30° C για 48 ώρες). Τα υποστρώματα παρασκευάστηκαν σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Για κάθε διαφορετική επικάλυψη πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις σε δύο ανεξάρτητα δείγματα.

Όλες οι παραπάνω διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν υπό ασηπτικές συνθήκες. Το αποτέλεσμα της εκτίμησης των μικροβιακών πληθυσμών εκφράστηκε ως \log_{10} μονάδων σχηματισμού αποικιών g^{-1} δείγματος ($\log \text{cfu g}^{-1}$).

1.6.3 Μέτρηση pH

Η μέτρηση του pH πραγματοποιούταν με τη χρήση ψηφιακού pHμέτρου (Wissenschaftlich-Technische Werkstätten, Germany), βυθίζοντας το ηλεκτρόδιο του οργάνου στη σακούλα με το ομογενοποιημένο δείγμα. Πριν από την αρχή της διαδικασίας γινόταν βαθμονόμηση του οργάνου με πρότυπα διαλύματα. Για κάθε επικάλυψη πραγματοποιούνταν δυο μετρήσεις.

1.6.4 Χρώμα

Η μέτρηση του χρώματος των φετών μήλου πραγματοποιήθηκε με χρωματόμετρο (Spectrocolorimeter LC 100, Lovibond) με το χρωματικό μοντέλο CIELab ή L, a, b, όπου το κάθε χρώμα περιγράφεται από 3 συντεταγμένες ή παράγοντες. Ο παράγοντας L^* αφορά την φωτεινότητα και παίρνει τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό). Η χρωματική παράμετρος a^* υποδηλώνει πόσο κόκκινο ($+a^*$) ή πόσο πράσινο ($-a^*$) είναι ένα χρώμα, ενώ η χρωματική παράμετρος b^* φανερώνει πόσο κίτρινη ή μπλε ($+b^*$, $-b^*$) είναι η απόχρωση του χρώματος. Επιπλέον, η χρωματική πυκνότητα C^* προσδιορίζει την ένταση ή την καθαρότητα του χρώματος και προκύπτει συναρτήσεως των a^* και b^* από τον τύπο $C^* = ((a^*)^2 + (b^*)^2)^{1/2}$. Τέλος η χροιά h (hue angle) μετριέται σε μοίρες και προσδιορίζει την απόχρωση, παίρνοντας τιμές 0° για το κόκκινο-πορφυρό, 90° για το κίτρινο, 180° για το πράσινο και 270° για το μπλε.

Πραγματοποιήθηκαν 5 επιφανειακές μετρήσεις στην σάρκα δύο ανεξάρτητων δειγμάτων (από διαφορετικές συσκευασίες) για κάθε επικάλυψη, σε διαφορετικά σημεία η κάθε μία. Πριν από την αρχή της δειγματοληψίας γινόταν βαθμονόμηση του οργάνου με τη χρήση λευκής πλάκας αναφοράς.

1.6.5 Οξύτητα

Η μέτρηση της οξύτητας πραγματοποιήθηκε με τη μεταφορά 10 mL αραιωμένου χυμού μήλου σε κωνική φιάλη και αραίωση με 20 mL απιονισμένου νερού. Ακολούθησε, προσθήκη σταγόνων δείκτη φαινολοφθαλεΐνης και στη συνέχεια τιτλοδότηση με πρότυπο διάλυμα NaOH 0.1 N υπό συνεχή ανάδευση. Στο τελικό σημείο της τιτλοδότησης παρατηρούταν χρωματική αλλαγή, καθώς το διάλυμα από υποκίτρινο γινόταν ρόδινο. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως mg μηλικού οξέος ανά 100 mL χυμού. Η οξύτητα υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$\text{οξύτητα} = \frac{(\text{mL NaOH } 0,1 \text{ N}) \times 0,1 \times 134,09 \times 5}{2}$$

1.6.6 Ολικά διαλυτά στερεά

Το περιεχόμενο σε ολικά διαλυτά στερεά υπολογίστηκε στον αραιωμένο χυμό μήλου με τη βοήθεια ενός διαθλασίμετρου χειρός (ATAGO, Japan). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου και εκφράστηκαν σε °Brix.

1.6.7 Υφή

Η υφή-σκληρότητα των φρούτων προσδιορίστηκε με τη βοήθεια ενός αναλυτή υφής (Hounsfield, England) και εκφράστηκε ως η μέγιστη δύναμη (F_{\max}) που απαιτείται για τη διάτρηση των δειγμάτων. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση κυλινδρικού εμβόλου διαμέτρου 1.6 mm, κυψέλης φορτίου 1000N, ταχύτητα 60 mm/min και βάθος διείσδυσης 6 mm. Για κάθε διαφορετική επικάλυψη χρησιμοποιήθηκαν δυο ανεξάρτητες φέτες μήλου (διαφορετικές σακούλες), που είχαν υποστεί την ίδια επεξεργασία, όπου η κάθε μία τεμαχίστηκε σε 5 κύβους ακμής 1 cm.

1.6.8 Υγρασία

Για τον προσδιορισμό της υγρασίας ζυγίστηκαν ~ 3 g μήλου σε προζυγισμένο σκεύος, το οποίο τοποθετήθηκε σε πυριαντήριο στους 70°C μέχρι σταθερού βάρους. Με την

ολοκλήρωση της ξήρανσης τα σκεύη με τα δείγματα τοποθετήθηκαν για λίγα λεπτά σε θερμοκρασία δωματίου και στη συνέχεια ζυγίστηκαν σε αναλυτικό ζυγό (Link Lab, Greece). Η σχέση που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της υγρασίας ήταν:

$$\% \text{ υγρασία} = \frac{(M2 - M3) \times 100}{(M2 - M1)}$$

όπου M1 = μάζα σκεύους ζυγίσεως, M2 = μάζα σκεύους και νωπού δείγματος και M3 = μάζα σκεύους και ξηρού δείγματος.

1.6.9 Οργανοληπτικός έλεγχος

Στον οργανοληπτικό έλεγχο του πειράματος συμμετείχαν 10 άτομα (προσωπικό του εργαστηρίου) τα οποία αξιολόγησαν ορισμένα χαρακτηριστικά των δειγμάτων τη 0η, 7η και τη 14η ημέρα του πειράματος. Τα δείγματα τοποθετούνταν κάθε φορά με τυχαία σειρά, χωρίς οι συμμετέχοντες να γνωρίζουν την ταυτότητά τους. Μεταξύ των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών που αξιολογήθηκαν ήταν η οσμή, το χρώμα, η φρεσκότητα, η υφή και η συνολική εμφάνιση. Η κλίμακα αξιολόγησης κυμαινόταν από το 1 (χειρότερο) μέχρι το 3 (καλύτερο), ενώ βαθμολογίες κάτω από 2 καθιστούσαν το φρούτο οργανοληπτικά απορριπτέο. Σε κάθε οργανοληπτικό έλεγχο αξιολογούνταν τέσσερα δείγματα, όπου το καθένα είχε υποστεί διαφορετική επεξεργασία (μάρτυρας, επικάλυψη με 0% βανιλίνη, επικάλυψη με 0.3% βανιλίνη και επικάλυψη με 0.6% βανιλίνη).

2. Αποτελέσματα & Συζήτηση

2.1 Σύσταση αερίων

Τα φρούτα συνεχίζουν να αναπνέουν και μετά τη συγκομιδή τους, έτσι λοιπόν για να διατηρηθούν φρέσκα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ο ρυθμός αναπνοής τους θα πρέπει να μειωθεί σημαντικά. Ενώ στα περισσότερα οπωροκηπευτικά η διαδικασία της αναπνοής μπορεί να επιβραδυνθεί με την αποθήκευση σε χαμηλές θερμοκρασίες, η μέθοδος αυτή αποδεικνύεται μάταια στην περίπτωση των φρεσκοκομμένων φρούτων

και λαχανικών. Ωστόσο, η εφαρμογή εδώδιμων επικαλύψεων σε συνδυασμό με χαμηλές θερμοκρασίες αποθήκευσης φαίνεται να αποτελεί μια καλή εναλλακτική στην επιβράδυνση του ρυθμού αναπνοής ορισμένων μερικώς επεξεργασμένων φρούτων και λαχανικών (*Olivas & Barbosa-Cánovas, 2005*).

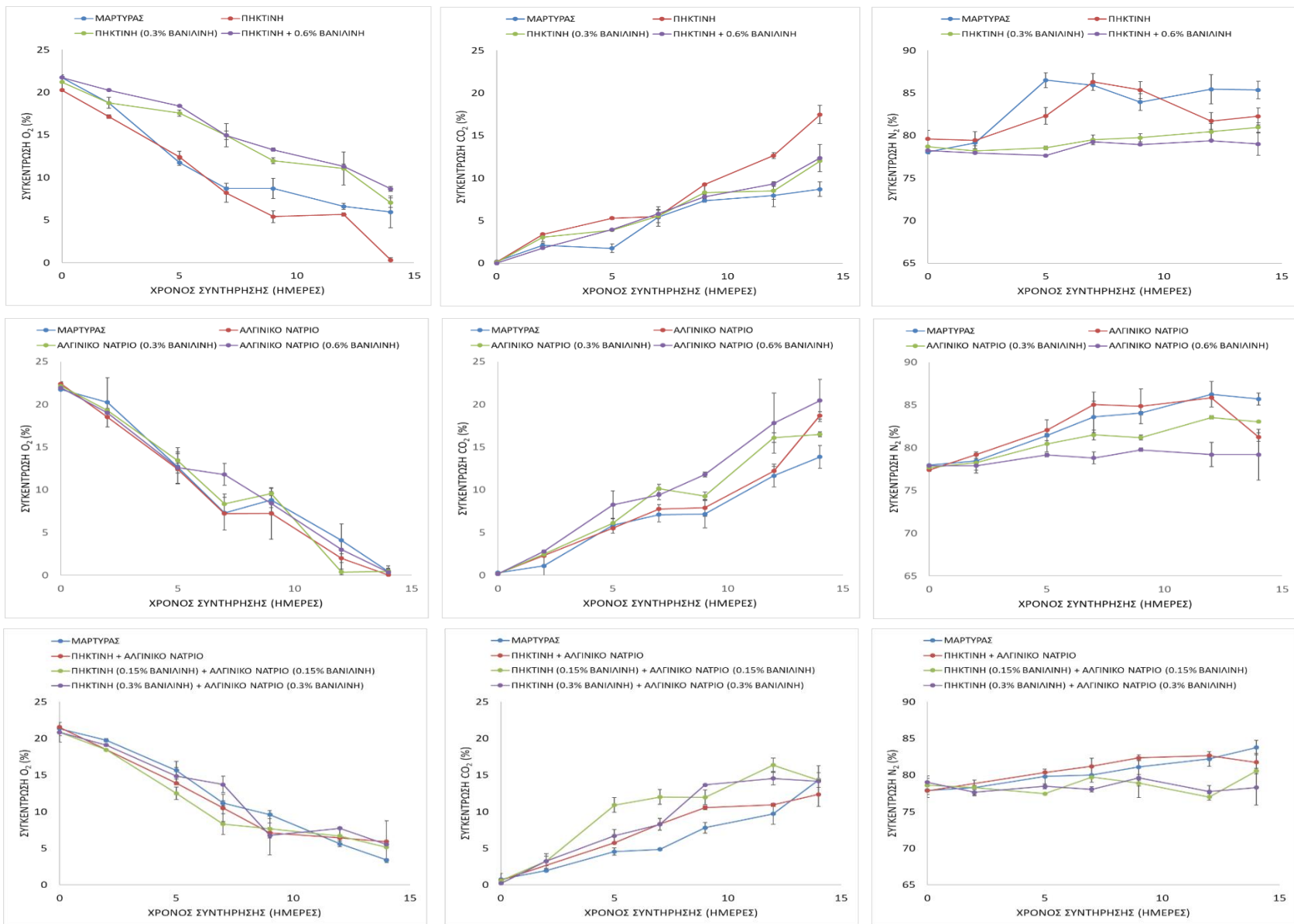
Η επίδραση των εδώδιμων επικαλύψεων στον ρυθμό αναπνοής των επικαλυμμένων δειγμάτων φετών μήλου αξιολογήθηκε μέσω της μεταβολής των αερίων στο εσωτερικό της συσκευασίας πολυεστέρα, τόσο σε τροποποιημένη όσο και σε παθητική ατμόσφαιρα. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση της παθητικής αερόβιας συσκευασίας παρατηρήθηκε πως σε όλα τα δείγματα των διαφορετικών επικαλύψεων υπήρχε μια τάση για μείωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου και αύξησης του διοξειδίου του άνθρακα, ενώ τα επίπεδα αζώτου παρέμειναν σχετικά σταθερά (Διάγραμμα 3). Ακόμη, φάνηκε πως η κατανάλωση του O₂, σε όλα τα είδη των δειγμάτων, δεν επηρεάζεται σημαντικά από την ύπαρξη του φραγμού που δημιουργούν οι επικαλύψεις στην διάχυση των αερίων. Ενώ παράλληλα, έγινε αντιληπτό ότι σε όλα τα δείγματα των διαφόρων επικαλύψεων η παραγωγή CO₂ ήταν μεγαλύτερη, σε σχέση με τα δείγματα των μαρτύρων, κατά τη διάρκεια της συντήρησης. Το φαινόμενο αυτό έχει παρατηρηθεί σε περιπτώσεις σχηματισμού επικαλύψεων μεγάλου πάχους, οι οποίες αποτελούν ανεπιθύμητο φραγμό στην ανταλλαγή των αερίων της αναπνοής, γεγονός που οδηγεί τελικά σε αναερόβια αναπνοή, κατά την οποία παράγεται μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα και σε ορισμένες περιπτώσεις ακεταλδεΐδη και αιθανόλη, που υποβιβάζουν την ποιότητα των φρεσκοκομμένων φρούτων (*Dhall, 2013; Rojas-Graü et al, 2007*).

Ακόμη, παρατηρήθηκε πως κατά την εφαρμογή επικάλυψης αλγινικού νατρίου, ο ρυθμός κατανάλωσης O₂ και παραγωγής CO₂ στα δείγματα ήταν μεγαλύτερος, σε σχέση με εκείνα στα οποία είχε εφαρμοστεί πηκτίνη ή διπλή επικάλυψη πηκτίνης-αλγινικού. Αντίστοιχα αποτελέσματα είχαν καταγράψει και οι *Tabassum & Khan (2020)*, οι οποίοι ανέφεραν πως επικαλύψεις με βάση το αλγινικό δεν δύναται να αποτελέσουν αποτελεσματικό φραγμό τόσο του οξυγόνου όσο και του διοξειδίου του άνθρακα, ύστερα από εφαρμογή επικαλύψεων αλγινικού νατρίου σε δείγματα κύβων παπάγιας και συντήρησή τους σε παθητική αερόβια συσκευασία στους 4° C για 12 ημέρες. Επιπλέον, οι *Oms-Oliu et al. (2008)* ανέφεραν την αναποτελεσματικότητα των επικαλύψεων με βάση το αλγινικό και την πηκτίνη στη διάχυση των δύο αερίων, κατά

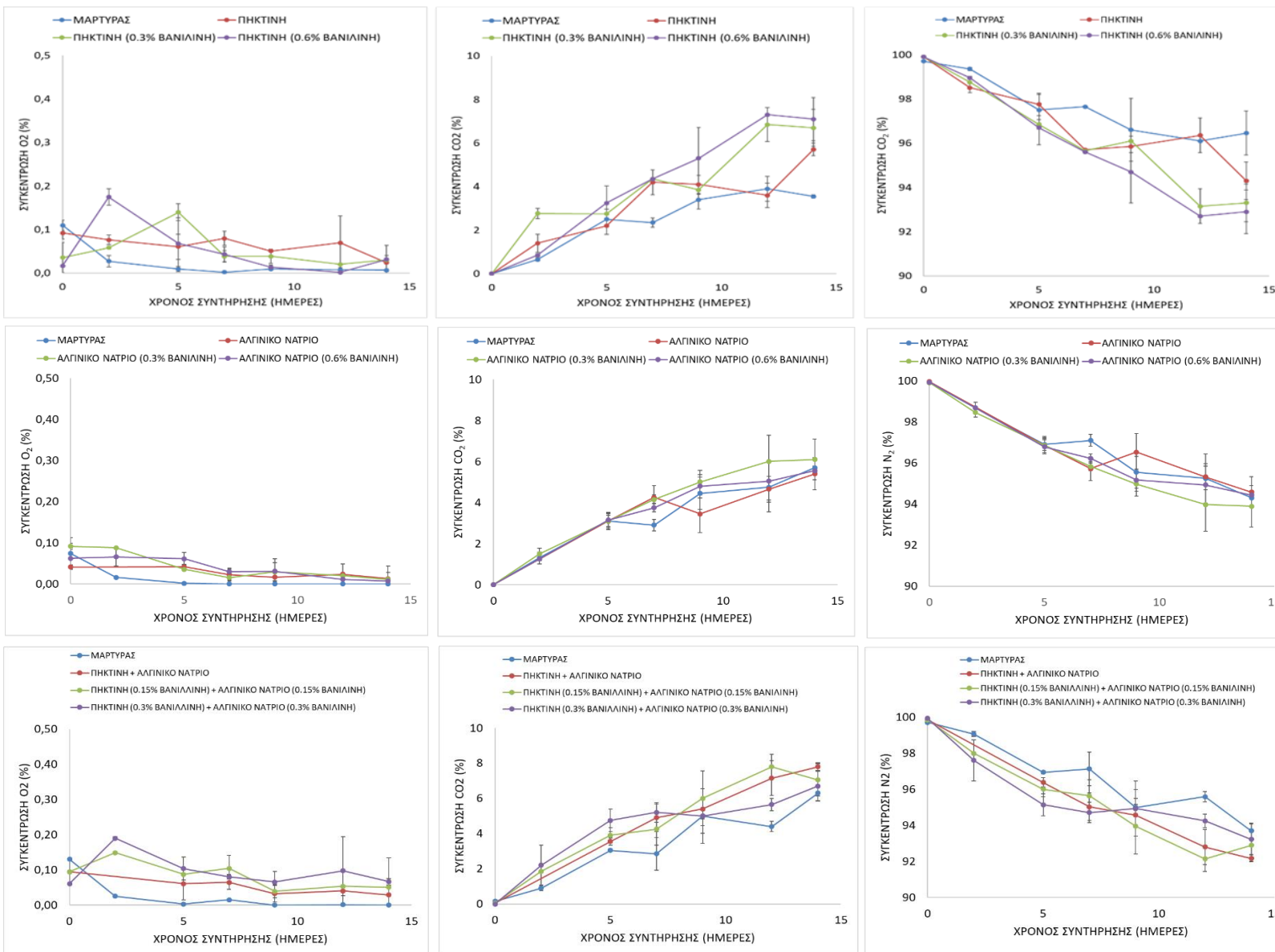
την εφαρμογή τους σε φρεσκοκομμένες φέτες πεπονιού κατά τη συντήρησή τους σε συσκευασία παθητικής τροποποιημένης ατμόσφαιρας στους 4° C για 15 ημέρες.

Στο Διάγραμμα 4 απεικονίζονται οι συγκεντρώσεις των αερίων O₂, CO₂ και N₂ για τα τρία διαφορετικά είδη επικαλύψεων (πηκτίνη, αλγινικό νάτριο, διπλή επικάλυψη πηκτίνης-αλγινικού νατρίου) σε φέτες μήλων που συσκευάστηκαν σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα αζώτου (100% N₂). Το άζωτο χρησιμοποιήθηκε με στόχο τη μείωση των επιπέδων του διαθέσιμου O₂ στο εσωτερικό της συσκευασίας και επακόλουθα την επιβράδυνση της διαδικασίας της αναπνοής, καθώς η δημιουργία αδρανούς ατμόσφαιρας γύρω από το προϊόν δύναται να επεκτείνει τη διάρκεια ζωής του. Παρατηρώντας, λοιπόν, τα διαγράμματα γίνεται αντιληπτό ότι σε όλα τα δείγματα των τριών διαφορετικών επικαλύψεων υπάρχει μια τάση αύξησης των επιπέδων του CO₂, μια τάση μείωσης των επιπέδων N₂, ενώ τα επίπεδα O₂ φαίνεται να μην παρουσιάζουν μεγάλες μεταβολές κατά τη διάρκεια της συντήρησης. Πιο συγκεκριμένα, το ήδη αρχικά χαμηλό ποσοστό O₂ μειώνεται πιο γρήγορα στις συσκευασίες των μαρτύρων, σε σύγκριση με τις συσκευασίες των δειγμάτων στα οποία έχουν εφαρμοστεί τρία διαφορετικά είδη επικαλύψεων, γεγονός που πιθανότατα οφείλεται στον φραγμό αερίων που δημιουργούν οι επικαλύψεις. Από την άλλη πλευρά στην περίπτωση του CO₂ παρατηρήθηκε πως τα επίπεδα του αερίου ήταν πιο υψηλά σε όλες σχεδόν τις ημέρες των μετρήσεων στις συσκευασίες των επικαλυμμένων δειγμάτων σε σχέση με τους μάρτυρες. Σύμφωνα με τους [Kays & Paull \(2004\)](#) η χαμηλή συγκέντρωση O₂ στο περιβάλλον και επακόλουθα στους ιστούς του τροφίμου μπορεί να οδηγήσει σε αναερόβια αναπνοή, χαρακτηριστικό της οποίας είναι η αυξημένη παραγωγή CO₂, καθώς και ο σχηματισμός αιθανόλης, κετονών και αλδεϋδών. Όσον αφορά, τα επίπεδα του αζώτου στις συσκευασίες των διαφορετικών ειδών επικαλύψεων που σημειώθηκαν την 14η ημέρα των πειραματικών διαδικασιών, παρατηρήθηκε μία μείωση που κυμαινόταν από 5,6 – 7,8%.

Εξετάζοντας τα δύο διαφορετικά είδη συσκευασιών διαπιστώθηκε πως στην περίπτωση της συσκευασίας τροποποιημένης ατμόσφαιρας αζώτου τα δείγματα των μήλων, τόσο οι μάρτυρες όσο και εκείνα που διέθεταν εδώδιμες επικαλύψεις, παρουσίασαν χαμηλότερη αναπνευστική ικανότητα σε σχέση με εκείνα που είχαν συσκευαστεί σε παθητική ατμόσφαιρα αέρα. Η παρατήρηση αυτή γίνεται αντιληπτή από τα παραγόμενα επίπεδα CO₂, εντός των διαφορετικών ειδών συσκευασίας, που



Διάγραμμα 3: Τα ποσοστά των συγκεντρώσεων των αερίων O₂, CO₂, N₂ για τα τρία διαφορετικά είδη επικαλύψεων – πηκτίνη, αλγινικό νάτριο, διπλή επικάλυψη πηκτίνης αλγινικού νατρίου – σε δείγματα μήλων που έχουν συσκευαστεί σε παθητική συσκευασία αέρα.



Διάγραμμα 4: Τα ποσοστά των συγκεντρώσεων των αερίων O₂, CO₂, N₂ για τα τρία διαφορετικά είδη επικαλύψεων – πηκτίνη, αλγινικό νάτριο, διπλή επικάλυψη πηκτίνης αλγινικού νατρίου – σε δείγματα μήλων που έχουν συσκευαστεί σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα αζώτου

στην περίπτωση της MAP φαίνεται να είναι χαμηλότερα καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων, γεγονός που ήταν αναμενόμενο, αφού πέραν από την ενεργό συσκευασία, η τροποποιημένη ατμόσφαιρα έδρασε ως ένα επιπλέον εμπόδιο καθυστέρησης της ωρίμανσης. Τέλος, όσον αφορά την ενσωμάτωση του αντιμικροβιακού βανιλίνης, συγκεντρώσεων 0.3 και 0.6% w/v, φαίνεται πως επηρεάζει τη διαδικασία της αναπνοής, καθώς από τα Διαγράμματα 3 (επικαλύψεις πηκτίνης) και 4 παρατηρείται πως σε όλα τα επικαλυμμένα δείγματα, στις επικαλύψεις των οποίων έχει προστεθεί βανιλίνη, η κατανάλωση οξυγόνου είναι μικρότερη σε σχέση με τους θετικούς (controls) και αρνητικούς μάρτυρες (μόνο επικαλύψεις), ενώ παράλληλα διαπιστώνεται πως μεγαλύτερη συγκέντρωση βανιλίνης οδηγεί σε μεγαλύτερη μείωση του ρυθμού αναπνοής. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε συμφωνία με τους [Rojas-Graü et al. \(2007\)](#) οι οποίοι ανέφεραν πως η βανιλίνη και τα αιθέρια έλαια ρίγανης και λεμονόχορτου δύναται να καθυστερήσουν τη διαδικασία της αναπνοής, σε επικαλυμμένες (πουρές μήλου + αλγινικό νάτριο) φέτες μήλων, ύστερα από συντήρηση σε παθητική συσκευασία αέρα στους 4° C για 21 ημέρες.

2.2 Μικροβιολογικές αναλύσεις

Τα φρεσκοκομμένα φρούτα δημιουργούν ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών, εξαιτίας της υπάρχουσας υγρασίας και την υψηλής συγκέντρωσης σακχάρων στην επιφάνειά τους ([Rojas-Graü et al, 2007](#)). Οι μικροοργανισμοί των τροφίμων αποτελούν την κύρια αιτία αλλοίωσης των ελαφρώς επεξεργασμένων φρούτων ([Guerreiro et al, 2017](#)), καθώς η απουσία φυσικού ή χημικού φραγμού υπό τη μορφή της προστατευτικής επιδερμίδας, τα καθιστά πιο επιρρεπή στη μικροβιακή αλλοίωση ([Tabassum & Khan, 2020](#)). Ωστόσο, η εφαρμογή εδώδιμων επικαλύψεων μπορεί να μεταβάλει τον ρυθμό ανάπτυξης των αλλοιογόνων και παθογόνων μικροοργανισμών, δημιουργώντας μια εσωτερικά τροποποιημένη ατμόσφαιρα στην επιφάνεια των καρπών ([Rojas-Graü et al, 2007](#)).

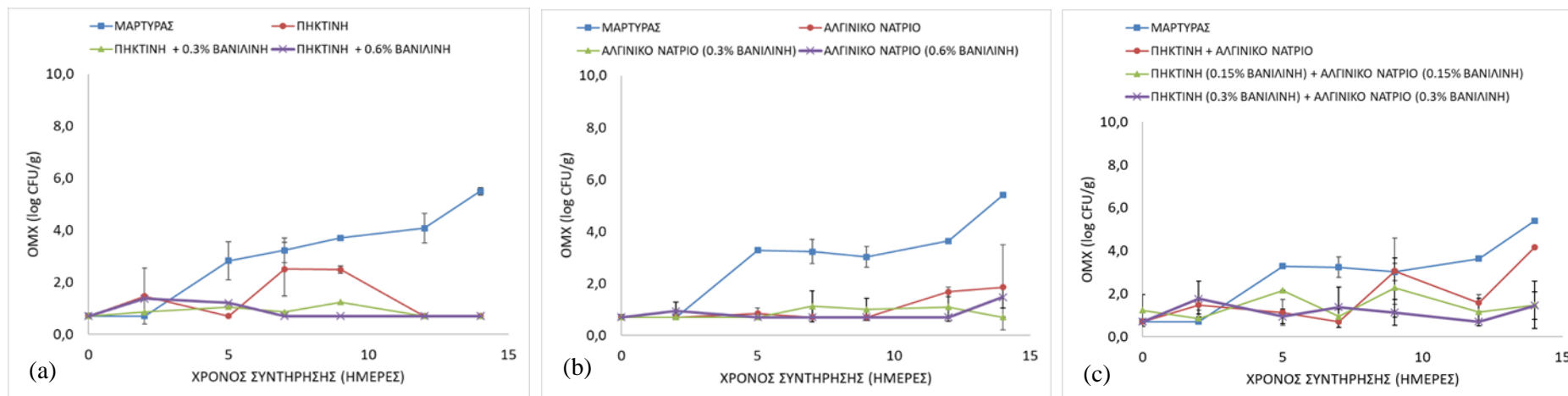
Στα Διαγράμματα 5 και 6 απεικονίζονται οι μεταβολές των πληθυσμών της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας (OMX), εκφρασμένες σε log CFU/g, σε δείγματα με επικάλυψη πηκτίνης (a), αλγινικού νατρίου (b) και διπλής επικάλυψης πηκτίνης – αλγινικού νατρίου (c), που είχαν συσκευαστεί σε παθητική συσκευασία αέρα και

τροποποιημένη ατμόσφαιρα αζώτου, αντίστοιχα. Αρχικά φαίνεται πως οι τελικοί πληθυσμοί των μικροοργανισμών της OMX είναι μικρότεροι στα επικαλυμμένα δείγματα όλων των διαφορετικών επικαλύψεων σε σύγκριση με τους μάρτυρες, την 14^η ημέρα της πειραματικής διαδικασίας. Ακόμη, παρατηρήθηκε πως κατά την εφαρμογή παθητικής συσκευασίας αέρα ο ρυθμός ανάπτυξης των μικροβίων στους μάρτυρες αυξάνεται πιο έντονα μεταξύ 3ης και 5ης ημέρας, ενώ στην περίπτωση της τροποποιημένης ατμόσφαιρας αζώτου ξεκινά να έχει ανοδική πορεία από την 5ης ημέρα και μετά. Αυτό, οφείλεται κυρίως στην υψηλή συγκέντρωση οξυγόνου που υπάρχει στην πρώτη περίπτωση (παθητική συσκευασία αέρα) που ευνοεί την ανάπτυξη των αερόβιων μικροοργανισμών, σε αντίθεση με τη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας αζώτου όπου οι μικροοργανισμοί χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να προσαρμοστούν στο περιβάλλον (οι τελικοί πληθυσμοί των μαρτύρων στις τρεις διαφορετικές πειραματικές διαδικασίες του διαγράμματος 5 υπολογίστηκαν στα 5.4 – 5.5 log CFU/g, σε αντίθεση με αυτές του διαγράμματος 6, όπου οι τελικοί πληθυσμοί κυμάνθηκαν από 3.3 – 4.0 log CFU/g). Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο, καθώς η MAP αποτελεί ένα από τα εμπόδια της τεχνολογίας εμποδίων (hurdle technology) για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών.

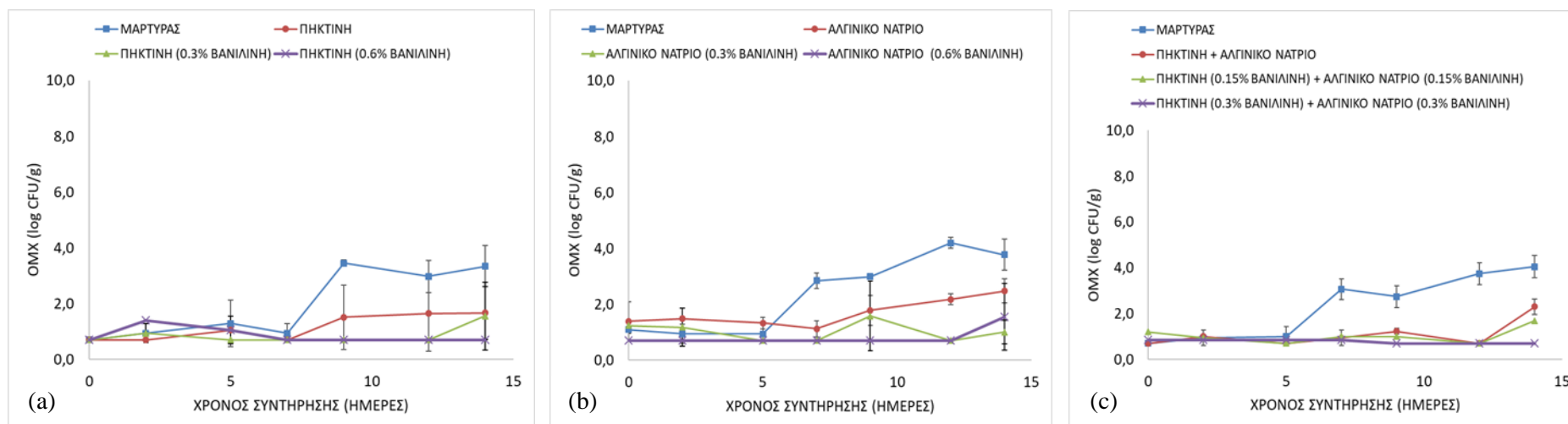
Ακόμη, από τις αναλύσεις προέκυψε πως οι πληθυσμοί των μικροβίων στα δείγματα, οι επικαλύψεις των οποίων δεν περιείχαν αντιμικροβιακή ουσία, ήταν χαμηλότεροι σε σχέση με τους μάρτυρες, σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις από την 5^η ημέρα και μετά. Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνει το γεγονός ότι οι εδωδιμες επικαλύψεις δημιουργούν συνθήκες τροποποιημένης ατμόσφαιρας στο εσωτερικό και στην επιφάνεια του τροφίμου, που επηρεάζουν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Επιπλέον, το αλγινικό νάτριο αλλά και τα σύνθετα υλικά που το περιέχουν, έχουν μελετηθεί στο παρελθόν για τις αντιμικροβιακές τους ιδιότητες ([Król et al, 2017](#)).

Ύστερα, από τα αποτελέσματα επιβεβαιώθηκε η αντιμικροβιακή δράση της βανιλίνης, καθώς από τα Διαγράμματα 5 και 6 φαίνεται πως στα δείγματα, στις επικαλύψεις των οποίων είχε ενσωματωθεί βανιλίνη συγκεντρώσεων 0.3 ή 0.6% w/v, οι πληθυσμοί των μικροοργανισμών δεν κατάφεραν να ξεπεράσουν τους 2 log CFU/g, καθ' όλη τη διάρκεια της συντήρησης. Η παρατήρηση αυτή έρχεται σε συμφωνία τους [Rupasinghe et al. \(2006\)](#), οι οποίοι ανέφεραν πως 12mM βανιλίνης ήταν αποτελεσματικά στη μείωση του ολικού μικροβιακού φορτίου σε κομμένες φέτες

μήλων ποικιλίας «Empire» και «Crispin», πετυχαίνοντας μείωση της τάξεως του 37 και 66% αντίστοιχα, σε σχέση με τους μάρτυρες, ύστερα από συντήρηση στους 4° C για 19 ημέρες. Επιπλέον, οι [Rojas-Grau et al. \(2007\)](#) ανέφεραν πως η προσθήκη βανιλίνης συγκεντρώσεων 0.3 και 0.6% w/v σε επικαλύψεις αλγινικού με πουρέ μήλου σε φρεσκοκομμένες φέτες μήλων 'Fuji', παρουσίαζε ανασταλτική δράση τόσο στην ανάπτυξη των βακτηρίων όσο και των μυκήτων. Τέλος, φαίνεται πως η συγκέντρωση βανιλίνης 0.6% w/v παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα στην παρεμπόδιση της ανάπτυξης των μικροοργανισμών σε σύγκριση με τη 0.3%, ενώ η εφαρμογή διπλής επικάλυψης πηκτίνης – αλγινικού νατρίου δεν παρουσιάζει σημαντική διαφορά με τις αντίστοιχες επικαλύψεις μονής στιβάδας, στα διαφορετικά είδη συσκευασίας.



Διάγραμμα 5: Μεταβολές της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας (OMX) σε δείγματα με επικάλυψη πηκτίνης (a), αλγινικού νατρίου (b) και διπλής επικάλυψης πηκτίνης – αλγινικού νατρίου (c), που έχουν συσκευαστεί σε παθητική συσκευασία αέρα.

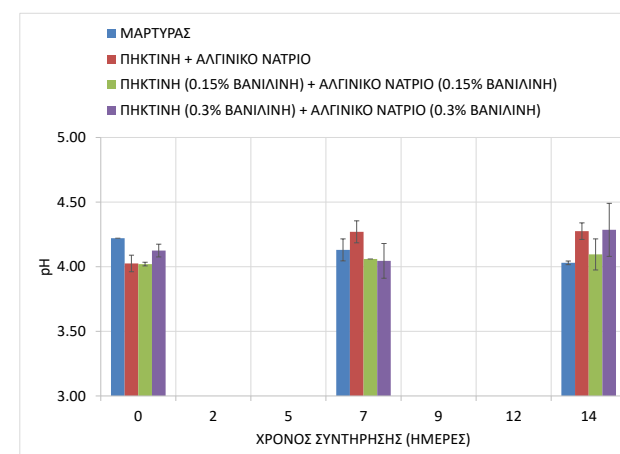
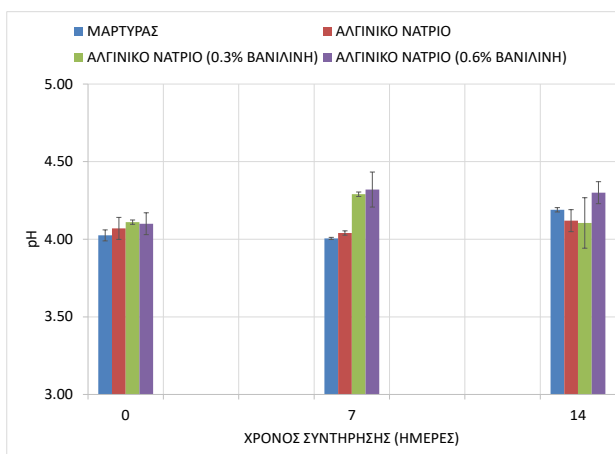
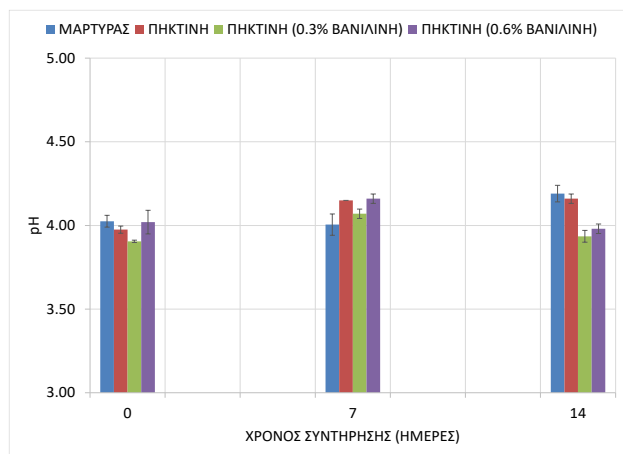


Διάγραμμα 6: Οι μεταβολές της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας (OMX) σε δείγματα με επικάλυψη πηκτίνης (a), αλγινικού νατρίου (b) και διπλής επικάλυψη πηκτίνης – αλγινικού νατρίου (c), που έχουν συσκευαστεί σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα αζώτου.

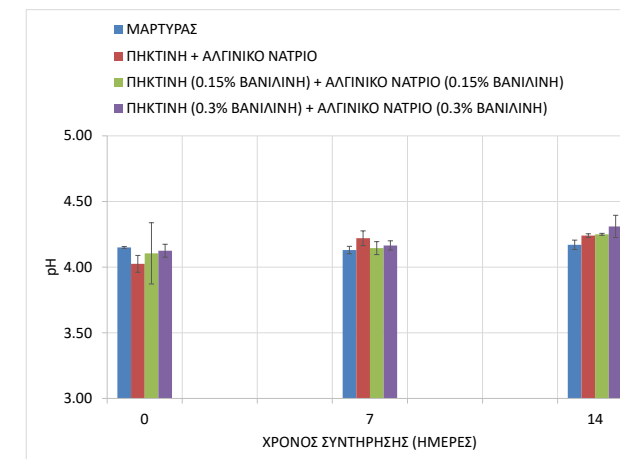
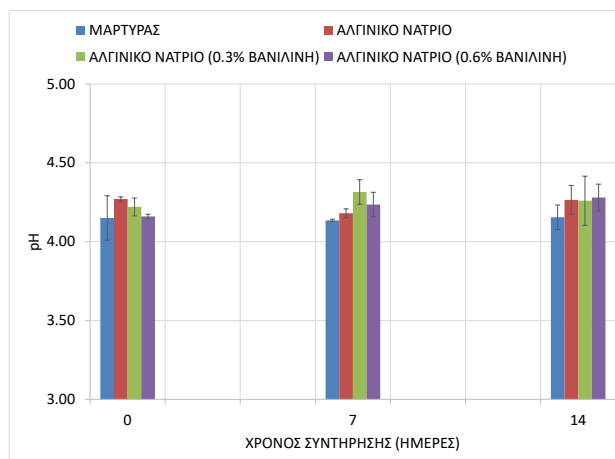
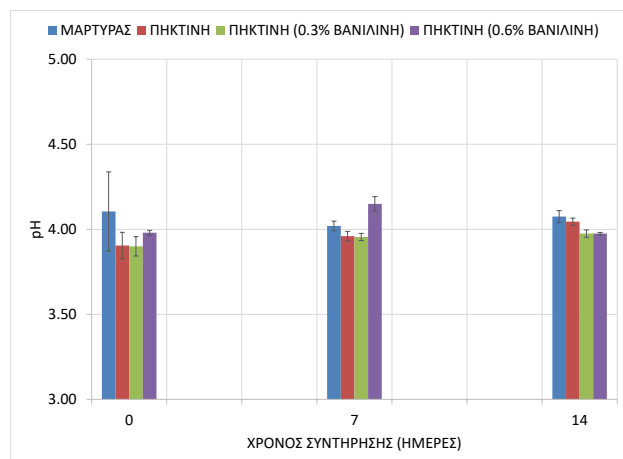
2.3 pH

Η επίδραση των διαφορετικών εδώδιμων επικαλύψεων στο pH των φρεσκοκομμένων φετών μήλου σε σύγκριση με τους μάρτυρες, σε παθητική συσκευασία αέρα και συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας, παρουσιάζεται στα Διαγράμματα 7 και 8. Αρχικά, από τα αποτελέσματα δεν παρατηρείται σημαντική μεταβολή του pH, ωστόσο οι αυξομειώσεις των τιμών είναι μεγαλύτερες στις περιπτώσεις των δειγμάτων που συσκευάστηκαν σε παθητική συσκευασία αέρα (Διάγραμμα 7). Φαίνεται, επίσης, πως κατά την εφαρμογή των διαφόρων επικαλύψεων, στην πλειοψηφία των δειγμάτων που είχαν συσκευαστεί είτε σε παθητική συσκευασία αέρα είτε σε MAP, παρουσιάστηκε μια μικρή τάση αύξησης του pH κατά τον χρόνο αποθήκευσης, η οποία σύμφωνα με τους [Mannozi et al. \(2017\)](#) πιθανότατα να οφείλεται στις μεταβολικές διεργασίες και αντιδράσεις που συνεχίζουν να μετατρέπουν το άμυλο και τα οξέα του φρούτου σε σάκχαρα. Από την άλλη πλευρά, ορισμένα δείγματα μαρτύρων παρουσιάζουν μια μικρή τάση μείωσης του pH η οποία σύμφωνα με τους [Tabassum & Khan \(2020\)](#) μπορεί να συσχετίζεται με την αύξηση του μικροβιακού φορτίου και την επακόλουθη παραγωγή οργανικών οξέων.

Ακόμη, στην περίπτωση της συσκευασίας MAP φάνηκε πως η μεταβολή στο pH των μαρτύρων ήταν <1% στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας, σε αντίθεση με τους μάρτυρες της παθητικής συσκευασίας αέρα, όπου η μέση μεταβολή ήταν της τάξεως του 4.2%. Επομένως, η διαθεσιμότητα οξυγόνου στο εσωτερικό της συσκευασίας επηρεάζει το pH των δειγμάτων, καθώς όπως φάνηκε και από τα διαγράμματα 3 και 4 ο ρυθμός ωρίμανσης είναι μεγαλύτερος παρουσία O₂. Τέλος, καλύτερα αποτελέσματα εμφάνισαν οι διπλές επικαλύψεις πηκτίνης – αλγινικού νατρίου, καθώς και στα δυο είδη συσκευασιών, τείνουν να διατηρήσουν το pH σε υψηλότερα επίπεδα από τους μάρτυρες.



Διάγραμμα 7: Οι μετρήσεις του pH για δείγματα που έχουν συσκευαστεί σε παθητική συσκευασία αέρα.



Διάγραμμα 8: Οι μετρήσεις του pH για δείγματα που έχουν συσκευαστεί σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα αζώτου.

2.4 Χρώμα

Το χρώμα αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους ποιότητας που αφορά τα φρεσκοκομμένα φρούτα και παίζει καθοριστικό ρόλο στις προτιμήσεις και την αποδοχή των καταναλωτών (Tabassum & Khan, 2020). Η αμαύρωση και η απώλεια χρώματος είναι τα πιο κοινά χαρακτηριστικά προβλήματα των ελαφρώς επεξεργασμένων καρπών, εξαιτίας της βλάβης που προκαλείται στους ιστούς από το ξεφλούδισμα και τον τεμαχισμό και η οποία μπορεί να προκαλέσει ενζυμικές και μη αντιδράσεις αμαύρωσης, προάγοντας την απώλεια του φυσικού χρώματος (Guerreiro et al, 2017). Η μεταβολή της γωνίας απόχρωσης (hue angle) κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, η οποία αντανακλά την αμαύρωση των ιστών, παρουσιάζεται στα διαγράμματα 9 και 10, για τα δύο διαφορετικά είδη συσκευασίας. Σύμφωνα με τον Greer (2005), η h° είναι ένας καλός δείκτης διακύμανσης του χρώματος κατά τη διάρκεια ζωής των φρούτων, καθώς περιέχει ενσωματωμένες τις δύο χρωματικές παραμέτρους, a^* και b^* (Chiabrando & Giacalone, 2016).

Από τα Διαγράμματα 9 και 10 γίνεται αντιληπτό πως οι τιμές της h° μειώνονται ταχύτερα στους θετικούς (controls) και αρνητικούς (μόνο επικαλύψεις) μάρτυρες σε σχέση με τα είδη των επικαλύψεων στα οποία είχε προστεθεί αντιμικροβιακό, και στα δύο είδη συσκευασίας κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Οι Rojas-Grau et al, (2007) ανέφεραν πως οι μικρότερες μεταβολές χρώματος που κατέγραψαν σε επικαλυμμένα δείγματα φετών μήλου μετά από 21 ημέρες συντήρησης στους 4° C, ήταν σε εκείνα στις επικαλύψεις των οποίων είχε προστεθεί βανιλίνη (0.3 και 0.6% w/v), χάρις την αντιοξειδωτική της δράση. Επιπλέον, από τα αποτελέσματα φαίνεται πως η τάση μείωσης της h° είναι μικρότερη στα δείγματα που είχαν συσκευαστεί σε MAP σε σχέση με εκείνα που συσκευάστηκαν σε παθητική ατμόσφαιρα αέρα. Η τάση αυτή παρατηρείται στις περιπτώσεις εφαρμογών επικαλύψεων αλγινικού νατρίου και πηκτίνης, όχι όμως και στον συνδυασμό τους. Οι Ramirez et al. (2014), οι οποίοι μελέτησαν την επίδραση διαφόρων εδώδιμων επικαλύψεων σε φρεσκοκομμένες φέτες νεκταρινιών, ανέφεραν πως οι συνθήκες αποθήκευσης (χαμηλές θερμοκρασίες & MAP) ήταν αρκετές στο να διατηρήσουν το χρώμα των επικαλυμμένων δειγμάτων και να καθυστερήσουν την διαδικασία της αμαύρωσης. Επιπλέον, παρατήρησαν πως οι διάφορες επικαλύψεις (χιτοζάνη, πηκτίνη και καζεϊνικό νάτριο) δεν επηρέαζαν σημαντικά τον δείκτη αμαύρωσης (BI) των δειγμάτων, γεγονός που επιβεβαιώνεται και

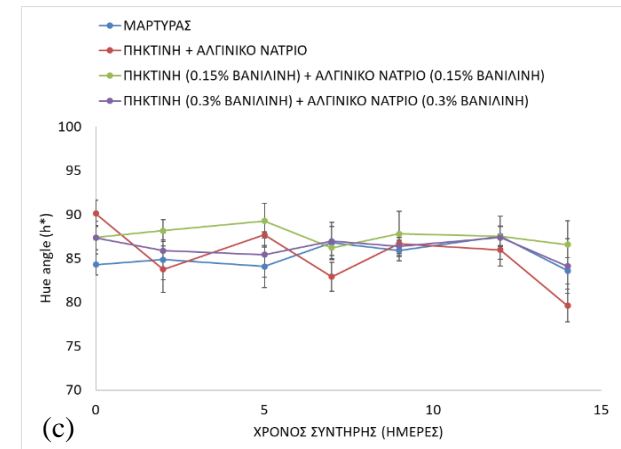
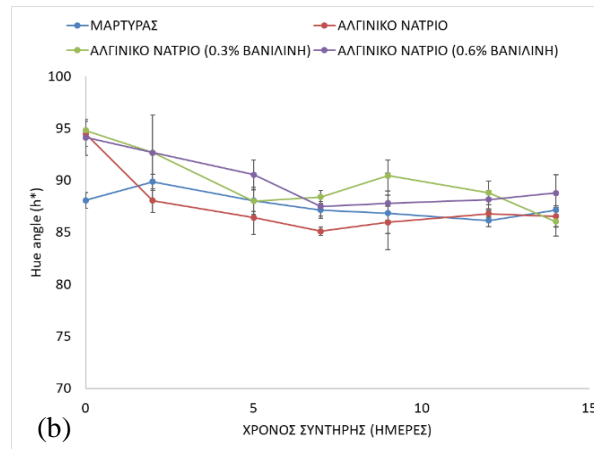
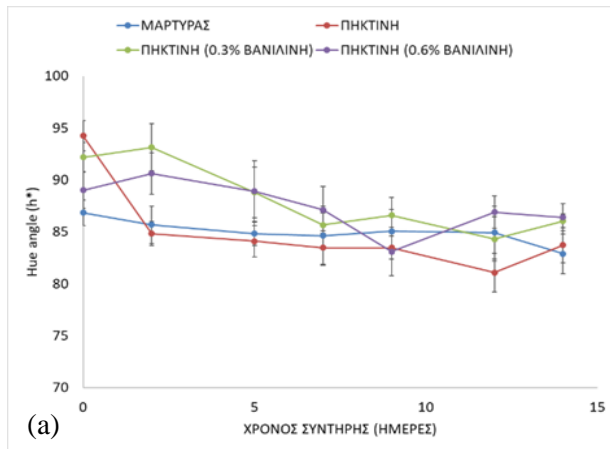
από τα παρόντα αποτελέσματα καθώς σε αρκετές περιπτώσεις (9b, 9c και 10a, 10b, 10c) η τιμή της h° την 14η ημέρα αποθήκευσης είναι μικρότερη στα εκάστοτε επικαλυμμένα δείγματα σε σύγκριση με τους αντίστοιχους μάρτυρες. Ακόμη, η ενσωμάτωση της βανιλίνης στα διάφορα είδη επικαλύψεων φαίνεται πως συμβάλει στη διατήρηση των τιμών της h° σε υψηλότερα επίπεδα, κυρίως την πρώτη βδομάδα του πειράματος, ενώ η συγκέντρωση 0.3% κ.ο. φαίνεται να έχει καλύτερα αποτελέσματα από την 0.6% κ.ο. σε αρκετές περιπτώσεις.

2.5 Οξύτητα

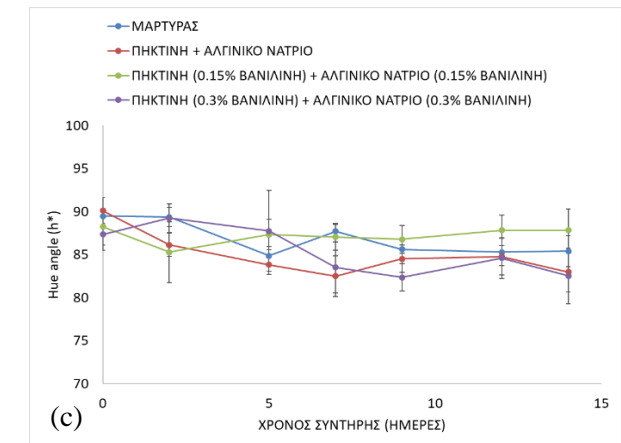
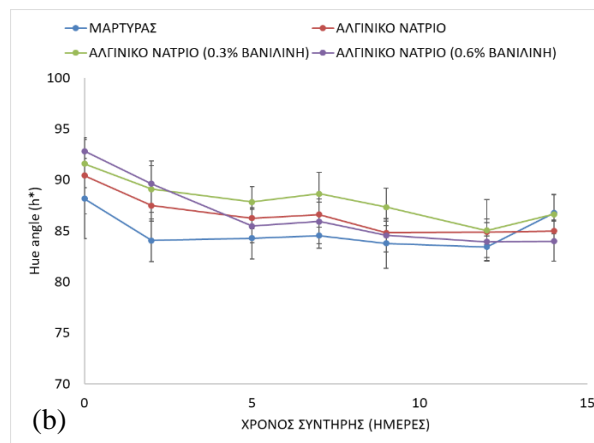
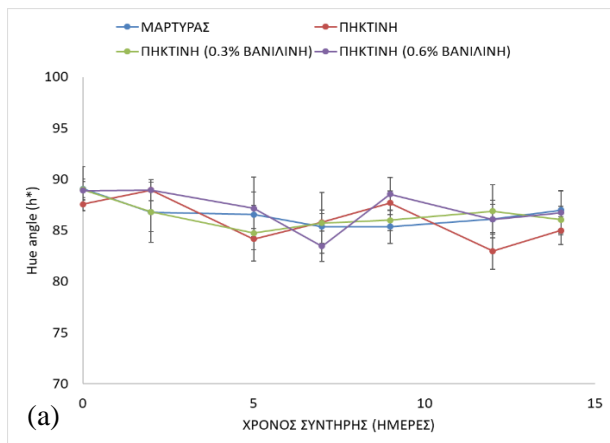
Τα οξέα των φρούτων έχουν τη γενικότερη τάση να μειώνονται κατά τη διάρκεια ωρίμανσης και αποθήκευσης του καρπού, με ταυτόχρονη αύξηση του περιεχομένου των σακχάρων. Το κυριότερο οργανικό οξύ των μήλων είναι το μηλικό, με βάση το οποίο γίνεται προσδιορισμός της τιτλοδοτούμενης οξύτητας. Στα Διαγράμματα 11 και 12 παρουσιάζονται οι μετρήσεις της οξύτητας, εκφρασμένες ως mg μηλικού οξέος/100 ml χυμού, των φετών μήλου στις οποίες είχαν εφαρμοστεί διαφορετικά είδη εδώδιμων επικαλύψεων και οι οποίες είχαν συσκευαστεί σε δύο διαφορετικά είδη συσκευασίας.

Καθώς, η διαδικασία ωρίμανσης συνεχίζει να λαμβάνει χώρα εντός των διαφορετικών συσκευασιών, όπως σημειώθηκε και από τα διαγράμματα 3 και 4, το μηλικό οξύ θα έπρεπε να μειώνεται, γεγονός που δεν παρατηρείται στα αποτελέσματα, αφού σε αρκετές περιπτώσεις η τιτλοδοτούμενη οξύτητα της 14ης ημέρας ξεπερνάει τη 0η. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε πιθανά σφάλματα της μεθόδου που αποδίδονται στον ανθρώπινο παράγοντα, καθώς και στη διαφορετική αρχική συγκέντρωση μηλικού οξέος που μπορεί να έχει το εκάστοτε μήλο.

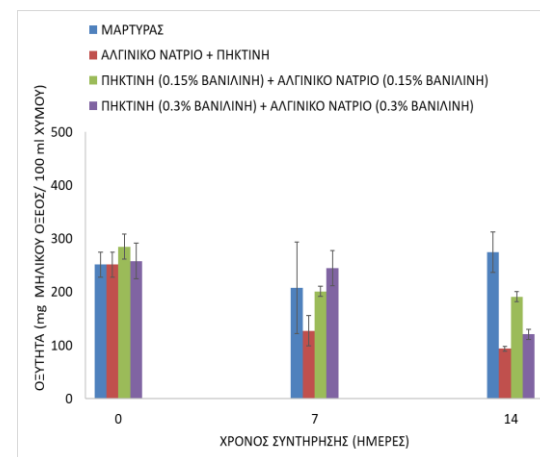
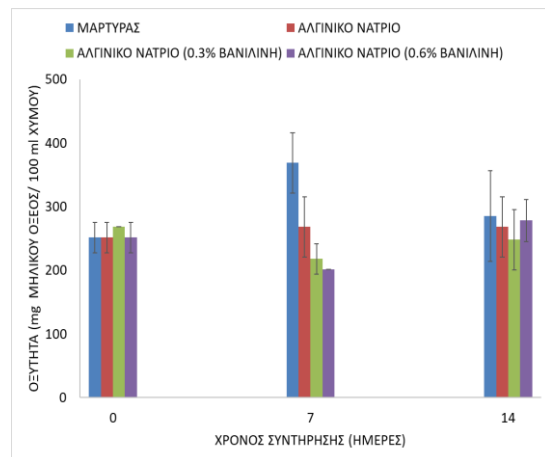
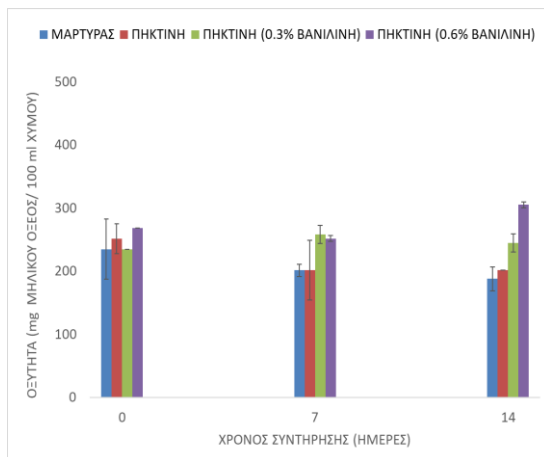
Καλύτερα αποτελέσματα φαίνεται να έχουν οι επικαλύψεις της πηκτίνης, με ή χωρίς ενσωματωμένη βανιλίνη και στα δύο είδη συσκευασιών, καθώς δεν παρατηρούνται μεγάλες διακυμάνσεις στα αντίστοιχα δείγματα μεταξύ των ημερών αποθήκευσης. Επιπλέον, την τελευταία μέρα της πειραματικής διαδικασίας τα επικαλυμμένα δείγματα παρουσιάζουν υψηλότερη οξύτητα σε σχέση με του αντίστοιχους μάρτυρες και στα δύο είδη συσκευασιών.



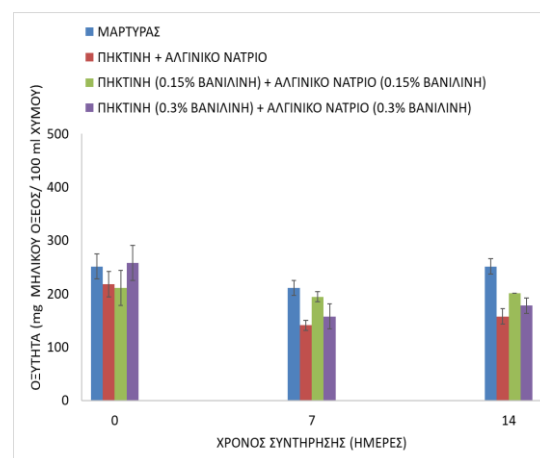
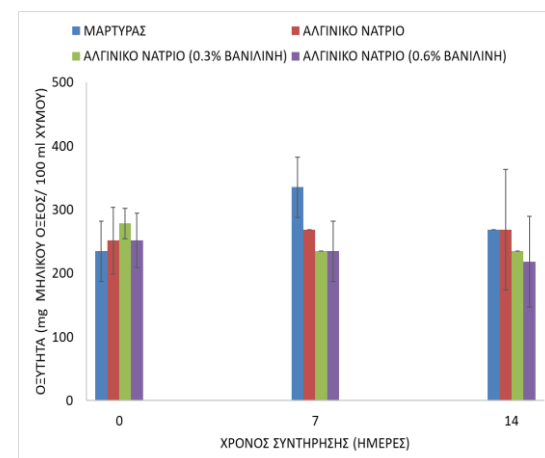
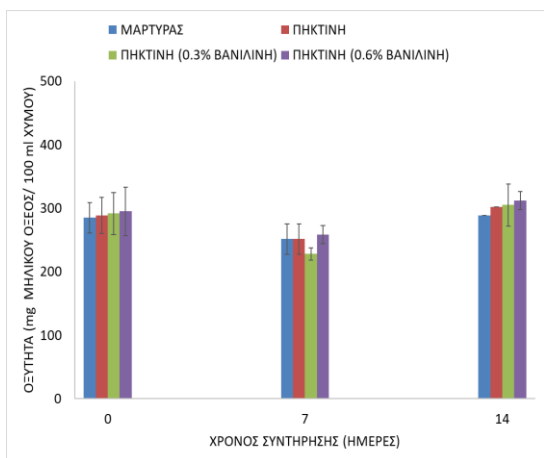
Διάγραμμα 9: Γωνία απόχρωσης (hue angle) για φέτες μήλων (με ή χωρίς επικάλυψη) που είχαν συσκευαστεί σε παθητική συσκευασία αέρα.



Διάγραμμα 10: Γωνία απόχρωσης (hue angle) για φέτες μήλων (με ή χωρίς επικάλυψη) που είχαν συσκευαστεί σε MAP.



Διάγραμμα 11: Μεταβολή της οξύτητας των φετών μήλου που συσκευάστηκαν σε παθητική συσκευασία αέρα, εκφρασμένη ως mg μηλικού οξέος/100 ml χυμού.



Διάγραμμα 12: Μεταβολή της οξύτητας των φετών μήλου που συσκευάστηκαν σε MAP, εκφρασμένη ως mg μηλικού οξέος/100 ml χυμού.

Από την άλλη πλευρά, στις περιπτώσεις εφαρμογής επικαλύψεων αλγινικού νατρίου και διπλής επικάλυψης πηκτίνης-αλγινικού η οξύτητα μειώνεται περισσότερο στα επικαλυμμένα δείγματα σε σχέση με τους μάρτυρες και στα δύο είδη συσκευασιών. Ακόμη, φαίνεται πως η τιμή της οξύτητας των μαρτύρων είναι υψηλότερη τη 14η ημέρα συντήρησης σε σύγκριση με τη μηδενική, γεγονός που δεν θα μπορούσε να αποδοθεί στη συνεισφορά των οργανικών οξέων που παράγουν οι μικροοργανισμοί. Οι [Olivas et al. \(2007\)](#) ανέφεραν πως δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στην οξύτητα των επικαλυμμένων (με χιτοζάνη ή αλγινικό) φετών μήλου σε σχέση με τους μάρτυρες μετά από 9 ημέρες αποθήκευσης στους 5° C.

2.6 Ολικά διαλυτά στερεά - TSS

Η διαδικασία ωρίμανσης των φρούτων με την πάροδο του χρόνου ή κατά τη διάρκεια αποθήκευσης σχετίζεται άμεσα με την αύξηση της συγκέντρωσης των ολικών στερεών, λόγω της διαλυτοποίησης των σύνθετων υδατανθράκων σε απλούστερες δομές σακχάρων ([Tabassum & Khan, 2020](#)). Στους Πίνακες 6 και 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ολικών διαλυτών στερεών (°Brix) των φετών μήλου που είχαν συσκευαστεί σε παθητική συσκευασία αέρα και συνθήκες τροποποιημένης ατμόσφαιρας αντίστοιχα, ύστερα από την εφαρμογή διαφόρων εδώδιμων επικαλύψεων. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα γίνεται αντιληπτό πως δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στα ολικά διαλυτά στερεά τόσο για τις διαφορετικές επικαλύψεις όσο και για τις διαφορετικές συσκευασίες που εφαρμόστηκαν. Οι [Olivas et al. \(2007\)](#) ανέφεραν πως δεν παρατήρησαν διαφορές στη συγκέντρωση των ολικών διαλυτών στερεών μεταξύ επικαλυμμένων φετών μήλου και μαρτύρων, ύστερα από αποθήκευση των δειγμάτων στους 5°C για 9 ημέρες. Επιπλέον, οι [Brasil et al. \(2012\)](#) δεν κατέγραψαν σημαντικές μεταβολές στο περιεχόμενο των TSS σε φρεσκοκομμένες φέτες παπάγιας, στις οποίες είχαν εφαρμοστεί εδώδιμες επικαλύψεις με βάση τους πολυσακχαρίτες, ύστερα από αποθήκευση στους 4° C για 15 ημέρες σε παθητική συσκευασία αέρα.

Ωστόσο, φαίνεται πως τα δείγματα (μάρτυρες και επικαλυμμένα) που αποθηκεύτηκαν σε παθητική συσκευασία αέρα παρουσίασαν μια μικρή αύξηση στη συγκέντρωση των ολικών διαλυτών στερεών, μεταξύ 0ης και 14ης ημέρας των

πειραμάτων. Η τάση αυτή δεν παρατηρείται αντίστοιχα στα δείγματα της MAP, ίσως διότι η τροποποίηση της εσωτερικής ατμόσφαιρας καθυστερεί τη διαδικασία ωρίμανσης. Τέλος, παρατηρείται ότι η συγκέντρωση των TSS στους μάρτυρες κυμαίνεται μεταξύ 14 – 23.5°B τη 0η ημέρα των πειραμάτων, πράγμα που σημαίνει ότι το περιεχόμενο των TSS διαφέρει μεταξύ των καρπών της πρώτης ύλης, παρόλο που σε κάθε περίπτωση η πρώτη ύλη ήταν παρόμοιου βαθμού ωριμότητας.

Πίνακας 6: Μετρήσεις ολικών διαλυτών στερεών (°Brix) και τυπικές αποκλίσεις για φρέτες μήλων (με ή χωρίς επικάλυψη) που έχουν συσκευαστεί σε παθητική συσκευασία αέρα.

ΗΜΕΡΑ	ΟΛΙΚΑ ΔΙΑΛΥΤΑ ΣΤΕΡΕΑ (°Brix)			
	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	ΠΗΚΤΙΝΗ	ΠΗΚΤΙΝΗ + 0.3% ΒΑΝΙΛΙΝΗ	ΠΗΚΤΙΝΗ + 0.6% ΒΑΝΙΛΙΝΗ
0	16,00 ± 0,00	16,00 ± 2,83	16,00 ± 0,00	18,00 ± 0,00
7	20,00 ± 0,00	17,00 ± 1,41	20,00 ± 0,00	18,00 ± 0,00
14	20,00 ± 0,00	21,50 ± 0,71	20,00 ± 0,00	19,50 ± 0,71
	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	ΑΛΓΙΝΙΚΟ	ΑΛΓΙΝΙΚΟ + 0.3% ΒΑΝΙΛΙΝΗ	ΑΛΓΙΝΙΚΟ + 0.6% ΒΑΝΙΛΙΝΗ
	0	19,00 ± 1,41	18,00 ± 0,00	20,00 ± 0,00
7	20,00 ± 0,00	19,00 ± 0,00	19,00 ± 1,41	20,00 ± 0,00
14	18,00 ± 2,83	20,00 ± 1,41	20,00 ± 0,00	18,00 ± 2,83
	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	ΠΗΚΤΙΝΗ + ΑΛΓΙΝΙΚΟ ΝΑΤΡΙΟ	ΠΗΚΤΙΝΗ (0.15% ΒΑΝΙΛΙΝΗ) + ΑΛΓΙΝΙΚΟ ΝΑΤΡΙΟ (0.15% ΒΑΝΙΛΙΝΗ)	ΠΗΚΤΙΝΗ (0.3% ΒΑΝΙΛΙΝΗ) + ΑΛΓΙΝΙΚΟ ΝΑΤΡΙΟ (0.3% ΒΑΝΙΛΙΝΗ)
			0	18,00 ± 0,00
7	21,50 ± 2,12	17,50 ± 0,71	21,50 ± 2,12	16,50 ± 0,71
14	21,00 ± 0,00	18,50 ± 0,71	18,00 ± 0,00	16,00 ± 0,00

Πίνακας 7: Μετρήσεις ολικών διαλυτών στερεών ($^{\circ}\text{Brix}$) και τυπικές αποκλίσεις για φέτες μήλων (με ή χωρίς επικάλυψη) που έχουν συσκευαστεί τροποποιημένη ατμόσφαιρα αζώτου.

ΗΜΕΡΑ	ΟΛΙΚΑ ΔΙΑΛΥΤΑ ΣΤΕΡΕΑ			
	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	ΠΗΚΤΙΝΗ	ΠΗΚΤΙΝΗ + 0.3% ΒΑΝΙΛΛΙΝΗ	ΠΗΚΤΙΝΗ + 0.6% ΒΑΝΙΛΛΙΝΗ
0	23,50 ± 0,71	19,50 ± 0,71	19,50 ± 0,71	20,00 ± 0,00
7	22,00 ± 2,83	19,50 ± 0,71	18,50 ± 0,71	18,00 ± 0,71
14	13,50 ± 2,12	20,50 ± 2,12	18,50 ± 0,71	16,00 ± 0,00
	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	ΑΛΓΙΝΙΚΟ	ΑΛΓΙΝΙΚΟ + 0.3% ΒΑΝΙΛΛΙΝΗ	ΑΛΓΙΝΙΚΟ + 0.6% ΒΑΝΙΛΛΙΝΗ
0	19,00 ± 1,41	18,00 ± 2,83	17,00 ± 1,41	18,00 ± 0,00
7	20,00 ± 0,00	17,00 ± 1,41	21,00 ± 1,41	19,00 ± 1,41
14	20,00 ± 0,00	20,00 ± 2,83	15,00 ± 4,24	20,00 ± 0,00
	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	ΠΗΚΤΙΝΗ + ΑΛΓΙΝΙΚΟ ΝΑΤΡΙΟ	ΠΗΚΤΙΝΗ (0.15% ΒΑΝΙΛΙΝΗ) + ΑΛΓΙΝΙΚΟ ΝΑΤΡΙΟ (0.15% ΒΑΝΙΛΙΝΗ)	ΠΗΚΤΙΝΗ (0.3% ΒΑΝΙΛΙΝΗ) + ΑΛΓΙΝΙΚΟ ΝΑΤΡΙΟ (0.3% ΒΑΝΙΛΙΝΗ)
0	14,00 ± 1,41	16,00 ± 2,83	17,50 ± 3,54	16,00 ± 1,41
7	19,50 ± 0,71	16,00 ± 2,83	19,50 ± 0,71	16,00 ± 0,00
14	16,50 ± 3,54	20,00 ± 0,00	17,00 ± 2,83	19,00 ± 1,41

2.7 Υγρασία

Η απώλεια βάρους που παρουσιάζουν τα φρούτα κατά τη διάρκεια αποθήκευσης, οφείλεται συνήθως στη μετανάστευση των μορίων νερού από το φρούτο στον περιβάλλον, εξαιτίας της διαφοράς στη τάση ατμών. Στα Διαγράμματα 13 και 14 παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή της υγρασίας σε δείγματα που είχαν αποθηκευτεί στους 4°C για 14 ημέρες, σε διαφορετικά είδη συσκευασίας. Αρχικά παρατηρείται πως υπάρχει μια μικρή πτωτική τάση στο ποσοστό της υγρασίας με την πάροδο των ημερών σε όλα σχεδόν τα δείγματα μαρτύρων. Η τάση αυτή φαίνεται να είναι μεγαλύτερη στους μάρτυρες που είχαν συσκευαστεί σε παθητική αερόβια

ατμόσφαιρα (1.3 - 2.1%) σε σχέση με εκείνους που συσκευάστηκαν σε MAP (0 - 1%), επομένως η σύσταση της περιβάλλουσας ατμόσφαιρας ενδέχεται να επηρεάζει την απώλεια ύδατος από τις φέτες των μήλων.

Όσον αφορά τα επικαλυμμένα δείγματα φαίνεται πως και στα δύο είδη συσκευασίας, τα διαφορετικά είδη εδώδιμων επικαλύψεων λειτουργούν ως αποτελεσματικοί φραγμοί στη μετανάστευση των υδρατμών, κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Η παρατήρηση αυτή έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των [Olivas et al. \(2007\)](#), οι οποίοι ανέφεραν πως οι επικαλύψεις αλγινικού συνέβαλαν στην παρεμπόδιση απώλειας υγρασίας σε φρεσκοκομμένες φέτες μήλου, ύστερα από αποθήκευση στους 5° C για 9 ημέρες. Ωστόσο, οι [Mannozi et al. \(2016\)](#) ανέφεραν πως η εφαρμογή διαφόρων ειδών επικαλύψεων (αλγινικό, πηκτίνη και συνδυασμός τους) σε μύρτιλα επηρέασε ελάχιστα την απώλεια υγρασίας σε σχέση με τους μάρτυρες, κατά τη συντήρηση τους στους 4° C για 14 ημέρες.

Ακόμη, από τα αποτελέσματα φαίνεται πως στην περίπτωση των διπλών επικαλύψεων, η παρουσία βανιλίνης (0.3 και 0.6% κ.ο.) επιδρά θετικά στη διατήρηση της υγρασίας και στα δύο είδη συσκευασίας. Αυτό παρατηρείται και στα δείγματα με επικαλύψεις αλγινικού νατρίου και πηκτίνης που είχαν συσκευαστεί σε παθητική αερόβια ατμόσφαιρα. Η αύξηση του ποσοστού της υγρασίας που παρατηρήθηκε στην περίπτωση των επικαλύψεων αλγινικού νατρίου σε MAP, πιθανόν να οφείλεται σε ανθρώπινο σφάλμα, καθώς το ποσοστό υγρασίας της 0ης ημέρας φαίνεται να είναι χαμηλότερο σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις. Τέλος, να σημειωθεί πως κανένα δείγμα (επικαλυμμένο ή μάρτυρας) δεν ξεπέρασε το μέγιστο αποδεκτό ποσοστό απώλειας υγρασίας (5%) ([Olivas et al, 2007](#)) σε κανένα από τα δύο είδη συσκευασίας.

2.7 Υφή

Η υφή είναι ένας σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την ποιότητα των φρούτων και επηρεάζει άμεσα την αποδοχή τους από το καταναλωτικό κοινό. Η υφή των καρπών καθορίζεται από τη σύνθεση του κυτταρικού τοιχώματος, την κυτταρική δομή και την περιεκτικότητα σε νερό. Επιπλέον, έχει βρεθεί ότι ο ρυθμός με τον οποίον μαλακώνουν οι ιστοί των μήλων εξαρτάται από την κατάσταση του ασβεστίου της σάρκας και την απώλεια νερού ([Olivas et al, 2007](#)). Στα Διαγράμματα 15 και 16

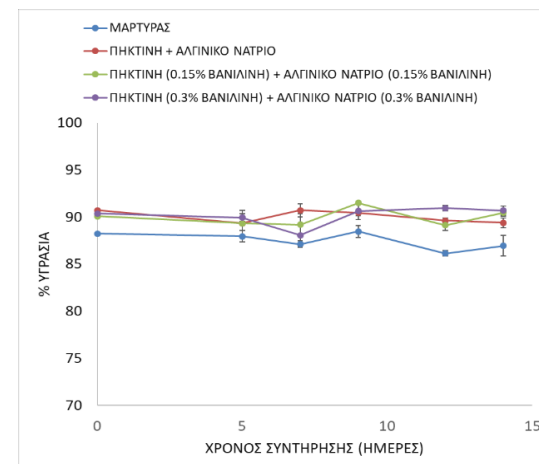
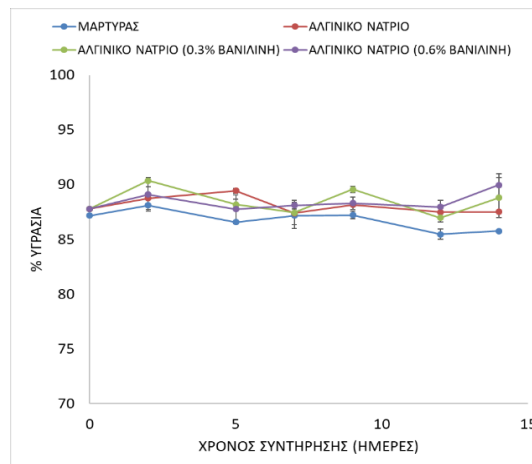
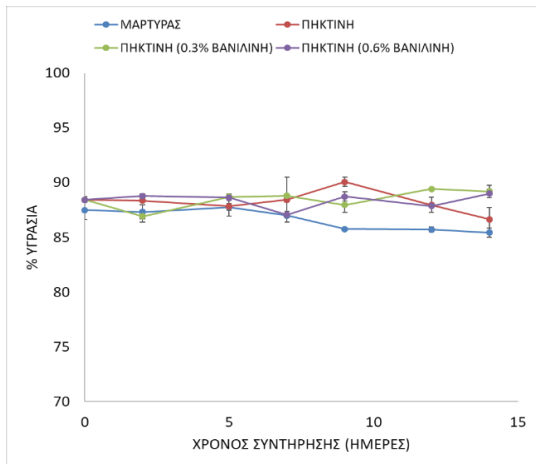
παρουσιάζονται οι τιμές της σκληρότητας (N) των φετών μήλου που είχαν συσκευαστεί σε παθητική συσκευασία αέρα και συνθήκες τροποποιημένης ατμόσφαιρας αντίστοιχα, ύστερα από την εφαρμογή και μη διαφόρων εδώδιμων επικαλύψεων. Η υφή μελετήθηκε μέσω της σκληρότητας, δηλαδή της μέγιστης δύναμης (N) που απαιτείται για τη διάτρηση της σάρκας των δειγμάτων.

Από τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι η σκληρότητα όλων των μαρτύρων, με εξαίρεση τα πειράματα στα οποία χρησιμοποιήθηκε ως επικάλυψη το αλγινικό νάτριο, μειώθηκε ύστερα από 14 ημέρες συντήρησης ανεξαρτήτου συσκευασίας. Η μείωση που σημειώθηκε κυμαινόταν από 7 – 49%. Από την άλλη πλευρά, στους μάρτυρες των διαγραμμάτων 15b και 16b παρατηρήθηκε μια τεράστια αύξηση στην τιμή της μέγιστης δύναμης την 14η ημέρα αποθήκευσης, η οποία πιθανότατα οφείλεται σε πειραματικό σφάλμα, καθώς φαίνεται πως την 7η ημέρα η σκληρότητα όλων σχεδόν των δειγμάτων ήταν μικρότερη της αρχικής.

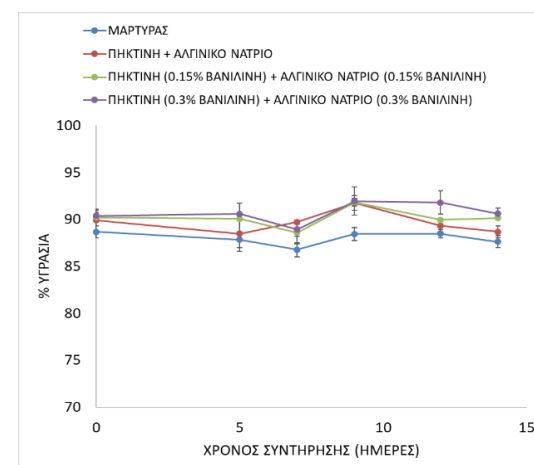
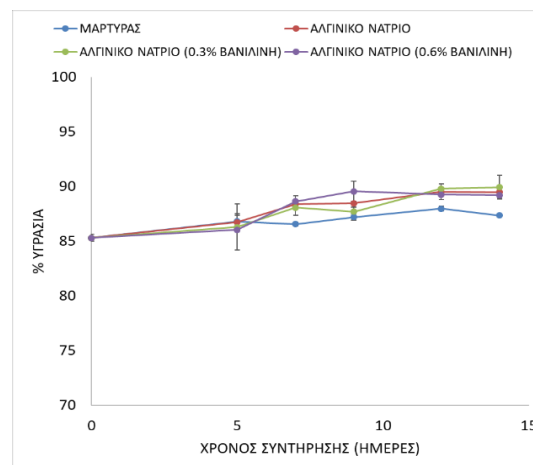
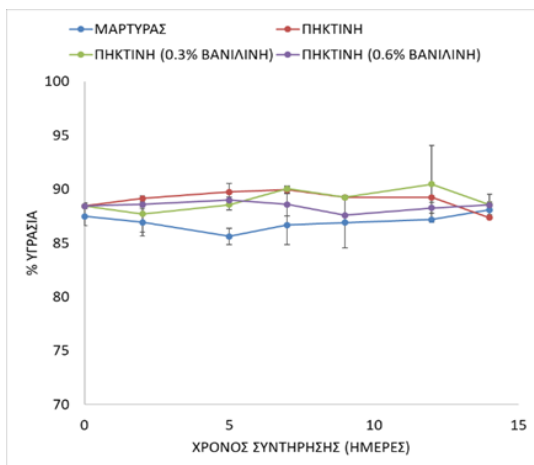
Στις περιπτώσεις εφαρμογών πηκτίνης, ανεξαρτήτου συσκευασίας, φαίνεται αρχικά πως η σκληρότητα των επικαλυμμένων δειγμάτων αυξήθηκε και στη συνέχεια μειώθηκε στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας. Παρόμοιο, φαινόμενο, παρατηρήθηκε σε ορισμένα δείγματα με διπλή επικάλυψη πηκτίνης-αλγινικού, γεγονός που συμφωνεί με τα αποτελέσματα των [Mannozi et al. \(2016\)](#), οι οποίοι παρατήρησαν μείωση στη σκληρότητα επικαλυμμένων (αλγινικό νάτριο, πηκτίνη, συνδυασμός των προηγούμενων) μύρτιλων, ύστερα από την 10η ημέρα συντήρησης. Ακόμη, τα δείγματα στα οποία είχαν εφαρμοστεί διπλές επικαλύψεις, εμφάνιζαν μεγαλύτερες τιμές δυνάμεων διάτρησης από τους αντίστοιχους μάρτυρες και στα δύο είδη συσκευασίας την τελευταία ημέρα της πειραματικής διαδικασίας. Οι [Olivas et al. \(2007\)](#) ανέφεραν πως οι επικαλύψεις με βάση το αλγινικό κατάφεραν να διατηρήσουν την υφή φρεσκοκομμένων φετών μήλου, χάρις την ικανότητά τους να λειτουργούν ως φραγμοί στη μετακίνηση των υδρατμών αλλά και λόγω του περιεχόμενου ασβεστίου στη σύστασή τους. Σύμφωνα με τους [Qi et al. \(2011\)](#) το χλωριούχο ασβέστιο είναι ένας γνωστός παράγοντας που συμβάλει στη διατήρηση της υφής των μήλων, καθώς ισχυροποιεί τα κυτταρικά τοιχώματα και αυξάνει την πλαστικότητα τους.

Τέλος, από τα αποτελέσματα φαίνεται πως οι επικαλύψεις πηκτίνης και πηκτίνης – αλγινικού με ενσωματωμένη βανιλίνη συνέβαλαν καλύτερα στη διατήρηση της υφής, καθώς την 14η ημέρα αποθήκευσης το ποσοστό μείωσης της σκληρότητας

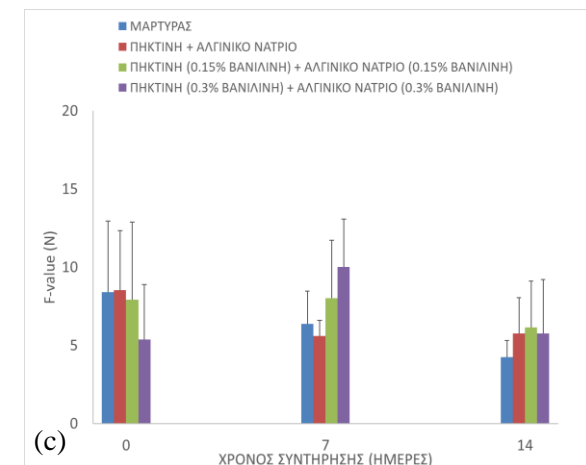
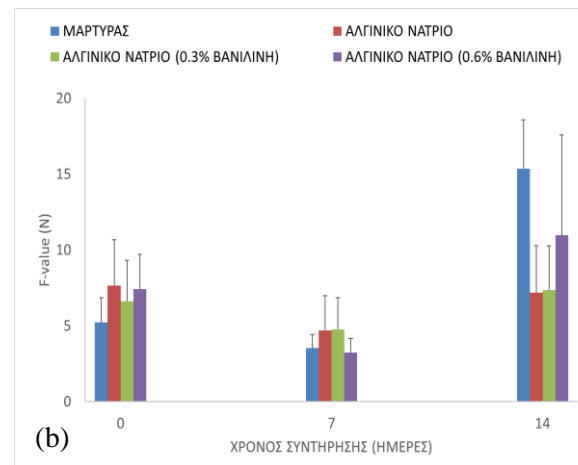
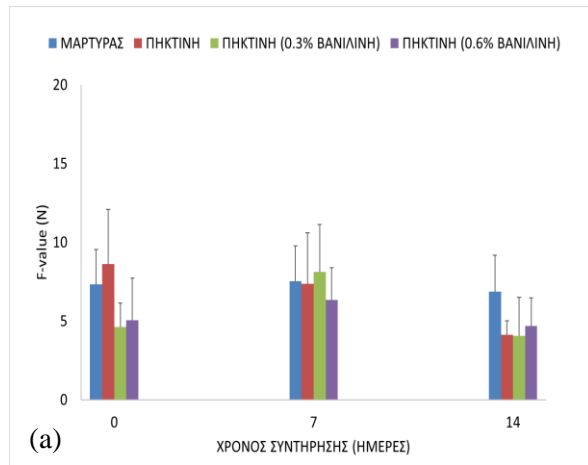
κυμαινόταν μεταξύ 0-23% έναντι των σκέτων επικαλύψεων που σημείωσαν μείωση της τάξεως του 33-52%, σε σχέση με τη 0η ημέρα και στα δύο είδη συσκευασίας. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε συμφωνία με τους [Rojas-Grau et al. \(2007\)](#), οι οποίοι ανέφεραν πως οι φέτες μήλου στις οποίες είχαν εφαρμοστεί επικαλύψεις με ενσωματωμένη βανιλίνη (0.3 & 0.6% κ.ο.) παρουσίαζαν καλύτερη υφή σε σχέση με εκείνες που περιείχαν αιθέρια έλαια, ύστερα από 21 ημέρες αποθήκευσης.



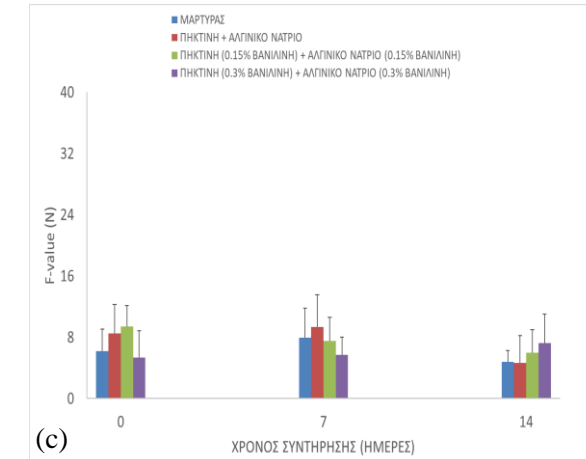
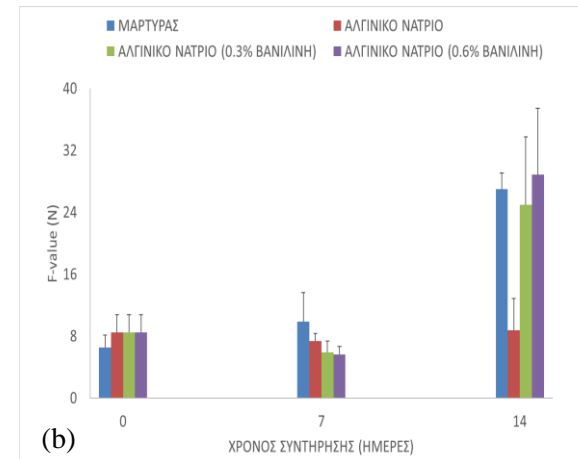
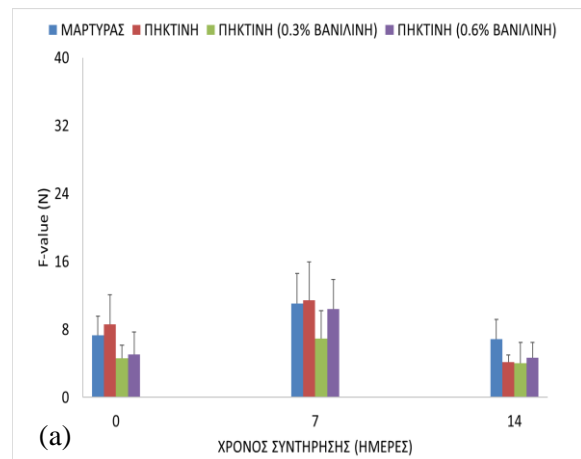
Διάγραμμα 13: Μεταβολή της % υγρασίας των φετών μήλου (επικαλυμμένων & μαρτύρων) κατά την αποθήκευση σε παθητική συσκευασία αέρα.



Διάγραμμα 14: Μεταβολή της % υγρασίας των φετών μήλου (επικαλυμμένων & μαρτύρων) κατά την αποθήκευση σε MAP.



Διάγραμμα 15: Μεταβολή της σκληρότητας των φετών μήλου (επικαλυμμένων & μαρτύρων) κατά την αποθήκευση σε παθητική συσκευασία αέρα.



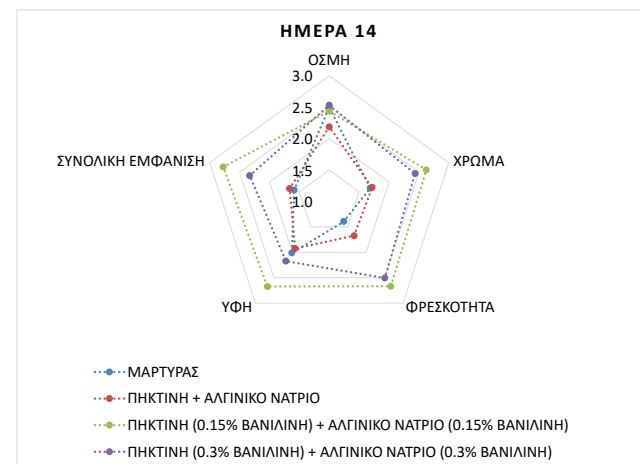
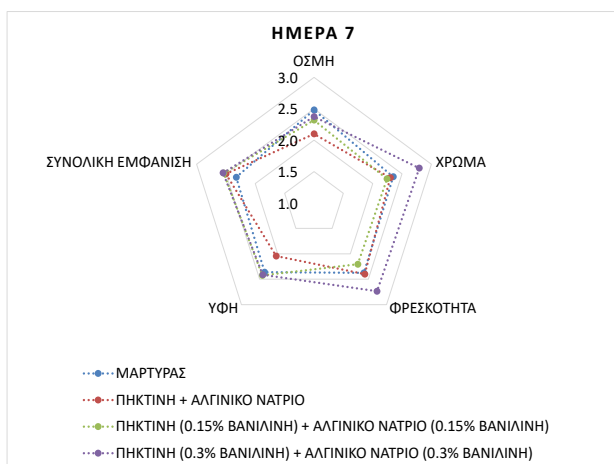
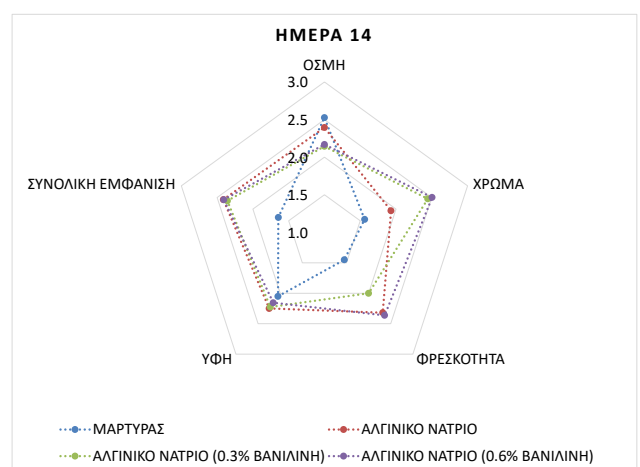
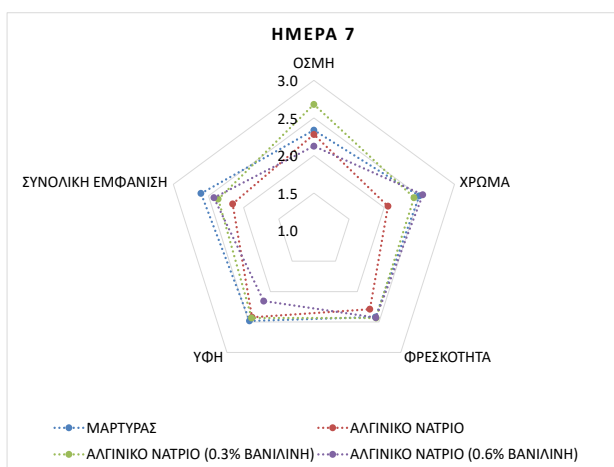
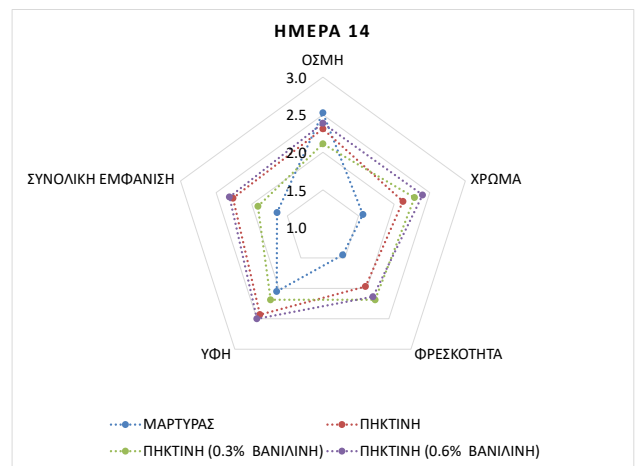
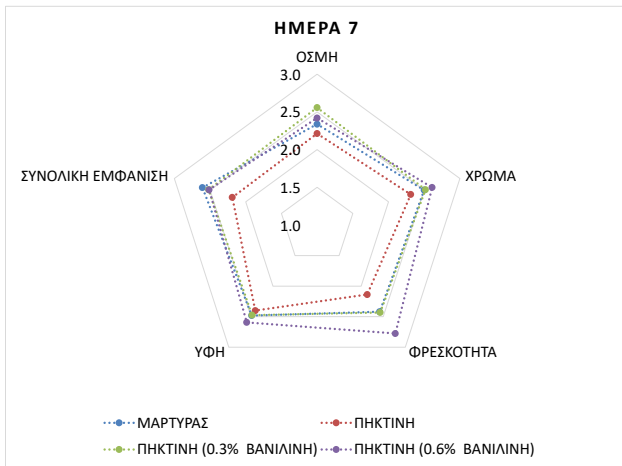
Διάγραμμα 16: Μεταβολή της σκληρότητας των φετών μήλου (επικαλυμμένων & μαρτύρων) κατά την αποθήκευση σε MAP.

2.8 Οργανοληπτικός έλεγχος

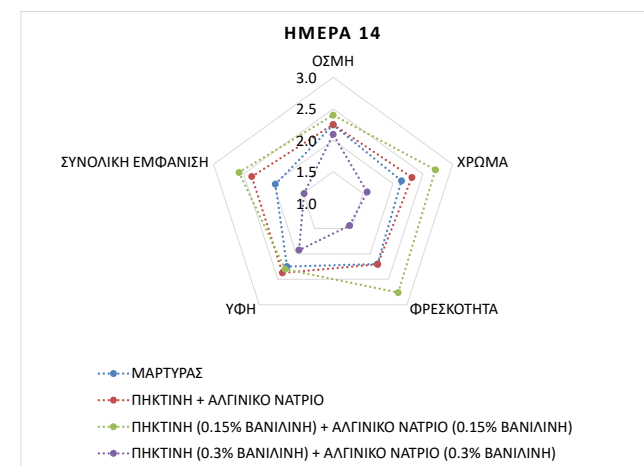
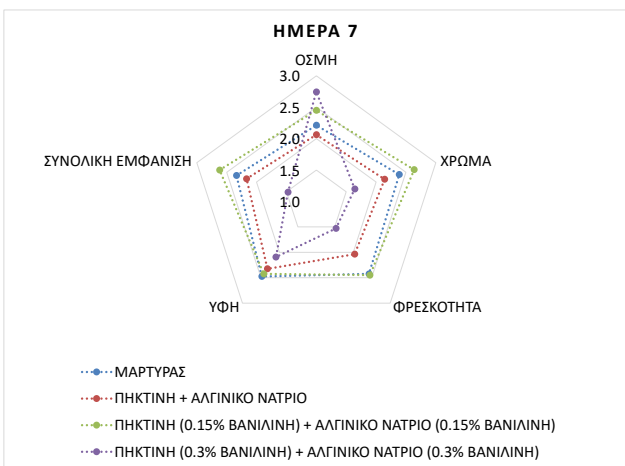
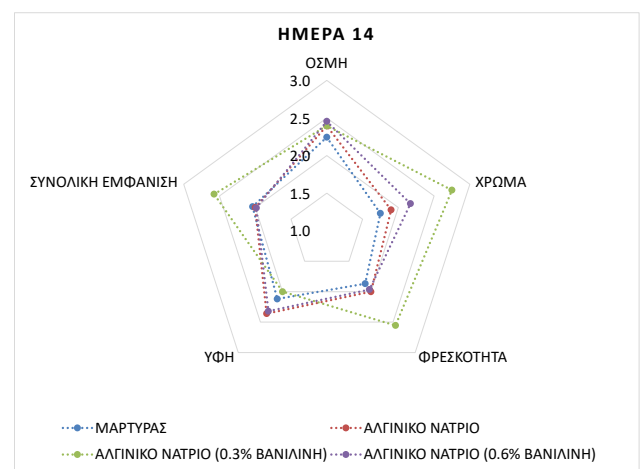
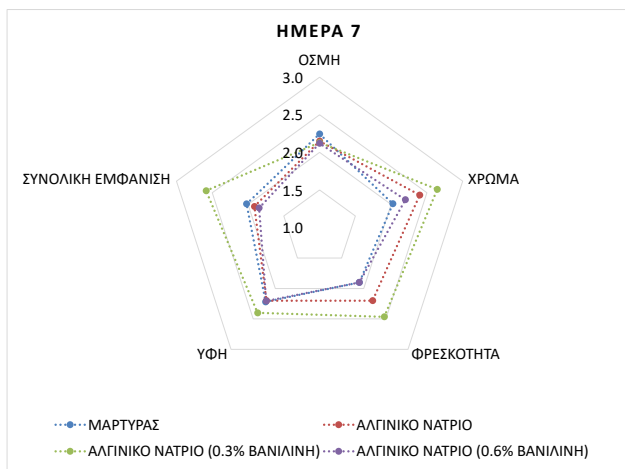
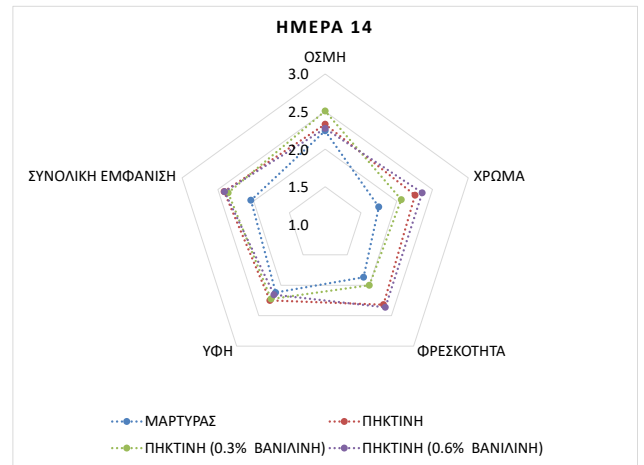
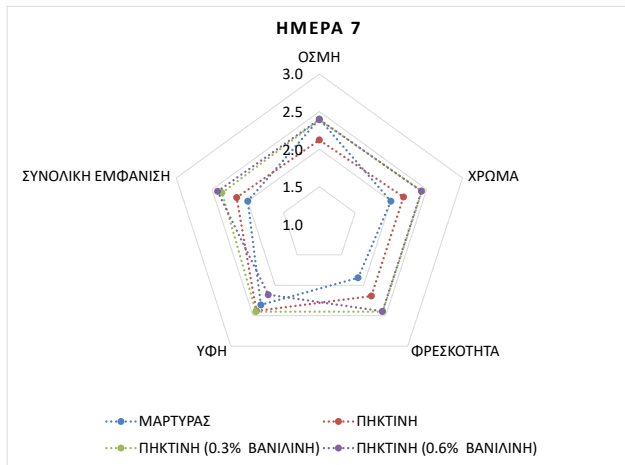
Η επιλογή εδώδιμων επικαλύψεων και η χρήση τους στα τρόφιμα βασίζεται αρκετά στη γεύση και την οσμή που μπορεί να προσδώσουν στο τελικό προϊόν. Ωστόσο, η ενσωμάτωση φυσικών αντιμικροβιακών συστατικών, που χαρακτηρίζονται από έντονη γεύση και οσμή, σε βρώσιμες επικαλύψεις θα μπορούσε να μεταβάλει τα αρχικά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου. Στην παρούσα μελέτη αξιολογήθηκαν η οσμή, το χρώμα, η υφή, η φρεσκότητα και η συνολική εμφάνιση των δειγμάτων, την 7η και 14η ημέρα αποθήκευσης.

Πιο συγκεκριμένα, στο Διάγραμμα 17 παρουσιάζεται η αξιολόγηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών έτοιμων προς κατανάλωση μήλων, με διάφορα είδη επικαλύψεων, που είχαν συσκευαστεί σε παθητική συσκευασία αέρα. Αρχικά, παρατηρήθηκε πως κανένα από τους μάρτυρες ή τα επικαλυμμένα δείγματα δεν κρίθηκε οργανοληπτικά απορριπτέο (βαθμολογία < 2) εξαιτίας της οσμής. Επιπλέον, η προσθήκη βανιλίνης φαίνεται να επηρεάζει θετικά το χαρακτηριστικό της οσμής, καθώς προσφέρει άρωμα βανίλιας, το οποίο ταιριάζει σε συνδυασμό με την πρώτη ύλη (μήλα). Οι [Rojas-Grau et al. \(2007\)](#), ανέφεραν πως οι επικαλυμμένες φέτες μήλου, με προσθήκη βανιλίνης (0.3% κ.ο.), είχαν μεγαλύτερη απήχηση στους δοκιμαστές σε σχέση με εκείνες όπου είχε προστεθεί αιθέριο έλαιο ρίγανης.

Όσον αφορά το χρώμα, φαίνεται πως οι επικαλύψεις με ενσωματωμένη τη βανιλίνη είχαν μεγαλύτερες βαθμολογίες σε σχέση με τους μάρτυρες και τις σκέτες επικαλύψεις τη 14η ημέρα της συντήρησης, λόγω καθυστέρησης της διαδικασίας της αμαύρωσης. Παράλληλα γίνεται αντιληπτό ότι την 7η ημέρα οι μάρτυρες διατηρούσαν το χρώμα τους καλύτερα από τα δείγματα με επικαλύψεις χωρίς αντιμικροβιακό. Η αμαύρωση είναι η πιο αισθητή αλλαγή που παρατηρείται σε κομμένα φρούτα κατά την παρατεταμένη αποθήκευση και είναι μία από τις μεγαλύτερες ανησυχίες στην επέκταση της διάρκειας ζωής των φρεσκοκομμένων καρπών. Η υφή των δειγμάτων φαίνεται πως υποβαθμίστηκε, επίσης, με την πάροδο των ημερών και κατέστησε ορισμένες φέτες μήλων οργανοληπτικά απορριπτέες, ενώ καλύτερα αποτελέσματα εμφάνισαν οι επικαλύψεις πηκτίνης (με και χωρίς βανιλίνη) στο τέλος των πειραμάτων.



Διάγραμμα 17: Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά φετών μήλου (επικαλυμμένων και μαρτύρων), που είχαν συσκευαστεί σε παθητική συσκευασία αέρα, την 7η και 14η ημέρα συντήρησης στους 4°C.

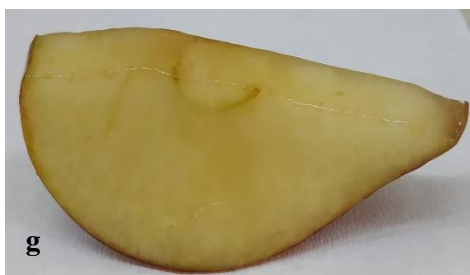
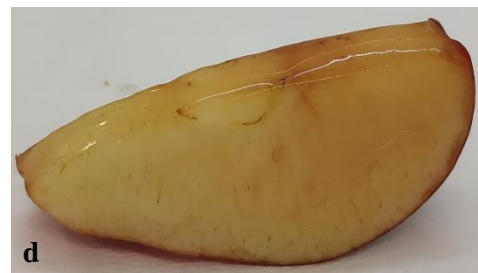
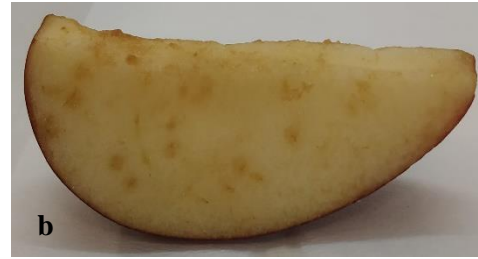


Διάγραμμα 18: Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά φετών μήλου (επικαλυμμένων και μαρτύρων), που είχαν συσκευαστεί σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα αζώτου, την 7η και 14η ημέρα συντήρησης στους 4°C.

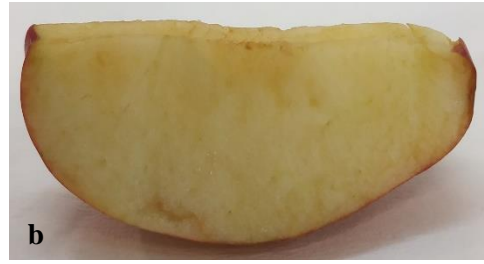
Οι εδώδιμες επικαλύψεις, ύστερα, επηρέασαν θετικά και την άποψη των αξιολογητών για τη φρεσκότητα των δειγμάτων, με τις καλύτερες βαθμολογίες να εντοπίζονται στις φέτες με επικαλύψεις αλγινικού και πηκτίνης-αλγινικού, πιθανότατα λόγω της λάμψης που προσφέρουν στο τελικό προϊόν. Τέλος, ως προς τη συνολική εμφάνιση, ενώ αρχικά (7η ημέρα) φάνηκε πως οι μάρτυρες είχαν αρκετά καλές αξιολογήσεις, οι βαθμολογίες τους μειώθηκαν σημαντικά (<2) την 14η ημέρα αποθήκευσης.

Περνώντας τώρα στα αποτελέσματα του Διαγράμματος 18, όπου αξιολογήθηκαν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά έτοιμων προς κατανάλωση μήλων, με διάφορα είδη επικαλύψεων, που είχαν συσκευαστεί σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα, φαίνεται πως τα επικαλυμμένα δείγματα με αλγινικό νάτριο και πηκτίνη-αλγινικό νάτριο συγκέντρωσαν τις μεγαλύτερες βαθμολογίες στην παράμετρο του χρώματος, σημειώνοντας σκορ μεγαλύτερο του 2.5 στις περιπτώσεις επικαλύψεων με ενσωματωμένη βανιλίνη 0.3% κ.ο.. Όσον αφορά το άρωμα οι βαθμολογίες των αξιολογητών κυμάνθηκαν από 2.1 - 2.5 σε όλα τα διαφορετικά είδη επικαλύψεων, με ή χωρίς βανιλίνη.

Η φρεσκότητα των δειγμάτων φάνηκε να μειώνεται με την πάροδο του χρόνου αποθήκευσης, ενώ παρατηρήθηκε πως τα διάφορα είδη επικαλύψεων με προσθήκη βανιλίνης 0.3% κ.ο. συγκέντρωσαν, σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, τις μεγαλύτερες βαθμολογίες. Όσον αφορά την υφή, το χαρακτηριστικό αυτό παρουσίασε καλύτερα αποτελέσματα στα δείγματα που είχαν συσκευαστεί σε MAP σε σύγκριση με την παθητική συσκευασία αέρα, με τις βαθμολογίες να κυμαίνονται από 1.9-2.4 τόσο την 7η όσο και την 14η ημέρα αξιολόγησης. Τέλος, καλύτερη συνολική εμφάνιση παρουσίασαν τα δείγματα με επικαλύψεις πηκτίνης και πηκτίνης-αλγινικού έναντι των επικαλύψεων του αλγινικού νατρίου, ενώ η προσθήκη βανιλίνης 0.3% κ.ο. φάνηκε να συγκεντρώνει τις μεγαλύτερες βαθμολογίες σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται τα δείγματα των φετών μήλου με ή χωρίς διπλές επικαλύψεις πηκτίνης-αλγινικού την 7η και 14η ημέρα αποθήκευσης, σε αερόβια παθητική ατμόσφαιρα και MAP.



Εικόνα 1: Δείγματα φετών μήλου (**a,b:** μάρτυρες, **c,d:** πηκτίνη-αλγινικό νάτριο, **e,f:** πηκτίνη-αλγινικό νάτριο + 0.3% βανιλίνη, **g,h:** πηκτίνη-αλγινικό νάτριο + 0.6% βανιλίνη) την 7η και 14η ημέρα αντίστοιχα, ύστερα από αποθήκευση σε παθητική συσκευασία αέρα.



Εικόνα 1: Δείγματα φετών μήλου (**a,b**: μάρτυρες, **c,d**: πηκτίνη-αλγινικό νάτριο, **e,f**: πηκτίνη-αλγινικό νάτριο + 0.3% βανιλίνη, **g,h**: πηκτίνη-αλγινικό νάτριο + 0.6% βανιλίνη) την 7η και 14η ημέρα αντίστοιχα, ύστερα από αποθήκευση σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα αζώτου.

Δ. Συμπεράσματα

Η σύγχρονη τάση των καταναλωτών για τη ζήτηση φρέσκων και υγιεινών προϊόντων έχει οδηγήσει τη βιομηχανία τροφίμων στην ανεύρεση εναλλακτικών και ήπιων μεθόδων επεξεργασίας, με στόχο την παροχή τροφίμων υψηλής διατροφικής αξίας. Η εφαρμογή εδώδιμων επικαλύψεων με βάση τους υδατάνθρακες αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη επιλογή δευτερογενούς συσκευασίας για ελαφρώς επεξεργασμένα φρούτα και λαχανικά. Τα δεδομένα αυτής της μελέτης φανερώνουν πως οι αντιμικροβιακές επικαλύψεις αλγινικού νατρίου, πηκτίνης και συνδυασμού τους δύναται να επεκτείνουν το χρόνο ζωής των φρεσκοκομμένων φετών μήλου, συγκριτικά με τα αμεταχείριστα δείγματα. Επιπλέον, η χρήση ενεργού αντιμικροβιακής συσκευασίας σε συνδυασμό με τη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας, θα μπορούσαν να συμβάλλουν στην παραγωγή έτοιμων προς κατανάλωση σνακ, παρέχοντας στο καταναλωτικό κοινό ασφαλή και υγιεινά προϊόντα.

Ωστόσο, χρειάζεται ακόμη πολλή προσπάθεια για τη μελέτη των διαφορετικών ιδιοτήτων και πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν τα διάφορα είδη των εδώδιμων επικαλύψεων, καθώς και η επιλογή του κατάλληλου αντιμικροβιακού, ανάλογα με την πρώτη ύλη, που θα συμβάλει όχι μόνο σε θέματα ασφάλειας αλλά θα είναι και οργανοληπτικά αποδεκτό από τον καταναλωτή. Μελλοντικές προεκτάσεις της μελέτης αυτής θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν την ενσωμάτωση παραγόντων (στις επικαλύψεις) με στόχο τη βελτίωση της υφής, καθώς και χημικές αναλύσεις των επικαλυμμένων και μη δειγμάτων για την μελέτη των πτητικών συστατικών που σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της συντήρησης.

E. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Artiga-Artigas, M., Acevedo-Fani, A., & Martín-Belloso, O. (2017). Improving the shelf life of low-fat cut cheese using nanoemulsion-based edible coatings containing oregano essential oil and mandarin fiber. *Food Control*, 76: 1–12
- Arnon-Rips, H. & Poverenova, E. (2018). Improving food products' quality and storability by using Layer by Layer edible coatings. *Trends in Food Science & Technology*, 75: 81–92
- Brownlee, I.A., Seal, C.J., Wilcox, M., Dettmar, P.W., Pearson, J.P. (2009). Applications of Alginates in Food. In Rehm, B.H.A. (Ed), *Alginates: Biology & Applications*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag
- Brasil, I.M., Gomes, C., Puerta-Gomez, A., Castell-Perez, M.E., Moreira, R.G., (2012). Polysaccharide-based multilayered antimicrobial edible coating enhances quality of fresh-cut papaya. *LWT - Food Science and Technology*, 47 (1), 39–45
- Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods: A review. *International Journal of Food Microbiology*, 94: 223–253
- Campos, C.A., Gerschenson, L.N., Flores, S.K. (2011). Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food and Bioprocess Technology*, 4: 849–875
- Chiabrando, V. & Giacalone, G. (2016). Effect of chitosan and sodium alginate edible coatings on the postharvest quality of fresh-cut nectarines during storage. *Fruits*, 71: 79-85
- Contreras, C.B., Charles, G., Toselli, R., Strumia, M.C. (2017). Antimicrobial Active Packaging. In Masuelli, M.A. (Ed), *Biopackaging*, pp. 36-58. CRC Press
- Cordeiro de Azeredo, H.M. (2012). Edible Coatings. In Rodrigues, S. & Fernandes, F.A.N. (Eds), *Advances in fruit processing technologies*. CRC Press

- Cunha, L.M. & Fonseca, S.C. (2016). Chilled Foods: Modified Atmosphere Packaging. In Caballero, B., Finglas, P.M. & Toldra, F. (Eds), *Encyclopedia of Food and Health*, pp. 19-22, Oxford: Academic Press
- Dehghani, S., Hosseini, S.V., Regenstein, J.M. (2018). Edible films and coatings in seafood preservation: A review. *Food Chemistry*, 240: 505-513
- DG AGRI: APPLES (2018). EUROPEAN COMMISSION, AGRICULTURAL AND RURAL DEVELOPMENT, Available: https://ec.europa.eu/agriculture/sites/agriculture/files/dashboards/apple-dashboard_en.pdf, Updated: 04.02.2019
- Dhall, R.K. (2013). Advances in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53: 435–450
- Diblan, S. & Kaya, S. (2018). Antimicrobial use in active packaging films. *Food and Health*, 4(1): 63-79
- EC Regulation No 1935/2004. Materials and articles intended to come into contact with food and repealing Directives 80/590/EEC and 89/109/EEC. 27 October 2004
- EC Regulation No 450/2009. Active and intelligent materials and articles intended to come into contact with food. 29 May 2009
- Eurostat (2016). European Statistics Database-Agriculture. Available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/agriculture/overview>
- FDA (2006). Food additives permitted for direct addition to food for human consumption 21CFR172, subpart C. Coatings, films and related substances.
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) (2016). Statistical Database-Agriculture. Available at: <http://faostat.fao.org/faostat/collections?Subset=agriculture>

- Food Standards Agency (2002). Food additives legislation: guidance notes. Food Standards Agency, London
- Fruits (2002). In *Encyclopedia of Foods: A Guide to Healthy Nutrition*. San Diego, California: Academic Press
- Gonzalez-Aguilar, G.A., Valenzuela-Soto, E., Lizardi-Mendoza, J., Goycoolea, F., Martínez-Téllez, M.A., Villegas-Ochoa, M.A., Monroy-García, I.N., Ayala-Zavala, J.F. (2009). Effect of chitosan coating in preventing deterioration and preserving the quality of fresh-cut papaya “Maradol”. *Journal of Food Science and Agriculture*, 89: 15–23
- Goswami, T.K., Mangaraj, S., (2011). Advances in polymeric materials for modified atmosphere packaging (MAP). In Lagarón, J.-M. (Ed.), *Multifunctional and Nanoreinforced Polymers for Food Packaging*, pp. 163–228, Cambridge, UK: Woodhead Publishing
- Greer, D.H. (2005). Non-destructive chlorophyll fluorescence and colour measurements of ‘Braeburn’ and ‘Royal Gala’ apple (*Malus domestica*) fruit development throughout the growing season. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 33: 413-421
- Guerreiro, A.C., Gago, C.M.L., Faleiro, M.L., Miguel, G.C., Antunes M.D.C. (2017). The effect of edible coatings on the nutritional quality of ‘Bravo de Esmolfe’ fresh-cut apple through shelf-life. *LWT - Food Science and Technology*. 75: 210-219
- Han, J.H. (2005). Antimicrobial packaging systems. In Han, J.H. (ed), *Innovations in Food Packaging*, pp.80-107. Holland: Elsevier Science & Technology Books
- Han, J.H., & Aristippos, G. (2005). Edible films and coatings: a review. In Han, J.H. (ed), *Innovations in Food Packaging*, pp.239–262. Holland: Elsevier Science & Technology Books

- Hassan, B., Chatha, S.A.S., Hussain, A.I., Zia, K.M., Akhtar, N. (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109: 1095-1107
- Hu, D. & Wang, L. (2016). Physical and antibacterial properties of polyvinyl alcohol films reinforced with quaternized cellulose. *Journal of Applied Polymer Science*, 133: 1–8
- IFPA, International Fresh-cut Produce Association (2003). <http://www.fresh-cuts.org/fcf.html>
- Jiang, Z., Neetoo, H. & Chen, H. (2011a). Efficacy of freezing, frozen storage and edible antimicrobial coatings used in combination for control of *Listeria monocytogenes* on roasted turkey stored at chiller temperatures. *Food Microbiology*, 28: 1394–1401
- Jiang, Z., Neetoo, H. & Chen, H. (2011b). Control of *Listeria monocytogenes* on cold-smoked salmon using chitosan-based antimicrobial coatings and films. *Journal of Food Science*, 76(1): M22–M26
- Kailasapathy, K. (2002). Microencapsulation of probiotic bacteria: technology and potential applications. *Current Issues in Intestinal Microbiology*, 3: 39 – 48
- Kang, H.J., Jo, C., Kwon, J.H., Kim, J.H., Chung, H.J., Byun, M.W. (2007). Effect of a pectin-based edible coating containing green tea powder on the quality of irradiated pork patty. *Food Control*, 18: 430–435
- Kapetanakou, A.E., Manios, S.G., Skandamis, P.N. (2014). Application of edible coatings and films in foods. In Ioannis S. Boziaris (ed), *Novel Processing and Microbial Assessment Techniques*, pp. 237-274, CRC Press
- Kays, S.J. (1991). Metabolic processes in harvested products. In: *Postharvest Physiology of Perishable Plant Products*, pp. 75–142. New York: Van Nostrand Reinhold

- Kays, S.J. & Paull, R.E. (2004). Stress in harvested products. In *Postharvest Biology*. Exon Press, Athens, Ga, pp. 355 – 414
- Król, Z., Marycz, K., Kulig, D., Maredziak, M., Jarmoluk, A. (2017). Cytotoxicity, bactericidal, and antioxidant activity of sodium alginate hydrosols treated with direct electric current. *International Journal of Molecular Sciences*. 18, 678: 1-19
- Krzemiski, A., Marudova, M., Moffat, J., Noel, T.R., Parker, R., Welliner, N., et al. (2006). Deposition of pectin/poly-L-lysine multilayers with pectins of varying degrees of esterification. *Biomacromolecules*, 7: 498-506
- Mannozi, C., Cecchini, J.P., Tylewicz, U., Siroli, L., Patrignani, F., Lanciotti, R., Rocculi, P., Dalla Rosa, M., Romani, S. (2017). Study on the efficacy of edible coatings on quality of blueberry fruits 1 during shelf-life. *LWT - Food Science and Technology*. 8(B): 440-444
- Marudova, M., Lang, S., Brownsey, G. J., & Ring, S. G. (2005). Pectine chitosan multilayer formation. *Carbohydrate Research*, 340: 2144-2149
- McHugh, T. H., & Senesi, E. (2000). Apple wraps: a novel method to improve the quality and extend the shelf life of fresh-cut apples. *Journal of Food Science*, 65: 480-485
- Olivas, G.I. & Barbosa-Cánovas, G.V. (2005). Edible Coatings for Fresh-Cut Fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45: 657–670
- Olivas, G.I., Mattinson, D.S., Barbosa- Cánovas, G.V. (2007). Alginate coatings for preservation of minimally processed ‘Gala’ apples. *Postharvest Biology and Technology*, 45: 89–96
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., Martin-Belloso, O. (2008). Using polysaccharide-based edible coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon. *LWT Food Science and Technology*, 41: 1862 – 1870

- O'Rourke, D. (2003). World Production, Trade, Consumption and Economic Outlook for Apples. In Ferree, D.C. & Warrington, J.I. (Eds), *Apples: Botany, Production and Uses*. Wallingford, UK: CAB International.
- Pérez Espitia, P.J., Du, W.X., de Jesús Avena-Bustillos, R., de Fátima Ferreira Soares, N., McHugh, T.H. (2013). Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review. *Food Hydrocolloids*, 30: 1-10
- Ramirez, M.E., Timón, M.L., Petró, M.J., Andres, A.I. (2015). Effect of chitosan, pectin and sodium caseinate edible coatings on shelf life of fresh-cut *prunus persica* var. nectarine. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39: 2687-2697
- Regand, A., Goff, H.D. (2003). Structure and ice recrystallization in frozen stabilized ice cream model systems. *Food Hydrocolloids*, 17: 95 – 102
- Rojas-Graü, M.A., Raybaudi-Massilia, R.M., Soliva-Fortuny, R.C., Avena-Bustillos, R.J., McHugh, T.H., Martín-Belloso, O. (2007). Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. *Postharvest Biology & Technology*, 45 (2): 254–264.
- Rojas-Graü, M.A., Sobrino-Lopez, A., Tapia, M.S., Martin-Belloso, O. (2006). Browning inhibition in fresh-cut 'Fuji' apple slices by natural antibrowning agents. *Journal of Food Science*, 71: S59–S65
- Rojas-Graü, M.A., Soliva-Fortuny, R., Martin-Belloso, O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 20: 438-447
- Rojas-Graü, M.A., Tapia, M.S., Martin-Belloso, O. (2008). Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. *LWT Food Science and Technology*, 41: 139 – 147
- Rupasinghe, H.P., Boulter-Bitzer, J., Ahn, T., Odumeru, J. (2006). Vanillin inhibits pathogenic and spoilage microorganisms in vitro and aerobic microbial growth in fresh-cut apples. *Food Research International*, 39: 575–580

- Salunkhe, D.K. & Kadam, S.S. (1995). *Handbook of fruit science and technology. Production, Composition, Storage and Processing*. New York: Marcel Dekker inc.
- Sandhya, (2010). Modified atmosphere packaging of fresh produce: current status and future needs. *LWT-Food Science and Technology*, 43: 381–392
- Sanchís, E., González, S., Ghidelli, C., Sheth, C. C., Mateos, M., Palou, L., et al. (2016). Browning inhibition and microbial control in fresh-cut persimmon (*Diospyros kaki* Thunb. cv. RojoBrillante) by apple pectin-based edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*, 112: 186–193
- Tajeddin, B., Ahmadi, B., Sohrab, F., Chenarbon, H.A. (2018). Polymers for Modified Atmosphere Packaging Applications. In Grumezescu, A.M. & Holban, A.M. (Eds), *Food Packaging and Preservation*, pp. 457-499, Academic Press
- Tabassum, N. & Khan, M.A. (2020). Modified atmosphere packaging of fresh-cut papaya using alginate based edible coating: Quality evaluation and shelf life study. *Scientia Horticulturae*, 259: 1-9
- Tay, S.L. & Perera, C.O. (2004). Effect of 1-methylcyclopropene treatment and edible coatings on the quality of minimally processed lettuce. *Journal of Food Science* 69: 131 –135
- USDA (2003) Economic Research Service United States Department of Agriculture. <http://www.ers.usda.gov/publications/Agoutlook/AOTables/.Statisticalindicators>
- Vargas, M., Pastor, C., Chiralt, A., McClements, D.J., Gonzalez-Martinez, C. (2008). Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48: 496-511
- Wang, L.Z., Liu, L., Holmes, J., Kerry, J.F., Kerry, J.P. (2007). Assessment of film-forming potential and properties of protein and polysaccharide-based

biopolymer films. *International Journal of Food Science & Technology*, 42: 1128 – 1138

Watkins, C.B. (2003). Principles and Practices of Postharvest Handling and Stress. In Ferree, D.C. & Warrington, J.I. (Eds), *Apples: Botany, Production and Uses*. Wallingford, UK: CAB International

Willats, W.G.T., Knox, J.P., Mikkelsen, J.D. (2006). Pectin: new insights into an old polymer are starting to gel. *Trends in Food Science & Technology*, 17: 97-104

World Apple Market Report (2017). IndexBox AI Platform: Global Apple Market Overview. Available at: <https://app.indexbox.io/report?product=080810®ion=0>

World Apple Report (2013). World Apple & Pear Association. Available at: http://www.wapa-association.org/asp/page_1.asp?doc_id=446

Zeinab, V., Gallant, N.D., Alcantar, N.A., Toomey, R.G., (2019). Responsive coatings from naturally occurring pectin polysaccharides. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 176: 387-393

Zhao, Y. (2018). Edible Coatings for Extending Shelf-Life of Fresh Produce During Postharvest Storage. In: *Reference Module in Food Science*. Elsevier Inc

Βασιλακάκης, Μ. (2004). Γενική και Ειδική Δενδροκομία. Εκδόσεις: Γαργατάνη, Θεσσαλονίκη

Μπλούκας, Ι.Γ. (2004). Συσκευασία Τροφίμων, Εκδόσεις: Σταμούλη Α.Ε, Αθήνα

Παπαδάκης, Σ.Ε. (2010). Συσκευασία Τροφίμων, Εκδόσεις: Τζιόλα, Αθήνα