



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Επιστημών Τροφίμων
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη Ωρίμανσης Φράουλας

MSc Thesis

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/NAME OF STUDENT

Γεωργία Λαδίκια/Georgia Ladika

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

Βασιλεία Σινάνογλου/Vassilia Sinanoglou

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2023



Faculty of Food Sciences
Department of Food Science and Technology

Master of Science
**FOOD INNOVATION, QUALITY AND
SAFETY**

MSc THESIS

Strawberry Ripening Study

NAME OF STUDENT

Georgia Ladika

21019

ladikageorgia@gmail.com

SUPERVISOR

Vassilia Sinanoglou

AIGALEO 2023

Επιτροπή Αξιολόγησης Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας

Οι υπογράφωντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία (master thesis) με τίτλο 'Μελέτη Ωρίμανσης Φράουλας' που παρουσιάστηκε από τον ή την Λαδίκη Γεωργία, υποψηφίου για τον μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών στην ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

Ημερομηνία

α/α	Ονοματεπώνυμο	Βαθμίδα/Ιδιότητα	Ψηφιακή Υπογραφή
1.	Σινάνογλου Βασιλεία	Κοσμήτορα της Σχολής Επιστημών Τροφίμων, Καθηγήτρια/Επιβλέπουσα	
2.	Κοντελής Σπυρίδων	Επίκουρος Καθηγητής	
3.	Κρίτση Ευτυχία	Ακαδημαϊκός Υπότροφος	

Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright

Έχοντας πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικής ιδιοκτησίας, δηλώνω ότι είμαι αποκλειστική συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Δηλώνω, επίσης, ότι αναλαμβάνω όλες τις συνέπειες, όπως αυτές νομίμως ορίζονται, στην περίπτωση που διαπιστωθεί διαχρονικά ότι η εργασία μου αυτή ή τμήμα αυτής αποτελεί προϊόν λογοκλοπής.

Η δηλούσα,

Γεωργία Λαδίκια



Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την εισηγήτρια καθηγήτρια της διπλωματικής μου εργασίας και Κοσμήτορα της Σχολής Επιστημών Τροφίμων, Καθηγήτρια Σινάνογλου Βασιλεία, η οποία μου παρείχε πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας, αποτέλεσε πηγή έμπνευσης και μου έδωσε την ευκαιρία να εντυφώ σε μεγάλο εύρος τεχνικών και αναλύσεων.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Ομότιμο Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, Κάβουρα Διονύση, που με τις γνώσεις του μου έδωσε τη δυνατότητα να παραθέσω στην εργασία μου στατιστικά στοιχεία, καθώς επίσης και για τη διεξαγωγή της ανάλυσης εικόνας-υφής. Επίσης, δε θα μπορούσα να παραλείψω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου, για τη στήριξη σε διάφορα επίπεδα και τη βοήθεια που μου παρείχαν καθ' όλη τη πορεία της εργασίας μου προς την Ακαδημαϊκό Υπότροφο Κρίστη Ευτυχία, την Ακαδημαϊκή Υπότροφο Τσιάκα Θάλεια, τον Επιστημονικό Συνεργάτη, Χριστοδούλου Πάρη, τον Επίκουρο Καθηγητή, Κοντελέ Σπυρίδωνα, τον κύριο Μπρατάκο Σωτήριο, μέλος Εργαστηριακού Διδακτικού Προσωπικού, την Επίκουρη Καθηγήτρια, Στρατή Ειρήνη και τον πρόεδρο του τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων και Αναπληρωτή Καθηγητή, Ζουμπουλάκη Παναγιώτη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π, Γιαννακούρου Μαρία για την πολύτιμη βοήθεια στη χρήση του αναλυτή υφής, όπως και τους προπτυχιακούς φοιτητές του τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, Στεφανάκη Ιωάννα, Αουάντ Κωνσταντίνο και Μούκα Ελισσάβητ για την ιδιαίτερα χρήσιμη προσφορά τους κατά τη διεξαγωγή των πειραματικών διαδικασιών.

Ευχαριστώ όλους τους παραπάνω, καθέναν για ξεχωριστούς λόγους, που με βοήθησαν σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Η βοήθειά σας ήταν παραπάνω από πολύτιμη, σας ευχαριστώ πολύ.

Περίληψη

Η φράουλα αποτελεί ένα εξαιρετικά ευαλλοιώτο φρούτο με μικρή διάρκεια ζωής μετά την συγκομιδή, ενώ χαρακτηρίζεται και από μεγάλη μεταβλητότητα ως προς τα ποιοτικά της χαρακτηριστικά. Στη παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση της μετασυλλεκτικής ποιότητας καρπών φράουλας, κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης υπό ψύξη ($8\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, RH $60\pm 2\%$) για 11 ημέρες. Τα δείγματα που αξιολογήθηκαν ήταν της ποικιλίας φράουλας Marisol (*Fragaria* \times *ananassa Duchesne*), η οποία καλλιεργήθηκε σε συνθήκες υδροπονίας και οι καρποί συγκομίστηκαν κατά τους χειμερινούς μήνες. Η ποιοτική αξιολόγηση αφορούσε τα φυσικά χαρακτηριστικά (υφή, χρώμα, ενεργότητα ύδατος, υγρασία, περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά στερεά, οξύτητα), τη θρεπτική αξία (περιεκτικότητα σε ασκορβικό οξύ, αντιοξειδωτική ικανότητα) και τη χημική σύνθεση των καρπών. Χρησιμοποιήθηκε μία σειρά μεθόδων και αναλύσεων όπως φυσικοχημικές, φασματοφωτομετρικές, αναλύσεις υφής και εικόνας, και φασματοσκοπία υπερύθρου, ενώ τα αποτελέσματα αυτών αναλύθηκαν στατιστικά. Τα αποτελέσματα, έδειξαν να λαμβάνουν χώρα σημαντικές μεταβολές στην υφή της εξωτερικής επιφάνειας του καρπού και στο χρώμα κατά την 6^η και 8^η ημέρα αποθήκευσης. Επίσης, διαπιστώθηκε διαφορετική συμπεριφορά των παραμέτρων χρώματος μεταξύ της εξωτερικής και εσωτερικής επιφάνειας. Όσον αφορά τις υπόλοιπες φυσικοχημικές παραμέτρους, ενδιαφέρον παρουσίασε η μείωση της ογκομετρούμενης οξύτητας, όπως και της περιεκτικότητας σε ασκορβικό οξύ τις τελευταίες ημέρες της αποθήκευσης. Διαπιστώθηκε, επίσης, σημαντική παραγωγή σακχάρων κατά την εξέλιξη της αποθήκευσης. Επιπλέον, παρατηρήθηκε σημαντική τροποποίηση της υφής των καρπών η οποία συσχετίστηκε με την υδρόλυση πολυσακχαριτών. Ενδιαφέρουσα συσχέτιση παρουσίασαν επίσης, τα αποτελέσματα του φαινολικού περιεχομένου και της αντιοξειδωτικής και αντιριζικής δράσης, τα οποία παρουσίασαν κοινές διακυμάνσεις, και βάσει των οποίων έγινε σημαντικής ακρίβειας διάκριση των ημερών αποθήκευσης. Τέλος, πραγματοποιήθηκε συσχέτιση των

αποτελεσμάτων αποτίμησης των φασμάτων FTIR με το ολικό φαινολικό περιεχόμενο, την περιεχόμενη υγρασία, όπως και την περιεκτικότητα σακχάρων.

Abstract

Strawberries (*Fragaria* sp.) are exceptionally perishable fruit with a short shelf life after harvesting, while their quality characteristics are quite variable as well. The aim of the present study was to evaluate the post-harvest quality of strawberries kept under stable temperature and relative humidity conditions ($8\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, RH $60\pm 2\%$) for 11 days. The strawberry samples were of the cultivar Marisol (*Fragaria* \times *ananassa Duchesne*), which has been hydroponically cultivated and harvested during the winter season. The quality evaluation determined the physical characteristics (texture characteristics, water activity, humidity index, total soluble solids' content, titratable acidity), nutritional value (ascorbic acid content, antioxidant activity), as well as chemical composition of the fruits. An array of various methods and analyses (e.g. physicochemical and spectrophotometric methods of analysis, image analysis, Fourier-transform infrared spectroscopy), were carried out. The results have been presented and interpreted through statistical analysis. Results revealed statistically significant changes in the texture and color of the fruits' outer surface during the 6th and 8th day of storage. Additionally, the color of the outer surface evolved differently when compared to the color of the inner surface. During the final days of storage there has been a decrease in titratable acidity as well as a decrease in ascorbic acid content. A significant increase in sugar content was observed during storage, while at the same time the modification of the texture of the fruits that occurred, has been linked to the hydrolysis of polysaccharides. Total phenolic content and antioxidant activity have shown commonalities in fluctuation and their values led to a high classification accuracy of the storage days in discriminant analysis. Furthermore, there has been strong correlation between the results regarding the Fourier-transform infrared spectroscopy, total phenolic content, humidity index and sugar content.

Πίνακας περιεχομένων

Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright	iv
Ευχαριστίες.....	v
Περίληψη.....	vi
Abstract.....	vii
Πίνακας περιεχομένων	viii
Κατάλογος Εικόνων	x
Κατάλογος Πινάκων.....	x
Κατάλογος Σχημάτων.....	xi
1.Εισαγωγή.....	1
2.Θεωρητικό Μέρος	3
2.1 Φράουλα	3
2.1.1 Γενικές Πληροφορίες	3
2.1.2 Είδη	3
2.1.3 Προέλευση Σύγχρονης Φράουλας	5
2.1.4 Ποικιλίες.....	6
2.2 Σύσταση Φράουλας και διατροφική αξία	6
2.2.1 Φυτοχημικά Συστατικά	7
2.2.2 Μικροθρεπτικά Συστατικά.....	11
2.2.3 Μακροθρεπτικά Συστατικά.....	11
2.2.4 Άλλες ενώσεις	12
2.3 Καλλιέργεια	12
2.3.1 Υδροπονική Καλλιέργεια.....	13
2.3.2 Σύγκριση Υδροπονικής και Συμβατικής Καλλιέργειας	14
2.4 Διατηρησιμότητα- Διάρκεια Ζωής	16
2.4.1 Φυσιολογικές Λειτουργίες των φρούτων.....	17

2.4.2 Φύση καρπού.....	19
2.4.3 Μετασυλλεκτική Επεξεργασία και Μηχανικές Βλάβες.....	20
2.4.4 Μικροβιακή Αλλοίωση	21
2.5 Μελέτες Διατηρησιμότητας Φράουλας	22
3.Σκοπός	30
3. Υλικά και μέθοδοι	31
3.1 Δειγματοληψία.....	31
3.2 Λήψη φωτογραφίας για την Ανάλυση Υφής-Εικόνας.....	32
3.3 Μέτρηση Φυσικοχημικών Παραμέτρων.....	34
3.3.1 Ενεργότητα Ύδατος (aw).....	34
3.3.2 Προσδιορισμός υγρασίας	35
3.3.3 Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών (TSS)	35
3.3.4 Μέτρηση Χρώματος.....	36
3.3.5 Προσδιορισμός ογκομετρούμενης οξύτητας.....	37
3.3.6 Ογκομετρική μέθοδος προσδιορισμού του ασκορβικού οξέος.....	37
3.3.7 Εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών βρώσιμου ιστού φράουλας.....	38
3.4 Ανάλυση Υφής.....	38
3.5 Φασματοσκοπία Μετασηματισμού Fourier με Αποσβένουσα Ολική Ανάκλαση ...	41
3.6 Φασματοφωτομετρικές Μέθοδοι	42
3.6.1 Προσδιορισμός ολικών φαινολών με την μικρο-μέθοδο Folin-Ciocalteu	42
3.6.2 Εκτίμηση της ικανότητας δέσμευσης/ανάσχεσης της σταθερής ελεύθερης ρίζας ABTS●+ [2,2'-αζινο-δισ(3-αιθυλοβεζοθειαζολινο-6-σουλφονικό οξύ)]	43
3.6.3 Μέθοδος FRAP	44
3.7 Στατιστική Ανάλυση.....	45
4.Αποτελέσματα-Συζήτηση	47
4.1 Ανάλυση Εικόνας -Textural-image analysis.....	47
4.1.1 Ανάλυση υφής εικόνας εξωτερικής επιφάνειας καρπού	47
4.1.2 Εσωτερική επιφάνεια καρπού	54
4.2 Φυσικοχημικές παράμετροι της φράουλας κατά την αποθήκευση.....	56
4.2.1 Ενεργότητα Ύδατος- Υγρασία.....	57
4.2.2 Περιεκτικότητα σε Ολικά Διαλυτά Στερεά (TSS)	58
4.2.3 Ογκομετρούμενη Οξύτητα (TA).....	59
4.2.4 Περιεκτικότητα σε ασκορβικό οξύ	61
4.2.5 Προσδιορισμός παραμέτρων χρώματος.....	62
4.2.6 Ανάλυση Υφής.....	64

4.2.7 Συσχέτιση φυσικοχημικών παραμέτρων.....	65
4.3 Φασματοσκοπία Μετασχηματισμού Fourier με Αποσβένουσα Ολική Ανάκλαση ...	68
Μεθοδολογία αποτίμησης φασμάτων υπερύθρου.....	68
4.4 Φασματοφωτομετρικές Μέθοδοι.....	72
4.4.1 Προσδιορισμός ολικού φαινολικού περιεχομένου εκχυλισμάτων φράουλας με τη μέθοδο Folin-Ciocalteu	72
4.4.2 Προσδιορισμός αντιριζικής και αντιοξειδωτικής δράσης εκχυλισμάτων φράουλας.....	73
4.5 Ανάλυση διάκρισης με χρήση φυσικοχημικών παραμέτρων και χαρακτηριστικών ανάλυσης της υψής της εικόνας.....	74
5. Συμπεράσματα.....	78
6. Υποδείξεις για περαιτέρω έρευνα.....	80
7. Βιβλιογραφία.....	80
Παράρτημα	89

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Παραλαβή δειγμάτων.....	31
Εικόνα 2. Περιοχές ανάλυσης για τον υπολογισμό των παραμέτρων υψής κάθε δείγματος, μέσω Image Analysis	34
Εικόνα 3 Η συσκευή μέτρησης a_w που χρησιμοποιήθηκε.....	34
Εικόνα 4. Θερμοζυγός.....	35
Εικόνα 5. Διαθλασίμετρο χειρός.....	36
Εικόνα 6. Αναλυτής υψής TA.XT2i Stable Micro Systems.	39
Εικόνα 7. Κύλινδρος συμπίεσης.....	39
Εικόνα 8. Τυπικό γράφημα ανάλυσης υψής	40
Εικόνα 9. Φασματόμετρο ATR-FTIR	41
Εικόνα 10. Φωτογραφίες της εξωτερικής επιφάνειας των δειγμάτων κατά την διάρκεια 11 ημερών αποθήκευσης (ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11).	47
Εικόνα 11. Φωτογραφίες της εσωτερικής επιφάνειας των δειγμάτων κατά την διάρκεια 11 ημερών αποθήκευσης (ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11).	54
Εικόνα 12. Πίνακας συσχέτισης κατά ζεύγη (Pairwise correlation matrix) μεταξύ των φυσικοχημικών παραμέτρων της φράουλας, του ολικού φαινολικού περιεχομένου, της ανιριζικής και αντιοξειδωτικής δράσης και των χαρακτηριστικών L^* , a^* , b^* , κατά την αποθήκευση.	67
Εικόνα 13. Πίνακας συσχέτισης κατά ζεύγη (Pairwise correlation matrix) μεταξύ των παραμέτρων υψής από την ανάλυση εικόνας της εξωτερικής επιφάνειας των καρπών φράουλας, κατά την αποθήκευση.....	91

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Είδη <i>Fragaria</i> , πλοειδία και περιοχές κατανομής.....	4
Πίνακας 2. Πειράματα και μέθοδοι που σχετίζονται με τη διάρκεια ζωής της φράουλας μετά τη συγκομιδή, κατά την αποθήκευση	22
Πίνακας 3. Ημερομηνίες διεξαγωγής των πειραμάτων και ο τρόπος κωδικοποίησης των δειγμάτων	32
Πίνακας 4. Παράμετροι χρώματος της εξωτερικής επιφάνειας φράουλας που υπολογίστηκαν με ανάλυση των έγχρωμων εικόνων, τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11.....	48

Πίνακας 5. Παράμετροι χρώματος της εσωτερικής επιφάνειας φράουλας που υπολογίστηκαν με ανάλυση των έγχρωμων εικόνων, τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11.....	55
Πίνακας 6. Περιεκτικότητα σε υγρασία (%), ενεργότητα ύδατος και περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά στερεά (βαθμοί °Brix), της φράουλας τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11.....	57
Πίνακας 7. Ογκομετρούμενη οξύτητα σε κιτρικό οξύ και περιεκτικότητα σε ασκορβικό.....	60
Πίνακας 8. Παράμετροι χρώματος εξωτερικής επιφάνειας φράουλας, τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11 με χρήση χρωματομέτρου.....	62
Πίνακας 9. Παράμετροι χρώματος εσωτερικής επιφάνειας φράουλας, τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11 με χρήση χρωματομέτρου.....	63
Πίνακας 10. Παράμετροι υφής στη διάρκεια 11 ημερών αποθήκευσης φράουλας (ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11). 64	
Πίνακας 11. Εντάσεις ταινιών απορρόφησης των φασμάτων FTIR-ATR της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.....	70
Πίνακας 12. Αποτελέσματα Ολικού Φαινολικού Περιεχομένου (TPC), Αντιριζικής (ABTS) και Αντιοξειδωτικής δράσης (FRAP) δειγμάτων της φράουλας τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11	72

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. Μεταβολή των υπολογισμένων, από την ανάλυση εικόνας, χαρακτηριστικών (φωτεινότητα (L), παράμετρος a*, παράμετρος b*) της εξωτερικής επιφάνειας της φράουλας τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11.	49
Σχήμα 2. Μεταβολή των υπολογισμένων από την ανάλυση της υφής της εικόνας χαρακτηριστικών [mean, standard deviation, skewness, kurtosis, contrast, dissimilarity, energy, homogeneity, correlation, angular second moment (ASM), short run emphasis (SRE), long run emphasis (LRE), grey level non-uniformity (GLN), run length non-uniformity (RLN) and run percentage (RP)], της εξωτερικής επιφάνειας της φράουλας τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11.....	54
Σχήμα 3. Μεταβολή των υπολογισμένων από το image analysis χαρακτηριστικών (φωτεινότητα (L*), παράμετρος a*, παράμετρος b*) της εσωτερικής επιφάνειας της φράουλας τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11.	56
Σχήμα 4. Μεταβολή της υπολογιζόμενης ενεργότητας ύδατος και της υγρασίας των δειγμάτων φράουλας, τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11.	58
Σχήμα 5. Μεταβολή των υπολογιζόμενων ολικών διαλυτών στερεών της φράουλας, τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11.	59
Σχήμα 6. Μεταβολή της υπολογιζόμενης ογκομετρούμενης οξύτητας σε κιτρικό οξύ και της περιεκτικότητας σε ασκορβικό οξύ της φράουλας, ως εκατοστιαίες (% w/w) εκφράσεις, τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11.	61
Σχήμα 7. Μεταβολή του υπολογιζόμενου Ολικού Φαινολικού Περιεχομένου (TPC), της Αντιριζικής (ABTS) και Αντιοξειδωτικής δράσης (FRAP) των δειγμάτων της φράουλας τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11	74
Σχήμα 8. Διάγραμμα διασποράς που παρουσιάζει την διάκριση, βάσει της παραμέτρου χρώματος L* της εσωτερικής επιφάνειας της φράουλας και των τιμών της ανάλυσης FRAP, μεταξύ των δειγμάτων φράουλας από τις Ημέρες 1, 6 και 11	75
Σχήμα 9. Διάγραμμα διασποράς που παρουσιάζει την διάκριση, βάσει της παραμέτρου χρώματος L* της εξωτερικής επιφάνειας της φράουλας, της σκληρότητας, των βαθμών Brix και των τιμών της ανάλυσης FRAP, μεταξύ των δειγμάτων φράουλας από τις Ημέρες 4 και 6.	76
Σχήμα 10. Διάγραμμα διασποράς που παρουσιάζει την διάκριση, βάσει των παραμέτρων χρώματος L*, b* και h της εξωτερικής επιφάνειας της φράουλας, μεταξύ των δειγμάτων φράουλας από τις Ημέρες 6 και 8.	76
Σχήμα 11. Διάγραμμα διασποράς που παρουσιάζει την διάκριση, βάσει των παραμέτρων υφής Homogeneity, Gray Level Non-Uniformity και Run Length Non-Uniformity, που εξήχθησαν από το Image Analysis της εξωτερικής επιφάνειας, μεταξύ των δειγμάτων φράουλας από τις Ημέρες 1 και 8 της αποθήκευσης.	77
Σχήμα 12. Διαγράμματα διασποράς που παρουσιάζετε η διάκριση των ημερών αποθήκευσης, βάσει διαφόρων συνδυασμών φυσικοχημικών παραμέτρων της φράουλας, ολικού φαινολικού περιεχομένου και αντιριζικής και αντιοξειδωτικής δράσης.....	90

Σχήμα 13. Διαγράμματα διασποράς που παρουσιάζεται η διάκριση των ημερών αποθήκευσης, βάσει διαφόρων συνδυασμών παραμέτρων υφής της εξωτερικής επιφάνειας της φράουλας, που εξήχθησαν από την ανάλυση εικόνας.....	92
---	----

1.Εισαγωγή

Η φράουλα αποτελεί ένα φρούτο μεγάλου ενδιαφέροντος λόγω της διατροφικής του αξίας, της πολυπλοκότητας της καλλιέργειας, της μοναδικής γεύσης και αρώματος, της διάρκειας ζωής και της δημοτικότητάς του στους καταναλωτές. Η φράουλα είναι πλούσια πηγή βιταμινών, μετάλλων και αντιοξειδωτικών, γεγονός που την καθιστά ένα λειτουργικό τρόφιμο με πολλαπλές θετικές επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία. Επιπλέον, χαρακτηρίζεται από μεγάλη μεταβλητότητα στα ποιοτικά της χαρακτηριστικά. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που έχουν επίδραση σε αυτά, είναι η ποικιλία του φρούτου, οι καλλιεργητικές συνθήκες και πρακτικές, το στάδιο ωρίμανσης κατά το οποίο πραγματοποιείται η συγκομιδή, όπως και οι συνθήκες αποθήκευσης μετά τη συγκομιδή. Επίσης, όντας ένα εξαιρετικά ευαλλοίωτο φρούτο, η μετασυλλεκτική διάρκεια ζωής του είναι περιορισμένη και προκειμένου να διασφαλιστεί η ποιότητα του φρούτου, η ασφάλεια των καταναλωτών και η βιωσιμότητα (τόσο ως προς τη σπατάλη τροφίμων, όσο και προς τον οικονομικό αντίκτυπο των παραγωγών και προμηθευτών), απαιτείται κατανόηση των παραγόντων που συμβάλλουν στην αλλοίωση και την αποσύνθεση του καρπού.

Το αντικείμενο και οι στόχοι της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των μεταβολών που λαμβάνουν χώρα κατά την αποθήκευση, υπό ψύξη, καρπών φράουλας που συγκομίστηκαν στο στάδιο πλήρους ωρίμανσης, καθώς και η αξιολόγηση της μετασυλλεκτικής ποιότητας των καρπών. Για το σκοπό αυτό, μελετήθηκε η ποικιλία φράουλας Marisol (*Fragaria* × *ananassa Duchesne*), της οποίας η καλλιέργεια πραγματοποιήθηκε με συνθήκες υδροπονίας στην Ελλάδα, και οι καρποί συλλέχθηκαν κατά του φθινοπωρινούς μήνες. Η επιλογή αυτής της φθινοπωρινής ποικιλίας και των καλλιεργητικών πρακτικών υδροπονίας, παρουσιάζει μεγάλο οικονομικό και εμπορικό ενδιαφέρον, καθώς δίνεται η δυνατότητα παραγωγής φρέσκων καρπών φράουλας σε περιόδους που δεν είναι εφικτό με τη συμβατική καλλιέργεια.

Οι μεταβολές που διερευνήθηκαν στους καρπούς φράουλας σχετίζονται με την ποιότητα των καρπών και αφορούν τα φυσικά χαρακτηριστικά (χρώμα, υφή, ενεργότητα ύδατος, υγρασία, περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά στερεά, οξύτητα), τη θρεπτική αξία (περιεκτικότητα σε ασκορβικό οξύ, ολικό φαινολικό περιεχόμενο), και τη χημική σύνθεση αυτών (προφίλ συστατικών ουσιών). Παράλληλα, εφαρμόστηκαν πιο εξειδικευμένες αναλύσεις όπως η Ανάλυση Εικόνας και η Φασματοσκοπία Υπερύθρου.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αρχικά δίνονται πληροφορίες για το εξεταζόμενο προϊόν, για τη διατροφική και χημική του σύσταση, για την καλλιέργεια, δίνοντας έμφαση στην υδροπονία, και για τους παράγοντες που επηρεάζουν τη διάρκεια ζωής της φράουλας μετά τη συγκομιδή. Στη συνέχεια, παρατίθεται μία εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση των μελετών που έχουν επικεντρωθεί στην αξιολόγηση της διάρκειας ζωής της φράουλας κατά την αποθήκευση. Ακολουθεί ο σκοπός της εργασίας, ο πειραματικός σχεδιασμός και η περιγραφή των μεθόδων που αξιοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της μετασυλλεκτικής ποιότητας των καρπών φράουλας και έπειτα παρατίθενται τα αποτελέσματα και ο σχολιασμός αυτών. Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας, καθώς και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

2.Θεωρητικό Μέρος

2.1 Φράουλα

2.1.1 Γενικές Πληροφορίες

Η φράουλα αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά, από οικονομικής άποψης, φρούτα Παγκοσμίως και χαρακτηρίζεται από μοναδικές οργανοληπτικές ιδιότητες και σημαντική θρεπτική αξία (Hummer et al., 2009; Azam et al., 2019). Η καλλιεργούμενη φράουλα (*Fragaria x ananassa*) είναι ένα από τα νεότερα εξημερωμένα φυτά, που καλλιεργήθηκε από τις αρχές του 18ου αιώνα στην Ευρώπη (Harrdigan et al., 2021). Όλα τα είδη φράουλας ανήκουν στο γένος *Fragaria*, το οποίο παρουσιάζει γενετικές ομοιότητες με το βατόμουρο και το τριαντάφυλλο, και στην οικογένεια των *Rosaceae*, της οποίας μέλη αποτελούν μία σειρά οικονομικά σημαντικών καρπών, όπως το μήλο (*Malus domestica* Borkh.), το αχλάδι (*Pyrus sp.*) και το αμύγδαλο, αλλά και καλλωπιστικών φυτών (*Rosa sp.*) (Stewart et al., 2010; Vergauwen et al., 2019). Η υποοικογένεια της φράουλας είναι η *Rosoideae*, η οποία περιλαμβάνει τα γένη *Rubus*, *Rosa*, *Potentilla* και *Duchesnea* (Stewart et al., 2010).

Το φυτό της φράουλας είναι ένα πολυετές, δικοτυλήδονο φυτό που ευδοκμεί σε εύκρατες περιοχές (Hummer et al., 2009; Azam et al., 2019). Αποτελεί ένα μη κλιμακτηριακό φυτό, δηλαδή η ωρίμανση των καρπών είναι σχεδόν ανεξάρτητη από τη βιοσύνθεση του αιθυλενίου, παρόλο που τα περισσότερα μέλη της οικογένειας *Rosaceae* είναι κλιμακτηριακά (Azam et al., 2019). Το φυτό της φράουλας είναι ποώδες με ινώδεις ρίζες, ενώ καθώς αυτό γερνάει, το ριζικό του σύστημα γίνεται ξυλώδες (Kuchi et al., 2019). Τα άνθη του είναι κυρίως λευκά (σπανίως κοκκινωπά) και φέρονται σε μικρές ομάδες (ταξιανθίες) που φύονται από τις μασχάλες των φύλλων, ενώ τα φύλλα του είναι τριμερή (τρίφυλλα) (Kuchi et al., 2019; Vergauwen et al., 2019). Το κόκκινο, βρώσιμο μέρος, στην πραγματικότητα δεν είναι ο καρπός της φράουλας με τη βοτανική έννοια, αλλά η μεγάλη, σαρκώδης ανθοδόχη ενός άνθους. Οι αληθινοί καρποί είναι τα μεμονωμένα αχαίνια στην εξωτερική επιφάνεια του καρπού (Vergauwen et al., 2019).

2.1.2 Είδη

Υπάρχουν περίπου 34 είδη *Fragaria* που καλλιεργούνται στην Ασία, την Αμερική και την Ευρώπη, εκ των οποίων η εμπορική καλλιέργεια των *F. moschata* και *F. vesca*, για τον καρπό τους, είναι η πιο διαδεδομένη (Husaini et al., 2016). Η πλειοψηφία αυτών των ειδών αποτελούν άγρια είδη, ενώ κάποια από αυτά είναι φυσικά υβρίδια (Hummer et al., 2009). Τα περισσότερα από αυτά τα είδη χαρακτηρίζονται από πολυπλοειδία, μία συνθήκη η οποία

αναφέρεται στον διπλασιασμό ολόκληρου του γονιδιώματος και συμβάλει στην εξελικτική ιστορία των ειδών (Edger et al., 2019). Επομένως, τα είδη μπορούν να κατανεμηθούν ανάλογα με τον αριθμό των χρωμοσωμάτων τους σε διπλοειδή, τετραπλοειδή, εξαπλοειδή, οκτοπλοειδή, ενώ τεχνητά παραγόμενα υβρίδια, μπορούν ακόμη και να είναι δεκαπλοειδή (βλ. Πιν 1) (Heide et al., 2013).

Πίνακας 1. Είδη *Fragaria*, πλοειδία και περιοχές κατανομής (Hummer et al., 2011)

Πλοειδία	Είδη	Περιοχή Καλλιέργειας
Διπλοειδία	<i>F. bucharica</i> Losinsk <i>F. chinensis</i> Losinsk <i>F. daltoniana</i> J. Gay <i>F. iinumae</i> Makino <i>F. mandshurica</i> Staudt <i>F. nilgerrensis</i> Schlect. <i>F. nipponica</i> Makino <i>F. nubicola</i> Lindl. <i>F. pentaphylla</i> Losinsk <i>F. vesca</i> L. <i>F. viridis</i> Duch. <i>F. x bifera</i> Duch.	Δυτικά Ιμαλία Κίνα Ιμαλία Ιαπωνία Βόρεια Κίνα Νοτιοανατολική Ασία Ιαπωνία Ιμαλία Βόρεια Κίνα Ευρώπη, Ασία, Βόρεια Αμερική Ευρώπη, Ασία Γαλλία, Γερμανία
Τετραπλοειδία	<i>F. corymbosa</i> Losinsk <i>F. gracilis</i> A. Los. <i>F. moupinensis</i> (French.) Card <i>F. orientalis</i> Losinsk <i>F. tibetica</i> Staudt & Dickore	Ρωσία, Κίνα Βορειοδυτική Κίνα Βόρεια Κίνα Ρωσία Κίνα
Πενταπλοειδία	<i>F. x bringhurstii</i> Staudt F. sp. nov	Καλιφόρνια Κίνα
Εξαπλοειδία	<i>F. moschata</i> Duch	Ευρώπη, Ασία
Οκταπλοειδία	<i>F. chiloensis</i> (L.) Miller <i>F. virginiana</i> Miller	Δυτική Β. Αμερική, Χαβάη, Χιλή Βόρεια Αμερική Παγκοσμίως

	<i>F. x ananassa</i> Duch. Ex Lamarck	
Δεκαπλοειδία	<i>F. iturupensis</i> Staudt	Νησί Iturup, νησί Kurile

Παρ' όλο που τα είδη αυτά έχουν καλλιεργηθεί για αιώνες, η παραγωγή τους έχει μειωθεί κατά πολύ σήμερα, λόγω της επιτυχίας ενός συγκεκριμένου είδους αυτών (Husaini et al., 2016; Azam et al., 2019). Η σύγχρονη καλλιεργούμενη φράουλα, γνωστή ως *Fragaria* × *ananassa*, είναι ένα οκτοπλοειδές υβρίδιο (8n) με 56 χρωμοσώματα ($2n=8x=56$) (Azam et al., 2019). Το υβρίδιο αυτό, προέρχεται από τη διασταύρωση δύο άγριων προγονικών, οκτοπλοειδών ποικιλιών του ίδιου είδους, των *Fragaria virginiana* (με προέλευση από τη Βόρεια Αμερική) και *Fragaria chiloensis* (από τη Νότια Αμερική) (Folta et al., 2019). Τα δύο είδη που συνθέτουν τη γενετική βάση του *Fragaria x ananassa* χαρακτηρίζονται από μεγάλη μεταβλητότητα και έτσι επιτρέπεται στις διάφορες εμπορικές ποικιλίες να εμφανίζουν διαφορετική ποιότητα και μεγαλύτερο εύρος προσαρμογής (Antunes et al., 2010).

2.1.3 Προέλευση Σύγχρονης Φράουλας

Η προέλευση της σύγχρονης φράουλας ξεκινά στη Βόρεια Αμερική όπου οι πρώτοι άποικοι καλλιέργησαν τη γηγενή φράουλα, *Fragaria virginiana*, η οποία αποτελούσε ένα ανθεκτικό φυτό τόσο στις χαμηλές θερμοκρασίες, όσο και στην ξηρασία (Husaini et al., 2016). Η εισαγωγή της *F. virginiana* στην Ευρώπη από τη Βόρεια Αμερική έγινε στις αρχές του 1600 (Husaini et al., 2016). Το 1700, στη Χιλή, καλλιεργήθηκε για πρώτη φορά μία άγρια ποικιλία, η *Fragaria chiloensis*, η οποία χαρακτηριζόταν από μεγάλο μέγεθος καρπών, αλλά δεν ευδοκίμούσε σε ευρύ φάσμα κλιματικών συνθηκών (Husaini et al., 2016).

Το 1714, ο Amédée-Francois Frézier, μέλος του γαλλικού στρατού, επέστρεψε από το Περού και τη Χιλή φέρνοντας στη δυτική Ευρώπη μερικά φυτά *F. chiloensis* (Husaini et al., 2016). Είναι ενδιαφέρον ότι σύντομα, στην Γαλλία, άρχισαν να καλλιεργούνται οι δύο ποικιλίες (*F. chiloensis* και *F. virginiana*) η μία δίπλα στην άλλη, σε εναλλασσόμενες σειρές, επιτρέποντάς τους να διασταυρώνονται (Vergauwen et al., 2019). Έτσι, στα μέσα του δέκατου ογδούτου αιώνα, με τη διασταύρωση της *Fragaria virginiana* Duchesne και της *Fragaria chiloensis* Duchesne, ελήφθη ένα φυτό παρόμοιο με το σύγχρονο *Fragaria* × *ananassa* (Husaini et al., 2016; Harrdigan et al., 2021).

Αυτό το φυσικό υβρίδιο συνδύαζε χαρακτηριστικά των δύο ειδών, καθώς ανέπτυξε μεγαλύτερους, πιο αρωματικούς και πιο νόστιμους κόκκινους καρπούς και έδειξε μεγάλη ικανότητα προσαρμογής σε κλιματολογικές συνθήκες (Husaini et al., 2016). Λόγω αυτών των χαρακτηριστικών, το νέο αυτό είδος αντικατέστησε τα παλιά, και τα αρχικά υβρίδια και οι απόγονοί τους διαδόθηκαν και καλλιεργήθηκαν στην Ευρώπη για σχεδόν έναν αιώνα, πριν μεταναστεύσουν στη Βόρεια Αμερική στις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα και εξαπλωθούν παγκοσμίως (Harrdigan et al., 2021).

2.1.4 Ποικιλίες

Οι διάφορες ποικιλίες φράουλας παρουσιάζουν έντονη ευαισθησία στις περιβαλλοντικές συνθήκες και ειδικότερα στο γεωγραφικό πλάτος, το οποίο αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την προσαρμογή της καλλιέργειας (López-Aranda et al., 2011). Ωστόσο, η διαίρεση των αγροτικών περιοχών με βάση το γεωγραφικό πλάτος και τις κλιματικές συνθήκες είναι εξαιρετικά δύσκολη και έτσι οι ποικιλίες ταξινομούνται σε κατηγορίες, ανάλογα με την ανθοφορία του φυτού σε συσχέτιση με την διάρκεια της ημέρας (φωτοπεριοδισμός) και τη θερμοκρασία (Pattison et al., 2011; Azam et al., 2019). Οι κατηγορίες αυτές σύμφωνα με τους Lema-Rumińska et al. (2021) είναι οι παρακάτω:

1. γονότυποι εποχικής ανθοφορίας μικρής ημέρας (short-day seasonal flowering): τα φυτά αυτά παράγουν άνθη, είτε όταν η διάρκεια της ημέρας είναι μικρή (<14 ώρες), είτε σε θερμοκρασία μικρότερη από 15°C, ενώ ανθοφορούν μία φορά εντός της καλλιεργητικής περιόδου και καρποφορούν την άνοιξη.
2. γονότυποι μακράς ημέρας και επαναλαμβανόμενης ανθοφορίας (long-day recurrent flowering or everbearing): τα φυτά αυτά εκτός από την ανοιξιάτικη ανθοφορία, ανθοφορούν και καρποφορούν περισσότερες φορές εντός της καλλιεργητικής περιόδου. Παρ' όλο που η θερμοκρασία τροποποιεί τις φωτοπεριοδικές αποκρίσεις αυτών των φυτών, αυτοί οι γονότυποι είναι λιγότερο ευαίσθητοι στις υψηλές θερμοκρασίες από τους γονότυπους μικρής ημέρας.

2.2 Σύσταση Φράουλας και διατροφική αξία

Η χημική και θρεπτική σύσταση της φράουλας παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον, καθώς συνίσταται από μία μεγάλη ποικιλία φυτοχημικών ενώσεων, φυτικών ινών και θρεπτικών ουσιών που την καθιστούν ένα λειτουργικό τρόφιμο με την ικανότητα να προσφέρει πολλά οφέλη στη διατροφή του ανθρώπου (Basu et al., 2014). Χαρακτηρίζεται από υψηλά επίπεδα σε μικροθρεπτικά συστατικά όπως βιταμίνη C, φυλλικό οξύ και μέταλλα, καθώς και από

αυξημένη περιεκτικότητα σε μη θρεπτικά συστατικά όπως πολυφαινολικές ενώσεις (φλαβονοειδή, φαινολικά οξέα, λιγνάνες και ταννίνες) (Alvarez-Suarez, J., et al., 2014). Η σύσταση της φράουλας ποικίλλει σημαντικά με τους γονοτύπους και επηρεάζεται από παράγοντες όπως η γεωργική πρακτική, το περιβάλλον και η ωριμότητα του καρπού (Aaby et al., 2012).

Η αντιοξειδωτική ικανότητα σχετίζεται με το περιεχόμενο της φράουλας σε ωφέλιμες βιοδραστικές ενώσεις, και πιο συγκεκριμένα σε ενώσεις που έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν ελεύθερες ρίζες οξυγόνου. Ο καρπός της φράουλας είναι μία πλούσια πηγή σε διατροφικά αντιοξειδωτικά με κύριες αντιοξειδωτικές ενώσεις τις πολυφαινόλες και τις βιταμίνες, ενώ τη μεγαλύτερη συνεισφορά εμφανίζει η βιταμίνη C (24%) και ακολουθούν οι ελλαγιταννίνες (19%) και οι ανθοκυανίνες (13%) (Basu et al., 2014). Η αντιοξειδωτική ικανότητα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το είδος και η ποικιλία του φυτού, οι συνθήκες αποθήκευσης, οι καλλιεργητικές μέθοδοι και οι διάφορες επεξεργασίες που μπορούν να επηρεάσουν τη σύστασή της (Giampieri et al., 2013).

2.2.1 Φυτοχημικά Συστατικά

Οι φυτοχημικές ουσίες είναι βιοενεργά συστατικά που διαφέρουν από φυτό σε φυτό και ενέχονται φυσικά σε αυτά (Thakur et al., 2020). Ενώ είναι υπεύθυνες για την κάλυψη μη βασικών λειτουργιών στα φυτά και δεν παρουσιάζουν θρεπτική αξία στην ανθρώπινη διατροφή, εμφανίζουν τεράστιες βιολογικές δυνατότητες και μεγάλο ενδιαφέρον στις ευεργετικές επιδράσεις στη υγεία του ανθρώπου (Giampieri, F. et al, 2013; Alvarez-Suarez et al., 2014; Thakur, M et al., 2020). Η δράση τους ποικίλει και μπορεί να είναι αντιοξειδωτική, μπορεί να διατηρούν, να επιδιορθώνουν, ή να επιδρούν στον μεταβολισμό του DNA, να αυξάνουν την δραστηριότητα των ενζύμων που εμπλέκονται στην αποτοξίνωση, να επιταχύνουν την απόπτωση των καρκινικών κυττάρων, να επιβραδύνουν τον κυτταρικό πολλαπλασιασμό και άλλα (Thakur et al., 2020). Οι κύριες κατηγορίες φυτοχημικών είναι τα τερπενοειδή, οι πολυφαινόλες, τα φαινολικά συστατικά, τα αλκαλοειδή, τα καροτενοειδή, οι φυτοστερόλες, οι σαπωνίνες και οι φυτικές ίνες (Thakur et al., 2020).

Η φράουλα αποτελεί μία από τις πιο πλούσιες πηγές φυτοχημικών παρόλο που παρουσιάζονται σχετικές διακυμάνσεις στο περιεχόμενό τους, ανάλογα με τους γενετικούς παράγοντες, καθώς και τις πρακτικές που εφαρμόζονται πριν και μετά τη συγκομιδή (Giampieri et al., 2013). Ο κυριότερος εκπρόσωπος αυτών, είναι οι φαινολικές ενώσεις

(Giampieri et al., 2013). Έχουν παρατηρηθεί περίπου 40 φαινολικές ενώσεις στον καρπό της φράουλας, όπως γλυκοσίδες κερκετίνης, καμπερόλη, κυανιδίνη, πελαργονιδίνη, ελλαγικό οξύ, καθώς και ελλαγιταννίνες (Basu et al., 2014). Γενικά, οι πολυφαινολικές ενώσεις χαρακτηρίζονται ως αντιοξειδωτικές, αλλά η δράση τους δεν περιορίζεται εκεί, καθώς είναι πολύ ευρύτερη. Εμφανίζουν, επίσης, αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες, ενώ με έμμεσο τρόπο παρουσιάζουν αντιμικροβιακές, αντιαλλεργικές και αντιυπερτασικές λειτουργίες, καθώς και την ικανότητα αναστολής της δραστηριότητας ορισμένων φυσιολογικών ενζύμων (Giampieri et al., 2013).

Η κύρια κατηγορία φαινολικών ενώσεων στη φράουλα είναι τα φλαβονοειδή τα οποία περιλαμβάνουν ανθοκυανίνες, φλαβονόλες (παράγωγα μυρικετίνης και κερκετίνης), φλαβανόλες (κατεχίνη, επικατεχίνη, προανθοκυανιδίνη B1 και B2), φλαβόνες, φλαβανόνες, φλαβανο-3-όλες, ισοφλαβόνες και διυδροχαλκόνες και θεωρούνται μία από τις πιο σημαντικές ομάδες φυτοχημικών στα φρούτα (Pattison et al., 2011; Azam et al., 2019).

Τα φλαβονοειδή έχουν κοινή χημική δομή και απαντώνται στα φυτικά τρόφιμα ως αγλυκόνες ή γλυκοσίδες φλαβονοειδών (Basu et al., 2014). Επιπλέον, στη φράουλα έχει εντοπιστεί η φισετίνη, μία ακόμη φλαβονοειδής ένωση, με αυξημένη αντιοξειδωτική και αντικαρκινική δράση (Azam et al., 2019). Έχει αποδειχθεί ότι η δραστηριότητα δέσμησης ελευθέρων ριζών είναι ο πιο ισχυρός βιολογικός τρόπος δράσης των φλαβονοειδών, ακολουθούμενος από αντιφλεγμονώδεις, αγγειοδιασταλτικές και αντιπολλαπλασιαστικές λειτουργίες (Basu et al., 2014).

Η δεύτερη σε αφθονία κατηγορία φαινολικών ενώσεων είναι οι υδρολυόμενες ταννίνες (ελλαγιταννίνες (ETs) και γαλλοταννίνες), ενώ ακολουθούν τα φαινολικά οξέα (υδροξυβενζοϊκά οξέα και υδροξυκινναμωμικά οξέα) και οι συμπυκνωμένες ταννίνες (προανθοκυανιδίνες) ως δευτερεύοντα συστατικά (Giampieri et al., 2012). Πιο συγκεκριμένα, από τις παραπάνω, οι ανθοκυανίνες και οι ελλαγιταννίνες είναι οι ενώσεις που απαντώνται σε μεγαλύτερες αναλογίες στη φράουλα (Giampieri et al., 2013).

2.2.1.1 Ανθοκυανίνες

Οι ανθοκυανίνες είναι οι κύριες πολυφαινολικές ενώσεις στη φράουλα, ποσοτικά, με κύριους εκπροσώπους τα παράγωγα πελαργονιδίνης και κυανιδίνης (Giampieri et al., 2014).

Οι ανθοκυανίνες είναι υδατοδιαλυτές, δευτερογενείς ενώσεις του μεταβολισμού των φυτών, που είναι υπεύθυνες για το έντονο κόκκινο χρώμα της σάρκας του καρπού (Basu et al., 2014). Για την κυρίαρχη χρωστική ουσία (έντονο κόκκινο χρώμα), είναι υπεύθυνο το παράγωγο πελαργονιδίνης (3-γλυκοσίδα της πελαργονιδίνης (PG)), ενώ για την ήσσονος

σημασίας χρωστική (σκούρο κόκκινο χρώμα), το παράγωγο της κυανιδίνης (3-γλυκοσίδη κυανιδίνης (CG)) (Voća et al., 2014). Σύμφωνα με έρευνες, σε διαφορετικές ποικιλίες φράουλας, έχουν εντοπιστεί περισσότερες από 25 ανθοκυανίνες, με την πελαργονιδίνη-3-γλυκοσίδη να είναι η κύρια ανθοκυανίνη της φράουλας, ανεξάρτητα από γενετικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες, ενώ η κυανιδιν-3-γλυκοζίτη φαίνεται να παρουσιάζει, επίσης, σταθερή συγκέντρωση, αν και σε μικρότερες αναλογίες (Giampieri et al., 2013). Οι κύριες μορφές ανθοκυανιδινών που ταυτοποιήθηκαν ήταν η κυανιδιν-3-γλυκοσίδη, η πελαργονιδίνη-3-γλυκοσίδη, η 3-ρουτινοσίδη και η 3-μαλονυλογλυκοσίδη (Basu et al., 2014).

Οι ανθοκυανίνες συμβάλλουν στην πρόληψη ασθενειών που σχετίζονται με το οξειδωτικό στρες, ενώ παράλληλα, δρουν ως φωτοπροστατευτικά, αντιοξειδωτικά, αντιφλεγμονώδη, αντικαρκινογόνα, αντιμεταλλαξιογόνα και μπορεί ακόμη να ρυθμίζουν ενζυματικές διαδικασίες (Giampieri et al., 2014). Απαντώνται σε τιμές από 20 έως 60 mg ανά 100g νωπού βάρους καρπού (Giampieri et al., 2012).

2.2.1.2 Ελλαγιταννίνες

Οι ελλαγιταννίνες (ETs) είναι μια σύνθετη κατηγορία πολυφαινολών που χαρακτηρίζεται από ένα ή περισσότερα τμήματα εξαϋδροξυδιφαινυλίου (HHDP) εστεροποιημένα σε κάποιο σάκχαρο, συνήθως γλυκόζη (Giampieri et al., 2013). Οι ETs έχουν τεράστια δομική μεταβλητότητα λόγω των διαφορετικών δυνατοτήτων για τη σύνδεση των υπολειμμάτων HHDP με το τμήμα γλυκόζης, και διαφοροποιούνται ως προς το βαθμό πολυμερισμού (DP) σε μονομερή, ολιγομερή και πολύπλοκα πολυμερή και ως προς της ευαισθησία στην υδρόλυση (Milala et al., 2017). Η πιο τυπική ελλαγιταννίνη στη φράουλα είναι η sanguin H-6, ένα ισομερές της αγριμονίνης, η οποία είναι διμερής (Giampieri et al., 2013).

Η πλειονότητα των ETs υδρολύεται από μικροοργανισμούς του παχέος εντέρου, αρχικά σε ελλαγικό οξύ χάρη στο ουδέτερο pH του περιβάλλοντος, και στη συνέχεια σε ακόμη μικρότερα μόρια, όπως ουρολιθίνες (Milala et al., 2017). Οι ETs συχνά αναγνωρίζονται ως δραστικές ουσίες στα φυτά και υπολογίζεται ότι η περιεκτικότητά τους στον καρπό της φράουλας κυμαίνεται από 8 έως 23 mg ανά 100 g νωπού καρπού (Azam et al., 2019). Οι ελλαγιταννίνες έχουν επίσης αποδειχθεί ότι είναι ο δεύτερος πιο ισχυρός αντιοξειδωτικός παράγοντας στις φράουλες, μετά τη βιταμίνη C (Basu et al., 2014).

2.2.1.3 Άλλες Φαινολικές Ενώσεις

Η φράουλα περιέχει και μικρές ποσότητες άλλων φαινολικών ενώσεων, όπως οι φλαβονόλες και τα φαινολικά οξέα (Giampieri et al., 2013).

Οι φλαβονόλες, ανήκουν στην κατηγορία των φλαβονοειδών και έχουν εντοπιστεί στη φράουλα ως παράγωγα της κερκετίνης και της καμπφερόλης, με τα παράγωγα κερκετίνης να είναι τα πιο άφθονα, ενώ σε ορισμένες ποικιλίες φράουλας έχουν εντοπιστεί ακυλιωμένες φλαβονόλες (Giampieri et al., 2012). Όπως και οι ανθοκυανίνες, αποτελούν χρωστικές ουσίες και πιο συγκεκριμένα, οι ενώσεις που ευθύνονται για τον χρωματισμό της σάρκας είναι τα παράγωγα κερσετίνης και καμπφερόλης (Halbwirth et al., 2006). Οι φλαβονόλες είναι η μοναδική κατηγορία φλαβονοειδών που δεν απαντώνται φυσικώς ως γλυκοζίτες, αλλά ως μονομερείς μορφές (κατεχίνες), αλλά και πολυμερείς που ονομάζονται συμπυκνωμένες ταννίνες ή προκυανιδίνες (Giampieri et al., 2012). Οι προκυανιδίνες βρίσκονται συνήθως στη σάρκα και στα αχάινια (σπόροι) της φράουλας (Giampieri et al., 2012). Λόγω της ποικιλίας των φυσιολογικών δραστηριοτήτων, έχει αναφερθεί ότι διαθέτουν, άμεσα και έμμεσα, αντιοξειδωτικές, αντιμικροβιακές, αντιαλλεργικές και αντιυπερτασικές ιδιότητες και αναστέλλουν τις δραστηριότητες ορισμένων φυσιολογικών ενζύμων και υποδοχέων (Giampieri et al., 2012).

Επιπλέον, οι καρποί των φυτών της φράουλας, παρουσιάζουν μεγάλη συσσώρευση ορισμένων φλαβονοειδών στα αρχικά στάδια της ανάπτυξής τους. Σύμφωνα με μελέτες στους άγουρους καρπούς, αυτά είναι 3',4'-υδροξυλιωμένες κατεχίνες, φλαβαν-3-όλες, επικατεχίνες και προανθοκυανιδίνες. Οι ενώσεις αυτές εμφανίζουν αντιοξειδωτική δράση μεγάλου ενδιαφέροντος και, πιθανώς, συμβάλλουν στον περιορισμό της ανάπτυξης ασθενειών, όπως η 'grey mold' που προκαλείται από τον μύκητα *Botrytis cinerea* (Halbwirth, H., et al., 2006). Ωστόσο, η παρουσία προανθοκυανιδινών στα φρούτα έχει ως αποτέλεσμα μια στυφή γεύση και η κατεχίνη μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητο μαύρισμα λόγω ενζυμικών αντιδράσεων (Halbwirth et al., 2006).

Όσον αφορά τα φαινολικά οξέα, εμφανίζονται ως παράγωγα του υδροξυκινναμωμικού οξέος (δηλαδή του καφεϊκού οξέος) και του υδροξυβενζοϊκού οξέος (δηλαδή του γαλλικού οξέος) (Giampieri et al., 2013). Τα διαλυτά παράγωγα του καφεϊκού οξέος είναι πιο κοινά από αυτά του γαλλικού και αποτελούνται κυρίως από π-κουμαρικό, καφεϊκό και φερουλικό οξύ και γενικά βρίσκονται ως γλυκοσίδες και ως εστέρες με σάκχαρα ή κινικά οξέα. Σε αντίθεση με το καφεϊκό, τα παράγωγα του γαλλικού βρίσκονται ως επί το πλείστον με τη μορφή γλυκοζιδίων ή, ακόμη, εστέρων γλυκόζης (Alvarez-Suarez et al., 2014).

2.2.2 Μικροθρεπτικά Συστατικά

2.2.2.1 Βιταμίνες

Η φράουλα αποτελεί μια εξαιρετικά καλή πηγή σε βιταμίνη C, η οποία είναι ένας από τους σημαντικότερους διατροφικούς δείκτες αυτού του φρούτου, καθώς συμβάλλει στην προώθηση της σύνθεσης λιπών και πρωτεϊνών και συντελεί στην φυσιολογική λειτουργία του ανοσολογικού συστήματος του ανθρώπου (Weng et al., 2020). Η περιεκτικότητά της στον καρπό της φράουλας είναι μεγαλύτερη από τα εσπεριδοειδή και υπολογίζεται περίπου στα 60 mg ανά 100 g φρέσκου καρπού, ενώ η κατανάλωση μόλις μικρής ποσότητας αυτών, επαρκεί για να καλυφθεί η συνιστώμενη ημερήσια δόση βιταμίνης C στην ανθρώπινη διατροφή (Giampieri et al., 2013).

Εκτός από τη βιταμίνη C, η φράουλα αποτελεί μία από τις πλουσιότερες φυσικές πηγές ενός άλλου πολύ σημαντικού μικροθρεπτικού συστατικού, του φυλλικού οξέος, του οποίου η περιεκτικότητα υπολογίζεται στα 24 μg ανά 100 γραμμάρια φρέσκων φρούτων (250 g φράουλες καλύπτουν το 30% της ημερήσιας συνιστώμενης ποσότητας σε αυτό το οξύ) (Giampieri F. et al, 2012; 2015). Το φυλλικό οξύ σχετίζεται με την θωράκιση της ανθρώπινης υγείας συμβάλλοντας στην πρόληψη ασθενειών (Giampieri et al., 2013).

Η φράουλα αποτελεί πηγή και άλλων βιταμινών όπως θειαμίνη (B1), ριβοφλαβίνη (B2), νιασίνη (B3), βιταμίνη B6, βιταμίνη K, βιταμίνη A και βιταμίνη E, ενώ μεταξύ των λιποδιαλυτών βιταμινών έχουν εντοπιστεί τοκοτριενόλες και καροτενοειδή (Giampieri et al., 2012).

2.2.2.2 Μέταλλα

Ο φρέσκος καρπός φράουλας αποτελεί μία πλούσια πηγή μαγνησίου και καλίου, μετάλλων τα οποία συμβάλλουν στην ισορροπία της αρτηριακής πίεσης και την χαλάρωση των νεύρων (Azam et al., 2019). Ακόμη, η φράουλα αποτελεί καλή πηγή άλλων μετάλλων, όπως το μαγγάνιο, το ιώδιο, ο χαλκός, ο σίδηρος και ο φώσφορος (Alvarez-Suarez et al., 2014). Η κατανάλωση μιας μερίδας του φρούτου αυτού (~144g), καλύπτει περισσότερο από το 20% της ημερήσιας ανάγκης στη διατροφή του ανθρώπου, ενώ η ίδια ποσότητα μπορεί να καλύψει περίπου το 5% της ανάγκης σε κάλιο (Giampieri et al., 2013).

2.2.3 Μακροθρεπτικά Συστατικά

Η φράουλα χαρακτηρίζεται, επίσης, από μία αξιόλογη περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες, η οποία υπολογίζεται περίπου στα 2,4g/100g νωπού φρούτου. Ακόμη, ο ώριμος καρπός της φράουλας χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα, το 80% των οποίων καλύπτει η φρουκτόζη και η γλυκόζη (Hummer et al., 2009). Η γλυκόζη, η φρουκτόζη και

η σακχαρόζη αποτελούν τα κύρια διαλυτά σάκχαρα της φράουλας σε όλα τα στάδια της ωρίμανσής της (Hummer et al., 2009).

Οι διαιτητικές ίνες σε συνδυασμό με το περιεχόμενο σε φρουκτόζη (που αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 50% των σακχάρων της φράουλας), συμβάλλουν στον έλεγχο πρόσληψης ενέργειας, αφού προκαλούν αίσθημα κορεσμού και ρυθμίζουν τα επίπεδα των σακχάρων στο αίμα επιβραδύνοντας την πέψη (Giampieri et al., 2013) (Alvarez-Suarez et al., 2014).

Σε μικρότερο βαθμό, οι φράουλες είναι πηγή υγιεινών, απαραίτητων λιπαρών οξέων, καθώς το έλαιο των σπόρων στην επιφάνεια του φρούτου είναι πλούσιο σε ακόρεστα λιπαρά οξέα (~72% πολυακόρεστα λιπαρά οξέα) (Giampieri et al., 2012).

2.2.4 Άλλες ενώσεις

Όσον αφορά τα οξέα, το κύριο οργανικό οξύ στον καρπό της φράουλας είναι το κιτρικό, το οποίο αποτελεί το 88% των ολικών περιεχόμενων οξέων, ενώ περιέχει επίσης σημαντικά επίπεδα ελλαγικού οξέος, το οποίο θεωρείται ότι χαρακτηρίζεται από αντικαρκινική δράση (Hummer et al., 2009).

2.3 Καλλιέργεια

Η φράουλα καλλιεργείται σε πολλές περιοχές του κόσμου και εμφανίζει μεγάλη ποικιλότητα όσον αφορά την ποιότητα και τα χαρακτηριστικά του καρπού της, καθώς οι περιβαλλοντικές συνθήκες επηρεάζουν σημαντικά την ανάπτυξη και την απόδοση των φυτών, και ιδιαίτερα την ανθοφορία και την καρποφορία τους (Khammayom et al. 2022). Επίσης, η φυσιολογία της ανάπτυξης και της ανθοφορίας της φράουλας είναι πολύπλοκη λόγω της μεγάλης μεταβλητότητας της συμπεριφοράς του φυτού όχι μόνο σε απόκριση στις κλιματικές συνθήκες, αλλά και του γενετικού υποβάθρου της ποικιλίας (Lema-Rumińska et al., 2021). Προκειμένου να περιοριστεί η κλιματική μεταβλητότητα της καλλιέργειας, σύγχρονες πρακτικές επιτρέπουν την ανάπτυξή της υπό ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών συνθηκών, γεγονός που καθιστά, τις φράουλες, διαθέσιμες στον καταναλωτή σχεδόν όλη τη διάρκεια του χρόνου (Akhatou et al., 2014; Khammayom et al. 2022). Επιπλέον, λόγω της αυξανόμενης ζήτησης των ανεπτυγμένων χωρών για παραγωγή φράουλας όλο το χρόνο, πολλοί παραγωγοί στρέφονται προς εναλλακτικούς τρόπους καλλιέργειας (Lema-Rumińska et al., 2021). Συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη παραγωγή φράουλας γίνεται σε θερμοκήπια εδαφικής καλλιέργειας, ενώ στις νότιες περιοχές της Ισπανίας, της Γαλλίας και της Ιταλίας

έχει αναπτυχθεί έντονα η καλλιέργεια χωρίς έδαφος ή αλλιώς, υδροπονική καλλιέργεια (Akhatou et al., 2014).

2.3.1 Υδροπονική Καλλιέργεια

Η υδροπονία αποτελεί ένα είδος καλλιέργειας κατά την οποία τα φυτά προμηθεύονται τα απαραίτητα συστατικά για την ανάπτυξή τους μέσω θρεπτικών διαλυμάτων (Khan et al., 2018). Τα φυτά, είτε είναι τοποθετημένα σε ένα αδρανές υπόστρωμα στο οποίο γίνεται διοχέτευση του θρεπτικού διαλύματος, είτε οι ρίζες τους είναι σε απευθείας επαφή με το διάλυμα αυτό (Sardare et al., 2013). Η τεχνολογία αυτή, πρωτοεμφανίστηκε κατά τον δέκατο όγδοο αιώνα, ενώ τα πρώτα εμπορικής κλίμακας υδροπονικά συστήματα αναπτύχθηκαν τη δεκαετία του 1940. Οι υδροπονικές καλλιέργειες επιτρέπουν υψηλό έλεγχο της ενέργειας, των θρεπτικών συστατικών και των φυτοφαρμάκων που χρησιμοποιούνται, ενώ η απόδοσή τους αυξάνεται κατά πολύ όταν συνδυάζονται με ένα ελεγχόμενο περιβάλλον όπως το θερμοκήπιο (Khan et al., 2018; Sreedevi et al., 2020).

Τα υδροπονικά συστήματα, μπορούν να χωριστούν σε ανοιχτά και κλειστά συστήματα, όπου το πλεονάζον θρεπτικό διάλυμα δεν ανακυκλώνεται και ανακυκλώνεται στο σύστημα, αντίστοιχα (Maucieri et al., 2019). Τα κλειστά συστήματα είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον, καθώς δεν προκαλείται ρύπανση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων από νιτρικά και φωσφορικά άλατα που εμπεριέχονται στα λύματα των λιπασμάτων (Richa et al., 2020). Ακόμη, σε αυτά γίνεται ανακύκλωση των θρεπτικών υλικών, χρησιμοποιούνται βιώσιμα υλικά, το υπόστρωμα επαναχρησιμοποιείται και γίνεται καλύτερη διαχείριση του νερού και των λιπασμάτων (Maucieri et al., 2019). Ωστόσο, στα συστήματα αυτά ένας από τους κύριους παράγοντες που εμποδίζουν την εφαρμογή τους είναι η συσσώρευση ιόντων νατρίου και χλωρίου στο θρεπτικό διάλυμα που ανακυκλώνεται, προερχόμενα από την αλατότητα του νερού άρδευσης (Richa et al., 2020).

2.3.1.1 Υπόστρωμα

Το υπόστρωμα της υδροπονικής καλλιέργειας παρέχει στήριξη στα φυτά και επιτρέπει στις ρίζες αυτών να αναπτυχθούν, ενώ επιτρέπει σε άφθονο οξυγόνο να διεισδύσει στο ριζικό σύστημα του φυτού (Khan et al., 2018; Sreedevi et al., 2020). Τα χαρακτηριστικά αυτών των υλικών σχετίζονται άρρηκτα με την ανάπτυξη της καλλιέργειας, καθώς ένας από τους ρόλους τους είναι η διατήρηση του θρεπτικού διαλύματος σε σωστά επίπεδα (Khan et al., 2018). Ο στόχος του υποστρώματος είναι η παραγωγή προϊόντων σε μεγάλες ποσότητες, στην όσο το δυνατόν καλύτερη ποιότητα, σε σύντομο χρονικό διάστημα και με το χαμηλότερο κόστος παραγωγής (Khan et al., 2018). Η επιλογή ενός συγκεκριμένου

υποστρώματος εξαρτάται από τον τύπο της εγκατάστασης, τη ποιότητά της, το σύστημα καλλιέργειας, την τιμή του υλικού, το κόστος μεταφοράς και τη διαθεσιμότητα αυτού (Khan et al., 2018).

2.3.1.2 Θρεπτικό Διάλυμα

Κάθε φυτό έχει διαφορετικές ανάγκες σε θρεπτικά συστατικά και το θρεπτικό διάλυμα πρέπει να αποτελείται από έναν συνδυασμό όλων των απαραίτητων για τα φυτά στοιχείων, τα οποία αξιοποιούνται για την εκτέλεση των φυσιολογικών λειτουργιών τους (Di Lorenzo et al., 2013). Τα απαραίτητα στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών είναι 13 και χωρίζονται στα μακροστοιχεία (Άζωτο, Φώσφορος, Κάλιο, Ασβέστιο, Μαγνήσιο και Θείο) και στα μικροστοιχεία (Σίδηρος, Χλώριο, Μαγγάνιο, Βόριο, Χαλκός, Ψευδάργυρος και Μολυβδαίνιο) (Richa et al., 2020). Εκτός από τα απαραίτητα στοιχεία, τα ευεργετικά στοιχεία είναι σημαντικά για ορισμένα φυτά και προάγουν την τόνωση της ανάπτυξής τους. Σε αυτά περιλαμβάνονται το Νάτριο, το Πυρίτιο, το Κοβάλτιο, το Σελήνιο, το Αλουμίνιο και άλλα (Di Lorenzo et al., 2013).

Τα μακροθρεπτικά συστατικά χρειάζονται σε σχετικά μεγάλες ποσότητες, ενώ τα μικροθρεπτικά συστατικά ή τα ιχνοστοιχεία χρειάζονται σε μικρές ποσότητες (Richa et al., 2020). Στην υδροπονία, όλα τα απαραίτητα στοιχεία παρέχονται στα φυτά με τη διάλυση των αλάτων των λιπασμάτων στο νερό για τη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος (Richa et al., 2020). Ακόμη, όσον αφορά τη σύνθεση και την ποσότητα του θρεπτικού διαλύματος, παρακολουθείται σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας τεχνολογίες αισθητήρων και προσαρμόζεται με τις απαιτήσεις κάθε καλλιέργειας (Wootton–Beard et al., 2019).

Τα φυτά που καλλιεργούνται με υδροπονία είναι τόσο διάφορα φρούτα (όπως η φράουλα), όσο και λαχανικά (ντομάτα, πράσινο φασόλι, πιπεριά), τα πράσινα φυλλώδη λαχανικά (μαρούλι, μαϊντανός), τα σιτηρά (ρύζι, αραβόσιτος), οι ανθοκομικές/καλλωπιστικές καλλιέργειες (γαρύφαλλο, χρυσάνθεμο), οι φαρμακευτικές καλλιέργειες (ινδική αλόη) και οι καλλιέργειες που προορίζονται για ζωοτροφές (κριθάρι) (Sardare et al., 2013). Σε γενικές γραμμές η υδροπονία είναι πιο κατάλληλη για την καλλιέργεια λαχανικών υψηλής αξίας παρά για καλλιέργειες χαμηλής αξίας (Sreedevi et al., 2020).

2.3.2 Σύγκριση Υδροπονικής και Συμβατικής Καλλιέργειας

Η υδροπονική είναι μία πολλά υποσχόμενη καλλιέργεια και παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα έναντι της συμβατικής (Sardare et al., 2013). Αρχικά, τα φυτά αναπτύσσουν μικρότερες ρίζες με αποτέλεσμα η φύτευση να είναι μεγαλύτερης πυκνότητας και να αυξάνεται κατά πολύ η απόδοση ανά στρέμμα (Sardare et al., 2013). Ακόμη, ιδίως στη περίπτωση της κάθετης υδροπονίας, η απαίτηση χώρου καλλιέργειας είναι μειωμένη (Richa

et al., 2020). Σε σύγκριση με τη συμβατική καλλιέργεια, οι καλλιέργειες στο υδροπονικό σύστημα βρέθηκαν να έχουν λιγότερο χρόνο ανάπτυξης και μεγαλύτερη παραγωγή όλο το χρόνο (Sreedevi et al., 2020). Επιπλέον, είναι σημαντικό ότι μπορούν να αναπτυχθούν σε περιοχές που παρουσιάζουν πρόβλημα γονιμότητας του εδάφους, δυσμενείς τοπογραφικές συνθήκες, μη ευνοϊκές εδαφικές συνθήκες για καλλιέργεια (αστικές περιοχές), μόλυνση εδάφους ή ακατάλληλες περιβαλλοντικές θερμοκρασίες για τη γεωργία (Khan et al., 2018; Vinci et al., 2019). Επιπροσθέτως, λόγω της χρήσης υποστρωμάτων επιτυγχάνεται καλύτερος έλεγχος ή ακόμη και απουσία παθογόνων παραγόντων που μεταδίδονται μέσω του εδάφους (Maucieri et al., 2019). Ακόμη, τα υποστρώματα μπορούν εύκολα να αποστειρωθούν, επιτυγχάνοντας ελάχιστο κίνδυνο μόλυνσης από παθογόνα (Khan et al., 2018). Η επαναχρησιμοποίηση θρεπτικών ουσιών και υποστρωμάτων οδηγεί σε πολύ υψηλό έλεγχο των πόρων, αποφεύγοντας τη μόλυνση του εδάφους και των υπόγειων υδάτων και μειώνοντας τη περιβαλλοντική ρύπανση (Khan et al., 2018). Άλλο ένα βασικό πλεονέκτημα της υδροπονίας είναι η αποτελεσματική αξιοποίηση του φυσικού φωτός δίνοντας τη δυνατότητα, λόγω των διατάξεων που χρησιμοποιούνται, κατανομής του φωτός τόσο στο άνω μέρος όσο και στο κάτω μέρος του φυτού (Vinci et al., 2019). Ως αποτέλεσμα, οι καρποί αναπτύσσονται με μεγαλύτερη ομοιομορφία (Vinci et al., 2019). Ακόμη, επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση της ποιότητας της καλλιέργειας, καθώς γίνεται στοχευμένη παροχή θρεπτικών συστατικών, έλεγχος άλλων παραμέτρων όπως θερμοκρασία, σχετική υγρασία ή παράσιτα και κατ' επέκταση έλεγχος της ανάπτυξης των καλλιεργειών, ενώ παράλληλα σημειώνεται ελάχιστη χρήση φυτοφαρμάκων (Maucieri et al., 2019; Vinci et al., 2019). Τέλος, επιτυγχάνεται η πιο αποτελεσματική αξιοποίηση νερού, η οποία είναι μεγάλης σημασίας δεδομένης της κλιματικής αλλαγής, μέσω των τεχνικών υδροπονίας, οι οποίες επιτρέπουν την παροχή μόνο της απαραίτητης ποσότητας νερού για την υγιή ανάπτυξη του φυτού, αποφεύγοντας τα αποτελέσματα της έλλειψης ή της υπερβολικής χορήγησης νερού (Wootton–Beard et al., 2019).

Αντίθετα, η συμβατική καλλιέργεια μειονεκτεί έναντι της υδροπονικής ως προς τη αποτελεσματικότητα και τη βιωσιμότητά της, καθώς επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως τις περιβαλλοντικές και κλιματολογικές συνθήκες, τη ποιότητα, τη γονιμότητα και τη μορφολογία τους εδάφους και την έκθεση της καλλιέργειας σε παράσιτα και ασθένειες (Sreedevi et al., 2020). Οι παραπάνω παράγοντες οδηγούν σε υποβάθμιση της ποιότητας και της απόδοσης της καλλιέργειας. Ακόμη, η συμβατική γεωργία φαίνεται να φέρει ευθύνη για την αύξηση της περιβαλλοντικής υποβάθμισης και ρύπανσης, ενώ, ακόμη, συνοδεύεται από

χρήση μεγαλύτερων ποσοτήτων λιπασμάτων για την παραλαβή υγιών και πιο αποδοτικών φυτών και καρπών (Sreedevi et al., 2020).

Ωστόσο, η υδροπονική καλλιέργεια παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα. Τα κύρια μειονεκτήματα της υδροπονίας είναι το υψηλό αρχικό κόστος κεφαλαίου, οι ανάγκες για εκπαιδευμένο προσωπικό με την απαραίτητη τεχνογνωσία για τον χειρισμό των συστημάτων ελέγχου, καθώς και η εγκατάσταση η οποία πρέπει να παρακολουθείται για την αποφυγή ηλεκτρικών βλαβών (Richa et al., 2020; Resh et al., 2022). Επιπλέον, υπάρχει ο κίνδυνος ανάπτυξης ορισμένων ασθενειών που προκαλούνται από μύκητες και ενισχύονται από τις ευνοϊκές θερμοκρασίες και την υγρασία που επικρατούν στα προστατευμένα συστήματα (Wootton–Beard et al., 2019). Η εξάπλωση αυτών των υδατογενών παθογόνων, έχουν σημαντικές επιπτώσεις στα υδροπονικά συστήματα που περιλαμβάνουν συστήματα επανακυκλοφορίας, όπου μπορούν να συσσωρευτούν παθογόνα με την πάροδο του χρόνου (Sreedevi et al., 2020). Τα περισσότερα από αυτά τα μειονεκτήματα μπορούν να ξεπεραστούν με την ανάπτυξη νέων ποικιλιών που έχουν μεγαλύτερη αντοχή στις ασθένειες και χρήση νέων, κατάλληλων θρεπτικών συστατικών και συσκευών παρακολούθησης και αντιμετώπισης (Resh et al., 2022).

2.4 Διατηρησιμότητα- Διάρκεια Ζωής

Η φράουλα αποτελεί ένα πολύ ευαλλοίωτο φρούτο ιδίως όσο προχωρά η ωρίμανση της. Δεδομένου ότι, η συγκομιδή της γίνεται κατά την πλήρη ωρίμανσή της, όπου εμφανίζει τα πιο ευνοϊκά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, η μετασυλλεκτική της ζωή και η περίοδος γήρανσής της είναι περιορισμένη, γεγονός που δυσχεραίνει το εμπόριό της (Azam et al., 2019).

Η σύντομη διάρκεια ζωής της οφείλεται κυρίως στους υψηλούς μεταβολικούς ρυθμούς που παρουσιάζει (βαθμός αναπνοής), στην ευαισθησία του καρπού σε μηχανικούς τραυματισμούς, στην αυξημένη απώλεια σφριγγιότητας των ιστών και στην μόλυνση από παθογόνους μικροοργανισμούς που επιταχύνουν την απώλεια ποιότητας (Gol et al., 2013). Ακόμη, παρατηρείται υποβάθμιση του χρώματος και απώλεια ύδατος (Contigiani et al., 2018). Ο χρόνος αποθήκευσής της συχνά καθορίζεται από την ευπαθή φύση της και τη μόλυνση από μύκητες, και η διάρκεια ζωής της μετά τη συγκομιδή εκτιμάται στις 5 ημέρες, σε θερμοκρασίες αποθήκευσης από 0 έως 4 °C (Massoud et al., 2021).

Πιο συγκεκριμένα, η περιορισμένη διάρκεια ζωής της φράουλας οφείλεται σε φυσιολογικές λειτουργίες του φρούτου, την φύση του ίδιου του καρπού, την

μετασυλλεκτική επεξεργασία και χειρισμό, καθώς και τη μικροβιακή μόλυνση και αλλοίωση.

2.4.1 Φυσιολογικές Λειτουργίες των φρούτων

2.4.1.1 Αναπνοή

Η αναπνοή είναι μια μεταβολική διαδικασία που εξασφαλίζει την απαραίτητη ενέργεια για τις βιοχημικές διεργασίες των φυτών (Fonseca et al., 2002). Απαιτεί δέσμευση οξυγόνου από την ατμόσφαιρα προκειμένου να πραγματοποιηθεί οξειδωτική διάσπαση των οργανικών υποστρωμάτων (υδατάνθρακες, λιπίδια, και οργανικά οξέα) σε απλούστερα μόρια (νερό, διοξείδιο του άνθρακα και θερμότητα) (Nayik et al., 2014). Η διαδικασία αυτή, εξακολουθεί να πραγματοποιείται στο φρούτο και μετά τη συγκομιδή με τη διαφορά ότι τα υποστρώματα δεν αναπληρώνονται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την σταδιακή απώλεια θρεπτικής αξίας και υγρασίας, την υποβάθμιση της υφής, τη φτωχότερη γεύση και συνεπώς, τη μειωμένη ποιότητα του προϊόντος (Nayik et al., 2014).

Ακόμη, η θερμότητα και το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) που παράγονται ως υποπροϊόντα κατά την αναπνοή, συσσωρεύονται γύρω από τους καρπούς και περιορίζουν τη διαθεσιμότητα οξυγόνου με αποτέλεσμα την αλλαγή των χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα, τη διάσπαση των κυττάρων, την παραγωγή μικρών ποσοτήτων αλκοόλης, δυσοσμίας και, τέλος, τη σήψη ή αλλοίωση των νωπών προϊόντων (Nayik et al., 2014 ; Jalali et al., 2020). Στους διάφορους τύπους φρούτων οι ρυθμοί αναπνοής μετά τη συγκομιδή ποικίλλουν και κατ' επέκταση και οι ρυθμοί αλλοίωσης, αφού οι δύο ρυθμοί είναι ανάλογοι μεταξύ τους (Nayik et al., 2014).

2.4.1.2 Παραγωγή και έκθεση σε αιθυλένιο

Η ωρίμανση των κλιμακτηριακών καρπών, ελέγχεται κυρίως από το αιθυλένιο, μία ορμόνη που απαντάται φυσικά στους φυτικούς ιστούς και η επίδρασή του στα φρούτα εξαρτάται από τη θερμοκρασία, τον χρόνο έκθεσής τους σε αυτό και τη συγκέντρωσή του (Nayik et al., 2014). Ο καρπός της φράουλας έχει παραδοσιακά ταξινομηθεί ως μη κλιμακτηριακό φρούτο, με βάση τη χαμηλή ενδογενή παραγωγή αιθυλενίου και την αδυναμία επιτάχυνσης της ωρίμανσης των καρπών της φράουλας με την εξωτερική εφαρμογή αιθυλενίου ή ενώσεων που απελευθερώνουν αιθυλένιο (Merchante et al., 2013). Επομένως, η ωρίμανση της φράουλας, είναι πολύπλοκη και σχεδόν ανεξάρτητη από την βιοσύνθεση του αιθυλενίου, ενώ ελέγχεται από το αμικικό οξύ, την αυξίνη, το γιββερελικό οξύ, το αιθυλένιο, το γιασμονικό και τα βρασινοστεροειδή (Guo et al., 2018 ; Asao et al., 2019).

Ωστόσο, ενώ το αιθυλένιο έχει μικρή επίδραση στην ωρίμανση της φράουλας, η ποιότητα των καρπών είναι σημαντικά εξαρτώμενη από αυτό (Merchante et al., 2013 ; Nayik et al., 2014) . Συγκεκριμένα, η έκθεση μη κλιμακτηριακών φρούτων, στο αιθυλένιο αυξάνει τον ρυθμό απώλειας νερού, καθώς και τον ρυθμό αναπνοής επιφέροντας γρήγορη μείωση των αποθεμάτων υδατανθράκων με συνέπεια, τη γήρανση και κατ' επέκταση την απώλεια ποιότητας (Nayik et al., 2014). Ακόμη, αν και το αιθυλένιο στα φρούτα της φράουλας δεν έχει προφανή και εκτεταμένη επίδραση στην ωρίμανση, συμμετέχει στην έκφραση ενός υποσυνόλου γονιδίων που σχετίζονται με αυτή, όπως ορισμένα γονίδια που σχετίζονται με το κυτταρικό τοίχωμα και που εμπλέκονται στην απώλεια σφριγηλότητας των φρούτων (Merchante et al., 2013).

2.4.1.3 Ωρίμανση

Η ωρίμανση έχει αξιοσημείωτο αντίκτυπο τόσο στην ποιότητα των καρπών και στη διάρκεια ζωής τους μετά τη συγκομιδή, όσο και στην αποδοχή των καταναλωτών (Moya-León et al., 2019). Αποτελεί μία γενετικά προγραμματισμένη διαδικασία η οποία λαμβάνει χώρα στο τελικό στάδιο ανάπτυξης των καρπών και περιλαμβάνει μία σειρά βιοχημικών και φυσιολογικών διεργασιών, συμπεριλαμβανομένης της βιοσύνθεσης χρωστικών και αρωματικών πτητικών ενώσεων, της απώλειας σφριγηλότητας της σάρκας, της τροποποίησης των κυτταρικών τοιχωμάτων, της αποδόμησης της χλωροφύλλης και του αμύλου και της συσσώρευσης οργανικών οξέων, πολυφαινολών και άλλων αντιοξειδωτικών ενώσεων (Mercado et al., 2011 ; Voća et al., 2014 ; Moya-León et al., 2019). Κατά την ωρίμανση, τα φρούτα καθίστανται πιο εύγευστα, ενώ προστίθενται και ευεργετικές ιδιότητες καθιστώντας τα κατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση (Mercado et al., 2011). Συγκεκριμένα, η ωρίμανση επηρεάζει έντονα την διατροφική σύνθεση των φρούτων και καθορίζει το γευστικό προφίλ (Voća et al., 2014).

Κατά την ωρίμανση της φράουλας παρατηρείται αύξηση της ολικής περιεκτικότητας σε σάκχαρα μέχρι το στάδιο της πλήρους ωριμότητας του καρπού, και πιο αναλυτικά η συσσωρευμένη σακχαρόζη που ενέχεται στους ιστούς των ανώριμων καρπών, υδρολύεται σε μονοσακχαρίτες (όπως φρουκτόζη και γλυκόζη) (Azam et al., 2019). Σημαντικές μεταβολές υφίστανται και οι περιεκτικότητες των λιπαρών και οργανικών οξέων, των κετονών, των αλδευδών, των εστέρων και των αλκανίων (Azam et al., 2019). Ακόμη, ενώ οι διακυμάνσεις των βιοδραστικών ενώσεων εξαρτώνται από την ωρίμανση και από περιβαλλοντικούς παράγοντες, οι ώριμες φράουλες χαρακτηρίζονται από

υψηλή περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά, σάκχαρα και ασκορβικό οξύ, ενώ έχουν χαμηλή σκληρότητα και οξύτητα (Rahman et al., 2016 ; Azam et al., 2019).

Η φράουλα όντας μη κλιμακτηριακό φρούτο συλλέγεται σε διαφορετικά στάδια ωρίμανσης, ανάλογα με την ποικιλία, την τοποθεσία καλλιέργειας, τις καιρικές συνθήκες και τις προτιμήσεις της αγοράς (Rahman et al., 2016). Προκειμένου να επιτυγχάνεται μέγιστη ποιότητα καρπού (βέλτιστη θρεπτική αξία, χαρακτηριστικά γεύσης και χρώματος), οι καρποί της φράουλας πρέπει να συλλέγονται στο στάδιο της πλήρους ωρίμανσης (Voća et al., 2014). Ωστόσο, καθώς προχωρά η διαδικασία της ωρίμανσης, περιορίζεται η διάρκεια ζωής του καρπού (Rahman et al., 2016). Αυτό οφείλεται κυρίως στην απώλεια σφριγηλότητας αυτών, που οδηγεί στην αυξημένη ευαισθησία σε παθογόνα, καθώς και στην ανάπτυξη ανεπιθύμητης γεύσης και χρώματος, και συνεπώς μείωση της ποιότητας (Mercado et al., 2011). Ωστόσο, αυτοί οι επιθυμητοί χαρακτήρες των φρούτων συνοδεύονται από υψηλή αναπνοή και ρυθμό μαλακώματος των ιστών, απώλεια νερού και ευαισθησία τραυματισμού της επιφάνειας του καρπού και, ως εκ τούτου, προσβολή από μύκητες (Azam et al., 2019). Από την άλλη πλευρά, όταν οι φράουλες συγκομίζονται πριν από την περίοδο της βέλτιστης ωρίμανσης, η διάρκεια ζωής τους παρατείνεται αλλά η θρεπτική αξία και η ποιότητα μειώνονται (Rahman et al., 2016). Επομένως, είναι απαραίτητο να υπάρχει ισορροπία μεταξύ του σταδίου ωρίμανσης και της περιεκτικότητας των φρούτων σε θρεπτικά συστατικά προκειμένου να διατηρείται η ποιότητα και η διάρκεια ζωής του καρπού, μετά τη συγκομιδή, σε ισορροπία (Rahman et al., 2016).

2.4.2 Φύση καρπού

Η υφή του καρπού της φράουλας αποτελεί σημαντική παράμετρος αποδοχής και δεδομένης της ευαίσθητης φύσης του καρπού, η διατήρησή της σε αποδεκτά επίπεδα είναι μεγάλη πρόκληση. Η ταχεία απώλεια σφριγηλότητας είναι μια από τις πιο αξιοσημείωτες αλλαγές κατά την ωρίμανση, καθώς δεν καθορίζει μόνο την ποιότητα και τη διάρκεια ζωής της φράουλας μετά τη συγκομιδή, αλλά και άλλες οικονομικά σημαντικές παραμέτρους, όπως τη συχνότητα της συγκομιδής, τις διαδικασίες χειρισμού και την απόσταση που μπορεί να μεταφερθεί ο καρπός κατά το εμπόριο, ενώ από την πλευρά του καταναλωτή, η υφή είναι το κύριο ποιοτικό χαρακτηριστικό που καθορίζει την αποδοχή των φρούτων στην αγορά (Paniagua et al., 2017; Moya-León et al., 2019).

Γενικά, οι κύριες αιτίες απώλειας σφριγηλότητας των καρπών είναι η λύση του κυτταρικού τοιχώματος και η μείωση της συνεκτικότητας μεταξύ των κυττάρων, ενώ οι

τροποποιήσεις του κυτταρικού τοιχώματος περιλαμβάνουν τον αποπολυμερισμό του υποστρώματος της γλυκάνης, τη διαλυτοποίηση και/ή αποπολυμερισμό πηκτινών και την απώλεια ουδέτερων σακχάρων από αλυσίδες πηκτίνης (Paniagua et al., 2017; Moya-León et al., 2019).

2.4.3 Μετασυλλεκτική Επεξεργασία και Μηχανικές Βλάβες

2.4.3.1 Συνθήκες Αποθήκευσης

Η διαχείριση της θερμοκρασίας κατά την αποθήκευση είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για την ελαχιστοποίηση της υποβάθμισης της ποιότητας των καρπών και την παράταση της διάρκειας ζωής της φράουλας (Rahman et al., 2016). Οι αλλαγές στα χαρακτηριστικά ποιότητας των καρπών της φράουλας συνδέονται στενά με τη θερμοκρασία αποθήκευσης και τη σχετική υγρασία κατά την αποθήκευση υπό ψύξη (Lee et al., 2022). Γενικότερα, όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία αποθήκευσης, τόσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια αποθήκευσης ενός φρούτου, με την προϋπόθεση ότι δεν τελείται κατάψυξη του προϊόντος (Nayik et al., 2014). Ακόμη, η ακατάλληλη ή καθόλου απομάκρυνση θερμότητας γύρω από το προϊόν και η κακή διαχείριση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της εφοδιαστικής αλυσίδας επιφέρουν ταχεία υποβάθμιση της ποιότητας και ως εκ τούτου μη αναστρέψιμες απώλειες (Asao et al., 2019). Μία σημαντική αρνητική επίδραση της ανεπαρκούς ψύξης, αποτελεί η απώλεια νερού που μπορεί να οδηγήσει σε συρρίκνωση και θαμπή εμφάνιση της επιδερμίδας του καρπού (Falah et al., 2016). Επομένως, για να διατηρηθεί η ποιότητα των καρπών της φράουλας μετά τη συγκομιδή, η πιο κοινή μέθοδος είναι η στιγμιαία ψύξη των καρπών μετά τη συγκομιδή και στη συνέχεια η συνεχής αποθήκευση σε χαμηλή θερμοκρασία από 0 έως 4°C (Asao et al., 2019).

2.4.3.2 Χειρισμός

Ο χειρισμός των φρούτων πρέπει να διενεργείται προσεκτικά με σκοπό την αποφυγή τραυματισμού της επιφάνειας του καρπού (Nayik et al., 2014). Οι τραυματισμοί αποτελούν πύλη για παθογόνους μικροοργανισμούς και μπορεί να προκύψουν λόγω απρόσεχτης συγκομιδής από μη εκπαιδευμένα άτομα, συνωστισμού καρπών, χρήση ακατάλληλων συσκευασιών και πολλαπλών χειρισμών (Asao et al., 2019).

Τα ευαίσθητα φρούτα, όπως η φράουλα, λόγω της εύθραυστης επιδερμίδας τους και της έλλειψης προστατευτικού φλοιού (εξωκάρπιο), είναι εξαιρετικά επιρρεπή σε μετασυλλεκτικούς τραυματισμούς, οι οποίοι οδηγούν σε μειωμένη αισθητική ποιότητα του καρπού που μπορεί να έχει οικονομικές επιπτώσεις (Asao et al., 2019; Azam et al., 2019). Ακόμη, η μείωση της σκληρότητας της σάρκας λόγω λανθασμένων πρακτικών χειρισμού,

συνδέεται ισχυρά με την αυξημένη αλλοιωσιμότητα των καρπών (Aghdam et al., 2021; Hong et al., 2021). Έτσι, τα φρούτα μαλακώνουν γρήγορα και τα συστατικά του κυτταρικού τοιχώματος αποικοδομούνται κατά την αποθήκευση υπό ψύξη (Ortiz Araque et al., 2019; Wang et al., 2020; Lee et al., 2022).

2.4.4 Μικροβιακή Αλλοίωση

Εκτός από τους παραπάνω παράγοντες που επηρεάζουν τη διάρκεια ζωής όλων των φρούτων γενικότερα, κύριος υπαίτιος της αλλοίωσης του καρπού της φράουλας είναι η ανάπτυξη μυκήτων (Feliziani et al., 2016). Το κύριο παθογόνο της φράουλας, είναι ο μύκητας *Botrytis cinerea*, που προκαλεί την “γκρίζα μούχλα”, καθώς και η προσβολή από τον μύκητα *Rhizopus stolonifer*, ενώ πολλά ακόμη παθογόνα μπορούν να προκαλέσουν αλλοίωση μετά τη συγκομιδή, όπως τα είδη *Mucor*, *Collectotrichum* και *Phytophthora* (Feliziani et al., 2016) (Contigiani et al., 2018) (Azam et al., 2019). Η συχνότητα προσβολής από μύκητες μετά τη συγκομιδή εξαρτάται από το επίπεδο μόλυνσης στο στάδιο της ωρίμανσης καθώς και τη μόλυνση λόγω της τάσης μαλακώματος των καρπών και της ευαισθησίας σε επιδερμικούς τραυματισμούς που προκαλούνται από το χειρισμό (Contigiani et al., 2018).

2.4.4.1 Grey Mold

Ο *Botrytis cinerea* είναι ένας μύκητας που εντοπίζεται σε πολλές καλλιέργειες, τόσο στο φυτό όσο και στον καρπό μετά τη συγκομιδή. Από τα μετασυλλεκτικά παθογόνα της φράουλας, το *B. cinerea* θεωρείται το πιο κοινό και σημαντικό (Feliziani et al., 2016). Η μόλυνση από τον συγκεκριμένο μύκητα μπορεί να γίνει πριν την συγκομιδή αλλά να παραμείνει σε λανθάνουσα μορφή μέχρι την αποθήκευση. Κατά την αποθήκευση, το παθογόνο αναπτύσσεται σε συνθήκες υψηλής υγρασίας και χαμηλής θερμοκρασίας (σε συνθήκες αποθήκευσης 0-5°C η άμυνα του καρπού μειώνεται), και η μόλυνση ξεκινά από φυσικά ανοίγματα ή μηχανικές πληγές που εμφανίζονται στον καρπό (Feliziani et al., 2016). The fungus infects the fruit, causing it to become deformed, dried out, dark and rapidly covered with a powdery layer of spores, which gives a grey appearance. Στην αρχή της μόλυνσης, εμφανίζεται μια σκοτεινή κυκλική περιοχή στον καρπό του φρούτου, ο ιστός στην περιοχή αυτή αλλοιώνεται, γίνεται πιο μαλακός, προκαλείται τοπική απώλεια υγρασίας και γρήγορα παρατηρείται εξάπλωση καλύπτοντας τον καρπό με ένα στρώμα σπορίων, το οποίο δίνει μία γκριζα όψη (Feliziani et al., 2016; Husaini et al., 2016). Συχνά, το *B. cinerea* μπορεί να μεταφερθεί από ένα μη υγιές σε ένα υγιές φρούτο και να αναπτυχθεί (Feliziani et al., 2016).

2.4.4.2 Soft rot

Μία ακόμη ασθένεια που εμφανίζεται στον καρπό της φράουλας μετά τη συγκομιδή γνωστή ως soft rot, black rot, leak, Rhizopus rot, or Mucor rot οφείλεται σε προσβολή του καρπού από μύκητες του γένους Rhizopus (συνήθως τον R. Stolonifera), και του γένους Mucor. Η προσβολή αυτή μπορεί να είναι καταστροφική, καθώς οι μύκητες αυτοί χαρακτηρίζονται από υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης και μπορούν να εξαπλωθούν γρήγορα από ένα μολυσμένο φρούτο στα υγιά (Feliziani et al., 2016).

2.5 Μελέτες Διατηρησιμότητας Φράουλας

Η διάρκεια ζωής του καρπού της φράουλας μετά τη συγκομιδή, όπως γίνεται αντιληπτό, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και όπως είναι αναμενόμενο πολλές έρευνες έχουν επικεντρωθεί στη μελέτη της διατηρησιμότητας αυτού του φρούτου και στην μελέτη των διακυμάνσεων πολλών φυσικοχημικών, οργανοληπτικών και άλλων παραμέτρων κατά την διάρκεια ζωής του μετά τη συγκομιδή. Στον παρακάτω πίνακα (Πιν. 2), ύστερα από ενδελεχή έρευνα, γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση των δημοσιεύσεων γύρω από την διατηρησιμότητα της φράουλας, όπου παρατίθενται οι αναλύσεις, οι μέθοδοι, καθώς και ο σκοπός αυτών.

Πίνακας 2. Πειράματα και μέθοδοι που σχετίζονται με τη διάρκεια ζωής της φράουλας μετά τη συγκομιδή, κατά την αποθήκευση

Αναλύσεις	Μέθοδοι/Σκοπός	Αναφορά
Μελέτη της συμπεριφοράς ποικιλιών φράουλας, τόσο κατά την ωρίμανση όσο και κατά τη διάρκεια ζωής τους	Ποσοτικοποίηση της περιεχόμενης φουρανόλης και των παραγώγων της <ul style="list-style-type: none">Υγρής χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC)	Furanones in strawberries: evolution during ripening and postharvest shelf life. Pérez, A. G., Olías, R., Sanz, C., & Olías, J. M. (1996).
Αξιολόγηση μετασυλλεκτικής ζωής και γευστικής ποιότητας ποικιλιών φράουλας	Υπολογισμός του ρυθμού αναπνοής των καρπών αποθηκευμένων στον αέρα φρούτων και της παραγωγής αιθυλενίου <ul style="list-style-type: none">Χρήση αναλυτή υπέρυθρων αερίων	Postharvest life and flavor quality of three strawberry cultivars

<p>κατά την αποθήκευση στους 5 °C στον αέρα ή σε αέρα εμπλουτισμένο με 20 kPa CO₂</p>	<p>Ανάλυση σακχαρόζης, γλυκόζης, φρουκτόζης και κιτρικού και μηλικού οξέος</p> <ul style="list-style-type: none"> • Χρήση αερίου χρωματογράφου ιονισμού φλόγας <p>Υπολογισμός της συνολικής συγκέντρωσης ανθοκυανινών</p> <ul style="list-style-type: none"> • Φασματοφωτομετρική μέθοδος <p>Υπολογισμός ολικού φαινολικού περιεχομένου</p> <ul style="list-style-type: none"> • Μέθοδος Folin-Ciocalteu <p>Ανάλυση φουρανονών</p> <ul style="list-style-type: none"> • Μέθοδος υγρής χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης (HPLC) <p>Ανάλυση ζυμωτικών μεταβολιτών (ακεταλδεΐδη, αιθανόλη και οξικός αιθυλεστέρας)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αέρια χρωματογραφία (GC) <p>Ανάλυση των αρωματικών ενώσεων</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αέρια χρωματογραφία συζευγμένη με φασματοσκοπία μάζας (GC-MS) <p>Προσδιορισμός των ολικών διαλυτών στερεών (TSS)</p> <p>Προσδιορισμός της ογκομετρούμενης οξύτητας (TA)</p>	<p>kept at 5 C in air or air+ 20 kPa CO₂.</p> <p>Pelayo, C., Ebeler, S. E., & Kader, A. A. (2003).</p>
<p>Αξιολόγηση ποιοτικών αλλαγών συσκευασμένων καρπών φράουλας κατά την ψυχρή αποθήκευση</p>	<p>Προσδιορισμός βάρους δειγμάτων με χρήση ψηφιακού ζυγού</p> <p>Πραγματοποίηση ανάλυσης υφής</p> <p>Προσδιορισμός των ολικών διαλυτών στερεών (TSS)</p> <p>Προσδιορισμός της ογκομετρούμενης οξύτητας (TA)</p> <p>Προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε ασκορβικό οξύ με ογκομετρική μέθοδο</p>	<p>Quality changes of three strawberry cultivars during the cold storage.</p> <p>Koyuncu, M. A. (2004).</p>

	<p>Αξιολόγηση χρώματος επιφάνειας καρπών με χρωματόμετρο</p> <p>Οργανοληπτική αξιολόγηση</p> <p>Ποσοτικοποίηση της περιεχόμενης βιταμίνης C και οργανικών οξέων</p> <ul style="list-style-type: none"> • HPLC 	
<p>Αξιολόγηση μετασυλλεκτικής ποιότητας και διάρκειας ζωής ποικιλιών φράουλας</p>	<p>Αξιολόγηση χρώματος και φωτεινότητας καρπού</p> <ul style="list-style-type: none"> • Χρήση CTIFL color chart <p>Πραγματοποίηση αισθητηριακών αναλύσεων</p> <p>Προσδιορισμός των ολικών διαλυτών στερεών (TSS)</p> <p>Προσδιορισμός της ογκομετρούμενης οξύτητας (TA)</p>	<p>Quality and shelf life of strawberry cultivars in Poland.</p> <p>Rutkowski, K. P., Kruczynska, D. E., & Zurawicz, E. (2004, September).</p>
<p>Αξιολόγηση χημικής σύστασης και αντιοξειδωτικής ικανότητας κατά τη διατηρησιμότητα φράουλας σε διαφορετικές θερμοκρασίες</p>	<p>Προσδιορισμός διαλυτών σακχάρων</p> <ul style="list-style-type: none"> • Υγρή χρωματογραφία υψηλής πίεσης με παλμική αμπερομετρική ανίχνευση (HPLC-PAD) <p>Υπολογισμός ολικού φαινολικού περιεχομένου</p> <ul style="list-style-type: none"> • Μέθοδος Folin-Ciocalteu <p>Προσδιορισμός ασκορβικού οξέος</p> <ul style="list-style-type: none"> • HPLC αντίστροφης φάσης <p>Ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση φλαβονοειδών</p> <ul style="list-style-type: none"> • HPLC αντίστροφης φάσης <p>Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής ικανότητας</p> <ul style="list-style-type: none"> • Μέθοδος β-Carotene Bleaching 	<p>Effects of temperature on the chemical composition and antioxidant activity of three strawberry cultivars.</p> <p>Cordenunsi, B. R., Genovese, M. I., do Nascimento, J. R. O., Hassimotto, N. M. A., dos Santos, R. J., & Lajolo, F. M. (2005).</p>
<p>Αξιολόγηση παραμέτρων του καρπού φράουλας κατά την αποθήκευση σε ατμόσφαιρες υψηλού</p>	<p>Αξιολόγηση αντιοξειδωτικής ικανότητας, ολικών φαινολικών, πτητικών ενώσεων και ποιότητας</p> <p>Προσδιορισμός των ολικών διαλυτών στερεών (TSS)</p>	<p>High oxygen treatment increases antioxidant capacity and postharvest life of strawberry fruit.</p>

<p>οξυγόνου μετά τη συγκομιδή</p>	<p>Προσδιορισμός της ογκομετρούμενης οξύτητας (TA)</p> <p>Μέτρηση παραμέτρων χρώματος της επιφάνειας των καρπών (χρωματόμετρο)</p> <p>Υπολογισμός ολικού φαινολικού περιεχομένου</p> <ul style="list-style-type: none"> • Μέθοδος Folin-Ciocalteu, <p>Δοκιμασία ικανότητας απορρόφησης ριζών οξυγόνου</p> <p>Ανάλυση πτητικών ενώσεων με χρήση αέριας χρωματογραφίας (GC)</p>	<p>Ayala-Zavala, J. F., Wang, S. Y., Wang, C. Y., & González-Aguilar, G. A. (2007).</p>
<p>Αξιολόγηση φυσικών ιδιοτήτων και αντιοξειδωτικής ικανότητας κατά τη διατηρησιμότητα σε διαφορετικές συνθήκες υγρασίας, θερμοκρασίας ψύξης και σταδίου ωρίμανσης καρπών φράουλας.</p>	<p>Υπολογισμός του ποσοστού απώλειας βάρους κατά την αποθήκευση</p> <p>Προσδιορισμός σκληρότητας με χρήση αναλυτή πίεσης</p> <p>Προσδιορισμός μεταβλητών χρώματος του φλοιού (χρωματόμετρο)</p> <p>Προσδιορισμός περιεχομένου σε ανθοκυανίνες</p> <ul style="list-style-type: none"> • Χρήση μεθόδου διαφορικού pH <p>Προσδιορισμός ολικού περιεχομένου σε φλαβονοειδή εκφρασμένου σε ισοδύναμα κατεχίνης</p> <ul style="list-style-type: none"> • Χρωματομετρική δοκιμασία <p>Υπολογισμός ολικού φαινολικού περιεχομένου</p> <ul style="list-style-type: none"> • Μέθοδος Folin Ciocalteu <p>Ενζυματική μέθοδος προσδιορισμού ασκορβικού οξέος</p> <p>Δοκιμασία PSC (υπεροξυλική ικανότητα σάρωσης ριζών)</p> <p>Μέτρηση του κυτταρικού πολλαπλασιασμού</p> <p>Προσδιορισμός ολικής αντιοξειδωτικής ικανότητας</p>	<p>Harvest maturity, storage temperature and relative humidity affect fruit quality, antioxidant contents and activity, and inhibition of cell proliferation of strawberry fruit.</p> <p>Shin, Y., Ryu, J. A., Liu, R. H., Nock, J. F., & Watkins, C. B. (2008).</p>
<p>Αξιολόγηση ποιοτικών παραμέτρων κατά την</p>	<p>Μελέτη υφής (αναλυτή υφής)</p> <p>Μέτρηση pH (πεχάμετρο)</p>	<p>Comparison of physiochemical</p>

<p>αποθήκευση καρπών φράουλας υπό ψύξη.</p>	<p>Προσδιορισμός ογκομετρούμενης οξύτητας (μέθοδος AOAC)</p> <p>Προσδιορισμός ολικών σακχάρων</p> <ul style="list-style-type: none"> • Μέθοδος Gravimeter-Fehling <p>Μέτρηση παραμέτρων χρώματος (χρωματόμετρο)</p> <p>Οργανοληπτική αξιολόγηση</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αξιολόγηση εμφάνισης, σκληρότητας, αρώματος και οξύτητας σε κλίμακα 1-5. 	<p>changes in two popular strawberry cultivars grown in Iran (cvs. kurdistan & selva) during storage time at 4 °C.</p> <p>Jouki, M., & Dadashpour, A. (2012).</p>
<p>Αξιολόγηση της διάρκειας ζωής και της ποιότητας φράουλας με εφαρμογή βρώσιμων επικαλύψεων εμπλουτισμένων με χιτοζάνη.</p>	<p>Υπολογισμός ολικού φαινολικού περιεχομένου</p> <ul style="list-style-type: none"> • Μέθοδος Folin Ciocalteu <p>Υπολογισμός του ποσοστού απώλειας βάρους κατά την αποθήκευση</p> <p>Υπολογισμός του ποσοστού αποσύνθεσης των καρπών λόγω μόλυνσης από μύκητες ή άλλο μικροοργανισμό</p> <p>Προσδιορισμός των ολικών διαλυτών στερεών (TSS)</p> <p>Μέτρηση pH (πεχάμετρο)</p> <p>Προσδιορισμός της ογκομετρούμενης οξύτητας (TA)</p> <p>Προσδιορισμός περιεχομένου σε βιταμίνη C</p> <p>Προσδιορισμός περιεχομένου σε ανθοκυανίνες</p> <p>Αξιολόγηση της αισθητηριακής ποιότητας με βάση το χρώμα, τη γεύση, την υφή και τη συνολική αποδοχή για όλα τα δείγματα μετά από 8 και 12 ημέρες αποθήκευσης.</p>	<p>Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan.</p> <p>Gol, N. B., Patel, P. R., & Rao, T. R. (2013).</p>
<p>Αξιολόγηση φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των καρπών φράουλας κατά</p>	<p>Προσδιορισμός περιεκτικότητας σε ολικά διαλυτά στερεά (SSC)</p> <p>Προσδιορισμός ογκομετρούμενης οξύτητας (TA)</p> <p>Προσδιορισμός περιεκτικότητας σε ασκορβικό οξύ (μέθοδος GB/T 5009.86-2003)</p>	<p>Physical and chemical characteristics of three strawberry cultivars during cold storage.</p>

<p>την αποθήκευση υπό ψύξη.</p>	<p>Προσδιορισμός περιεκτικότητας σε σάκχαρα Μέτρηση παραμέτρων χρώματος με χρωματόμετρο Προσδιορισμός ολικής περιεκτικότητας ανθοκυανινών</p> <ul style="list-style-type: none"> Χρήση μεθόδου διαφορικού pH <p>Ανάλυση του περιεχομένου σε ελλαγικό οξύ</p> <ul style="list-style-type: none"> HPLC <p>Οργανοληπτική αξιολόγηση</p>	<p>Feng, X. Y., Wang, B. G., Li, W. S., Yang, Y., Shi, L., & Yang, J. J. (2014).</p>
<p>Αξιολόγηση φυσικών και θρεπτικών παραμέτρων καρπών φράουλας κατά την αποθήκευση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και υπό ψύξη μετά τη συγκομιδή.</p>	<p>Προσδιορισμός βάρους και διαστάσεων καρπών Προσδιορισμός σκληρότητας καρπών (αναλυτής υφής) Προσδιορισμός παραμέτρων χρώματος (χρωματόμετρο) Προσδιορισμός περιεκτικότητας σε νερό (θερμοβαρυσμετρική μέθοδος) Υπολογισμός οξύτητας (πεχάμετρο) Προσδιορισμός του συνόλου των καροτενοειδών Ογκομετρικός προσδιορισμός περιεκτικότητας σε ασκορβικό οξύ</p>	<p>Quality evaluation of fresh strawberry (<i>Fragaria</i> sp. cv. Earlybrite) during storage in a tropical environment.</p> <p>Falah, M. A. F., Husna, H. I., Dewi, A. A., & Jumeri. (2016, July).</p>
<p>Συσχέτιση του σταδίου ωρίμανσης κατά το οποίο έγινε συγκομιδή καρπών φράουλας με τη διάρκεια ζωής τους</p>	<p>Προσδιορισμός της απώλειας βάρους των καρπών Καθορισμός της διάρκειας ζωής των καρπών</p> <ul style="list-style-type: none"> Παρατήρηση και αξιολόγηση των παραμέτρων ποιότητας (όπως η σήψη, η συρρίκνωση, η συχνότητα εμφάνισης ασθενειών κ.λπ.) σε σχέση με τη διάρκεια αποθήκευσης <p>Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών (TSS) Προσδιορισμός της ολικής περιεκτικότητας σε σάκχαρα</p>	<p>Maturity stages affect the postharvest quality and shelf-life of fruits of strawberry genotypes growing in subtropical regions.</p> <p>Rahman, M. M., Moniruzzaman, M., Ahmad, M. R., Sarker,</p>

	<p>Προσδιορισμός της τιτλοδοτούμενης οξύτητας και της περιεκτικότητας σε ασκορβικό οξύ με ογκομετρικές μεθόδους</p>	<p>B. C., & Alam, M. K. (2016).</p>
<p>Πρόβλεψη μετασυλλεκτικής ζωής φράουλας</p>	<p>Προσδιορισμός λήξης διάρκειας ζωής του δείγματος</p> <ul style="list-style-type: none"> Φασματοσκοπικές μέθοδοι (UV-VIS-NIR) <p>Αξιολόγηση των αισθητηριακών παραμέτρων</p> <ul style="list-style-type: none"> Οργανοληπτική αξιολόγηση 	<p>NNB Monitoring and prediction of sensory shelf-life in strawberry with ultraviolet–visible–near-infrared (UV-VIS-NIR) spectroscopy. Joshi, P., Pahariya, P., Al-Ani, M. F., & Choudhary, R. (2022).</p>
<p>Συσχέτιση του σταδίου ωρίμανσης κατά το οποίο έγινε συγκομιδή καρπών φράουλας, με τη διάρκεια ζωής τους</p>	<p>Προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε ολικές φαινολικές ενώσεις</p> <ul style="list-style-type: none"> Χρωματομετρική μέθοδος Folin–Ciocalteu <p>Προσδιορισμός της συνολικής αντιοξειδωτικής δράσης</p> <ul style="list-style-type: none"> Μέθοδος DPPH <p>Προσδιορισμός της συνολικής περιεκτικότητας σε φλαβονοειδή και ανθοκυανίνες</p> <p>Αξιολόγηση της σύνθεσης ανθοκυανίνης</p> <ul style="list-style-type: none"> Υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC) <p>Εκχύλιση του ολικού RNA και αξιολόγηση των αλλαγών στη γονιδιακή έκφραση</p>	<p>Relationship of fruit color and anthocyanin content with related gene expression differ in strawberry cultivars during shelf life. Lee, C., Lee, J., & Lee, J. (2022).</p>

	Προσδιορισμός μορφολογικών και φυσικοχημικών μεταβλητών (βάρους, μήκος και διάμετρος των φρούτων) Προσδιορισμός μεταβλητών χρώματος του φλοιού (χρωματόμετρο) Υπολογισμός του ρυθμού αναπνοής των καρπών και του διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂) Προσδιορισμός των ολικών διαλυτών στερεών (TSS) Προσδιορισμός της ογκομετρούμενης οξύτητας (TA)	
--	--	--

Από τον παραπάνω πίνακα, γίνεται αντιληπτό πως η αξιολόγηση της διατηρησιμότητας προσεγγίζεται με διαφορετικό τρόπο και συνδυασμό μεθόδων από κάθε ερευνητική ομάδα. Αξίζει να σημειωθεί, πως στις περισσότερες από τις παραπάνω έρευνες έγινε επεξεργασία των αποτελεσμάτων με στατιστική ανάλυση για την ερμηνεία τους. Παρατηρείται πως για την αξιολόγηση της διατηρησιμότητας της φράουλας έχουν χρησιμοποιηθεί αναλύσεις των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών τους και των οργανοληπτικών τους ιδιοτήτων, φασματοσκοπικές, φωτομετρικές, αλλά και χρωματομετρικές αναλύσεις. Επίσης, τα αποτελέσματα εμφανίζουν μεγάλη παραλλακτικότητα λόγω των διαφορετικών συνθηκών αποθήκευσης, του διαφορετικού σταδίου ωρίμανσης που έγινε συγκομιδή του καρπού, των πρακτικών και συνθηκών καλλιέργειας, καθώς και των ποικιλιών φράουλας που αναλύθηκαν.

3.Σκοπός

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η αξιολόγηση της μετασυλλεκτικής ποιότητας των καρπών φράουλας υδροπονικής καλλιέργειας και φθινοπωρινής καρποφορίας, όσον αφορά τα ποιοτικά της χαρακτηριστικά. Αξιολογήθηκαν πολλές φυσικοχημικές παράμετροι, καθώς και το θρεπτικό περιεχόμενο των καρπών κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους υπό ψύξη σε θερμοκρασία 8 ± 0.5 °C. Λαμβάνοντας υπόψιν την βιβλιογραφική ανασκόπηση, επιλέχθηκαν αναλύσεις που δε περιορίζονται σε έναν μόνο επιστημονικό κλάδο προκειμένου να γίνει συσχέτιση πληθώρας παραμέτρων και να εξαχθούν πολυδιάστατα αποτελέσματα. Για το σκοπό αυτό οι αναλύσεις που επιλέχθηκαν συνοψίζονται παρακάτω.

1. Ανάλυση εικόνας και αξιολόγηση παραμέτρων υφής και χρώματος
2. Προσδιορισμός ενεργότητας ύδατος (a_w)
3. Προσδιορισμός περιεκτικότητας σε υγρασία
4. Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών (TSS)
5. Προσδιορισμός ογκομετρούμενης οξύτητας (TA)
6. Προσδιορισμός περιεκτικότητας σε ασκορβικό οξύ
7. Μέτρηση παραμέτρων χρώματος (χρωματόμετρο)
8. Ανάλυση υφής (Texture Analyzer)
9. Φασματοσκοπία Μετασχηματισμού Fourier με Αποσβένουσα Ολική Ανάκλαση (FTIR-ATR)
10. Προσδιορισμός ολικών φαινολικών (ανάλυση FRAP)
11. Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής (μέθοδος Folin-Ciocalteu) και αντιριζικής δράσης (μέθοδος ABTS)

Από τις παραπάνω αναλύσεις μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάλυση της υφής μέσω της ανάλυσης εικόνας. Η ανάλυση εικόνας μπορεί να αποτελέσει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο αξιολόγησης ποιοτικών χαρακτηριστικών υφής στον καρπό της φράουλας, καθώς μπορούν να εξαχθούν πληροφορίες με μη καταστρεπτικό τρόπο. Επίσης, η ενεργότητα ύδατος (a_w), η ογκομετρούμενη οξύτητα (TA), η περιεκτικότητα σε υγρασία, ολικά διαλυτά στερεά (TSS) και ασκορβικό οξύ, αποτελούν πολύτιμοι δείκτες ποιότητας της φράουλας και αξίζει να αξιολογηθούν. Ένα ακόμη εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε είναι η φασματοσκοπία υπερύθρου (FTIR), μία αξιόπιστη αναλυτική τεχνική, μέσω της οποίας μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για χαρακτηριστικά ποιότητας, βιοδραστικές ενώσεις και για την αντιοξειδωτική ικανότητα στα τρόφιμα.

3. Υλικά και μέθοδοι

3.1 Δειγματοληψία

Η παραλαβή των δειγμάτων καρπών φράουλας πραγματοποιήθηκε στις 9/12/2022 από την εταιρεία 'K&K GREEN FARMS Hydroponics strawberry', ενώ η συγκομιδή των δειγμάτων έλαβε χώρα στις 8/12/2022 (Ημέρα 0).

Τα δείγματα καρπών φράουλας παραδόθηκαν από τον προμηθευτή εντός κατάλληλων περιεκτών και αποθηκεύτηκαν στον πανεπιστημιακό χώρο σε κλίβανο σταθερής θερμοκρασίας και υγρασίας έως την ολοκλήρωση της σειράς πειραμάτων. Η θερμοκρασία ρυθμίστηκε στους $8\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, προσομοιάζοντας μία μέση θερμοκρασία διατήρησης της φράουλας σε οικιακό ψυγείο και η υγρασία κυμάνθηκε στην περιοχή $60\pm 2\%$.



Εικόνα 1. Παραλαβή δειγμάτων
Πηγή: προσωπικό αρχείο

Τα δείγματα που μελετήθηκαν προέρχονταν από υδροπονική καλλιέργεια της ποικιλίας Marisol (*Fragaria × ananassa* Duchesne). Η καλλιέργεια πραγματοποιήθηκε στην Ελλάδα, και σε συνθήκες υδροπονίας. Η φύτευση των φυτών φράουλας πραγματοποιήθηκε τέλη Σεπτεμβρίου με αρχές Οκτώβριου (2022) σε ημίψηλα θερμοκήπια/τούνελ. Τα φυτά καλλιεργούνται σε οργανικό πορώδες υπόστρωμα, κοκοφοίνικα, στο οποίο προστίθεται κατάλληλο θρεπτικό διάλυμα, η πυκνότητα και η ποσότητα του οποίου εξαρτώνται από την επικρατούσα θερμοκρασία. Η ποικιλία Marisol, αποτελεί μία short-day ποικιλία και οι

οφθαλμοί των φυτών δημιουργούνται σε συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών, ενώ καρποφορούν τέλη Δεκεμβρίου, Φεβρουάριο και Μάρτιο.

Πραγματοποιήθηκαν πέντε (5) προγραμματισμένοι κύκλοι αναλύσεων ανά δύο ή τρεις μέρες και η διάρκεια αυτών ήταν συνολικά έντεκα (11) ημέρες. Η λήξη των πειραμάτων επήλθε την ημέρα που οι καρποί κρίθηκαν μη αποδεκτοί για κατανάλωση. Κάθε ημέρα (κύκλος) ανάλυσης περιλάμβανε όλες τις τεχνικές που περιγράφονται παρακάτω, ενώ η επιλογή των δειγμάτων σε κάθε ημέρα αναλύσεων από τους περιέκτες ήταν τυχαία, με σκοπό την όσο το δυνατόν πιο επιτυχή δειγματοληψία και την εξαγωγή στατιστικά αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι ημερομηνίες διεξαγωγής των κύκλων πειραματικών διαδικασιών και ο τρόπος κωδικοποίησης των δειγμάτων. Η πρώτη ημέρα διεξαγωγής των αναλύσεων, ήταν η μέρα παραλαβής των δειγμάτων (Ημέρα 1).

Πίνακας 3. Ημερομηνίες διεξαγωγής των πειραμάτων και ο τρόπος κωδικοποίησης των δειγμάτων

Ημερομηνία	Κωδικοί δειγμάτων
9/12/2022: Ημέρα 1	SS _{1.1} έως SS _{1.12}
12/12/2022: Ημέρα 4	SS _{2.1} έως SS _{2.12}
14/12/2022: Ημέρα 6	SS _{3.1} έως SS _{3.12}
16/12/2022: Ημέρα 8	SS _{4.1} έως SS _{4.12}
19/12/2022: Ημέρα 11	SS _{5.1} έως SS _{5.12}

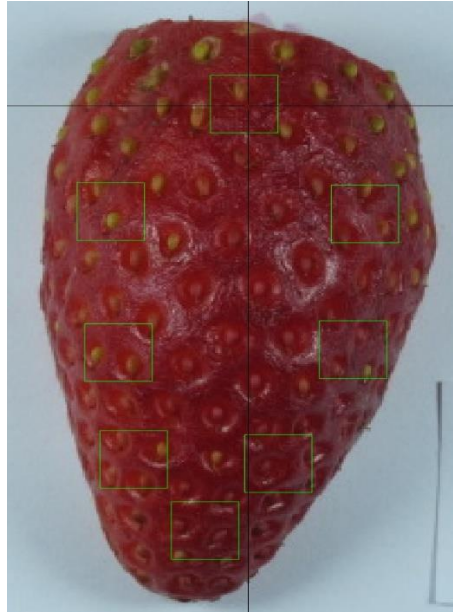
3.2 Λήψη φωτογραφίας για την Ανάλυση Υφής-Εικόνας

Η διαδικασία αυτή, είχε ως σκοπό την ανάλυση της υφής της εικόνας για την εξαγωγή σημαντικών πληροφοριών σχετικά με την υφή, το χρώμα και κατ' επέκταση την ποιότητα του καρπού της φράουλας κατά την αποθήκευση υπό ψύξη.

Σε κάθε ημέρα αναλύσεων 12 φράουλες φωτογραφήθηκαν, ύστερα από κατάλληλη κοπή, με την ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Sony DSCW800/B (Sony Europe Limited, Edinburgh, United Kingdom), τοποθετημένη στην ίδια απόσταση σε κάθε ανάλυση. Η λήψη

φωτογραφίας πραγματοποιήθηκε τόσο στην εξωτερική όσο και στην εσωτερική επιφάνεια του καρπού. Οι φωτογραφίες των δειγμάτων λήφθηκαν σε διάφραγμα φακού $f=4,6$ και ανάλυση 1280×720 pixel και αποθηκεύτηκαν σε μορφή jpeg, ενώ κατά τη διάρκεια της φωτογράφισης επιτεύχθηκαν κατάλληλες και σταθερές συνθήκες φωτισμού με λάμπες λευκού φωτός τύπου Led.

Προκειμένου να ποσοτικοποιηθούν τα χαρακτηριστικά υφής των δειγμάτων φράουλας, από κάθε εικόνα υπολογίστηκαν δεκαοκτώ (18) χαρακτηριστικά υφής. Από κάθε εικόνα λήφθηκαν οκτώ (8) διαφορετικές περιοχές ανάλυσης (βλ. Εικ. 2) για τον πιο αντιπροσωπευτικό υπολογισμό των παραμέτρων υφής κάθε δείγματος. Τα χαρακτηριστικά της υφής υπολογίστηκαν από τις έγχρωμες και σε κλίμακα του γκρι εικόνες και χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των αλλαγών που πραγματοποιούνται στην υφή κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Τα χαρακτηριστικά που υπολογίστηκαν βάσει των έγχρωμων εικόνων είναι οι παράμετροι χρώματος L^* (φωτεινότητα), a^* (πράσινη-κόκκινη απόχρωση), b^* (μπλε-κίτρινη απόχρωση), ενώ από την στατιστική ανάλυση του ιστογράμματος πρώτης κλάσης της εικόνας σε κλίμακα του γκρι υπολογίστηκαν τα εξής τέσσερα (4) χαρακτηριστικά: mean value, standard deviation (std), skewness και kurtosis. Έξι (6) χαρακτηριστικά υπολογίστηκαν από στατιστικά στοιχεία δεύτερης κλάσης του πίνακα συνεμφάνισης της εικόνας σε κλίμακα του γκρι: Contrast (con), Dissimilarity (dis), Energy, Homogeneity, Correlation, and Angular Second Moment (ASM). Τέλος, πέντε (5) χαρακτηριστικά υπολογίστηκαν από τα στατιστικά στοιχεία δεύτερης κλάσης του πίνακα μήκους εκτέλεσης της ασπρόμαυρης εικόνας: Short Run Emphasis (SRE), Long Run Emphasis (LRE), Grey Level Non-Uniformity (GLN), Run Length Non-Uniformity (RLN), and Run Percentage (RP).



Εικόνα 2. Περιοχές ανάλυσης για τον υπολογισμό των παραμέτρων υφής κάθε δείγματος, μέσω Image Analysis

3.3 Μέτρηση Φυσικοχημικών Παραμέτρων

3.3.1 Ενεργότητα Ύδατος (a_w)

Η ενεργότητα ύδατος (a_w) του καρπού της φράουλας προσδιορίστηκε με τη χρήση της συσκευής μέτρησης a_w (AquaLab Dew Point Water Activity Meter 4TE, METERGrouP, Inc., Pullman, WA, USA) (βλ. Εικ. 3). Η ανάλυση αυτή πραγματοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του μη δεσμευμένου από τα μόρια της φράουλας νερού (ελεύθερου νερού).



Εικόνα 3 Η συσκευή μέτρησης a_w που χρησιμοποιήθηκε

Πηγή: https://www.epage.se/analyticaldevices/uploaded_files/AquaLabInternational-Web.pdf?v20170530210919

3.3.2 Προσδιορισμός υγρασίας

Η υγρασία του καρπού της φράουλας προσδιορίστηκε με τη χρήση συσκευής υπέρυθρων ακτινών (θερμοζυγός) (Kern MLS 50-3, KERN & SOHN GmbH, Balingen, Germany) (βλ. Εικ. 4). Η συσκευή αυτή λειτουργεί με βάση την αρχή της βαρυμετρικής μεθόδου.

Για το σκοπό αυτό ποσότητα δείγματος 0,2-0,4 g τοποθετείται στο κατάλληλο τμήμα του οργάνου όπου υφίσταται ταχεία θέρμανση από την λάμπα αλογόνου η οποία επιφέρει εξάτμιση υγρασίας. Παράλληλα, η συσκευή ρυθμίζεται ώστε να μην υπερβαίνει τους 120°C ως θερμοκρασία θέρμανσης για την αποφυγή αλλοιώσεων του δείγματος. Ο θερμοζυγός προσδιορίζει την απώλεια υγρασίας, μετά το πέρας της ξήρανσης, με βάση την αρχή της βαρυμετρικής μεθόδου. Το ποσοστό απώλειας υγρασίας, δηλαδή, εξάγεται από την διαφορά του αρχικού με του τελικού βάρους.



Εικόνα 4. Θερμοζυγός

Πηγή: <https://shop.labexchange.com/en/kern-mls-50-3ha160.html>

3.3.3 Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών (TSS)

Τα ολικά διαλυτά στερεά μετρήθηκαν με διαθλασίμετρο χειρός (Kern Optics Analogue Brix Refractometer, ORA 80BB, KERN & SOHN GmbH, Holland) (βλ. Εικ. 5). Το διαθλασίμετρο αποτελεί ένα οπτικό όργανο και η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στη μέτρηση του δείκτη διάθλασης του φωτός στο δείγμα μεταφράζοντάς την σε περιεκτικότητα διαλυτών στερεών μέσω μιας βαθμονομημένης κλίμακας που εκφράζεται σε βαθμούς °Brix. Οι βαθμοί °Brix είναι ανάλογοι της πυκνότητας των ουσιών που περιέχονται στο δείγμα και συσχετιζόμενοι με το απεσταγμένο νερό με το οποίο βαθμονομείται το όργανο.

Το δείγμα που εναποτίθεται στην επιφάνεια του οργάνου είναι μία επαρκής ποσότητα ομογενοποιημένου καρπού φράουλας, σε μορφή πολτού. Στη συνέχεια, καταγράφεται η ένδειξη της κλίμακας του διαθλασίμετρου σε βαθμούς °Brix. Οι βαθμοί °Brix αποτελούν ένα αξιόπιστο μέτρο της συνολικής περιεκτικότητας του καρπού σε σάκχαρα.



Εικόνα 5. Διαθλασίμετρο χειρός

Πηγή: https://www.lazaridis-k.gr/index.php?cPath=1492_1591

3.3.4 Μέτρηση Χρώματος

Η μέτρηση των παραμέτρων χρώματος πραγματοποιήθηκε με τη χρήση χρωματομέτρου τριπλής διέγερσης (CR-400 Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan). Οι χρωματικοί παράμετροι που προσδιορίζονται είναι οι L^* , a^* και b^* σύμφωνα με το διεθνές χρωματικό μοντέλο αντιπροσωπεύει την φωτεινότητα, ενώ οι τιμές a^* και b^* αφορούν πληροφορίες χρώματος. Συγκεκριμένα, η παράμετρος a^* εκφράζει το κόκκινο (θετικές τιμές παραμέτρου) και το πράσινο (αρνητικές τιμές), ενώ η b^* το κίτρινο (θετικές τιμές) και το μπλε (αρνητικές τιμές). Επιπλέον, λαμβάνονται τιμές της χροιάς h (hue angle). Η τιμή αυτή προσδιορίζει την απόχρωση και μετράται σε μοίρες και παίρνει τιμές από 0° έως 360° όπου 0° για το κόκκινο-πορφυρό χρώμα, 90° για το κίτρινο, 180° για το γαλάζιο-πράσινο και 270° για το μπλε. Πριν τη χρήση του οργάνου, προηγείται βαθμονόμησή του με τη λήψη μετρήσεων από πρότυπη λευκή κεραμική πλάκα με τιμές ($L^* = 97,83$, $a^* = -0,45$ και $b^* = 1,88$). Η μέτρηση χρώματος πραγματοποιήθηκε τόσο στην εξωτερική όσο και στην εσωτερική επιφάνεια των δειγμάτων.

3.3.5 Προσδιορισμός ογκομετρούμενης οξύτητας

Η ογκομετρούμενη οξύτητα προσδιορίστηκε με την μέθοδο της AOAC (No. 942.15) και εκφράστηκε ως εκατοστιαία περιεκτικότητα φράουλας (%) σε κιτρικό οξύ, το οποίο είναι το οξύ με τη μεγαλύτερη αφθονία στη φράουλα. Η τιτλοδοτούμενη οξύτητα προσδιορίστηκε σε κάθε μέρα αναλύσεων.

Ογκομέτρηση ομογενοποιημένου δείγματος φράουλας

Η πειραματική διαδικασία περιλάμβανε τα παρακάτω βήματα:

1. 3 g ομογενοποιημένου δείγματος φράουλας διαλύονται με περίπου 20 mL απεσταγμένου νερού σε ποτήρι ζέσεως.
2. Το προκύπτον διάλυμα διηθείται με τη χρήση υφάσματος αραιής ύφανσης (τουλπάνι) σε ογκομετρική φιάλη των 50 mL, η οποία συμπληρώνεται με απεσταγμένο νερό έως τη χαραγή.
3. Σε κωνική φιάλη των 250 mL μεταφέρονται 10,00 mL από το διάλυμα και προστίθενται περίπου 70 mL απεσταγμένο νερό.
4. Πραγματοποιείται ογκομέτρηση με πρότυπο διάλυμα NaOH 0,1M παρουσία 2-3 σταγόνων δείκτη φαινολοφθαλεΐνης.
5. Υπολογίζεται η ογκομετρούμενη οξύτητα που εκφράζεται ως εκατοστιαία περιεκτικότητα φράουλας (%) σε κιτρικό οξύ.

3.3.6 Ογκομετρική μέθοδος προσδιορισμού του ασκορβικού οξέος

Η βιταμίνη C εμφανίζεται σε δύο αντιστρεπτές μορφές με την ίδια βιολογική δράση, το ασκορβικό οξύ (ανηγμένη μορφή) και το δεϋδρο-ασκορβικό οξύ (DHA) (οξειδωμένη μορφή). Ο ογκομετρικός προσδιορισμός της βιταμίνης C βασίζεται στις ισχυρές αναγωγικές ιδιότητες του ασκορβικού οξέος. Το ασκορβικό οξύ οξειδώνεται προς δεϋδροασκορβικό οξύ που υδρολύεται στη συνέχεια προς δικετογουλονικό οξύ, το οποίο δεν έχει βιταμινική δράση.

Για την ογκομέτρηση χρησιμοποιείται διάλυμα 2,6-διχλωροφαινυλινδοφαινόλης (DCPIP) όπου σε ουδέτερο ή αλκαλικό περιβάλλον έχει έντονα κυανή απόχρωση ενώ σε όξινο περιβάλλον ρόδινη. Το διάλυμα 2,6-διχλωροφαινυλινδοφαινόλης (DCPIP) που χρησιμοποιείται για τη μέθοδο πρέπει να έχει τυπική συγκέντρωση 0,0005-0,001M (ανάλογα με το δείγμα) και γι' αυτό προηγείται η τιτλοδότησή του. Η τιτλοδότηση της DCPIP πραγματοποιείται με πρότυπο διάλυμα Na₂S₂O₃ 0,10 M παρουσία δείκτη αμύλου.

Ογκομέτρηση ομογενοποιημένου δείγματος φράουλας

Η πειραματική διαδικασία περιλάμβανε τα παρακάτω βήματα:

1. Σε ποτήρι ζέσεως 2 g ομογενοποιημένου δείγματος φράουλας διαλύονται σε περίπου 10 mL διαλύματος οξαλικού οξέος 0,4% w/v.
2. Ακολουθεί διήθηση του διαλύματος από ύφασμα αραιής ύφανσης (τουλπάνι) προκειμένου να απομακρυνθούν τα αδιάλυτα φυτικά συστατικά σε μια ογκομετρική φιάλη των 25 mL και συμπλήρωση με διάλυμα οξαλικού οξέος 0,4% w/v μέχρι την χαραγή.
3. Λαμβάνονται 5,00 mL διηθήματος σε κωνική φιάλη των 250 mL όπου προστίθενται 15 mL διαλύματος οξαλικού οξέος 0,4% w/v
4. Το διάλυμα ογκομετρείται αμέσως με διάλυμα 2,6-διχλωροφαινυλινδοφαινόλης (DCPIP) μέχρι διατηρήσεως της ασθενούς ρόδινης χροιάς της DCPIP (η ογκομέτρηση θα πρέπει να ολοκληρώνεται σε χρόνο μικρότερο του 1 min και ο όγκος της 2,6-διχλωροφαινυλινδοφαινόλης που καταγράφεται δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 1,5 mL)
5. Προσδιορίζεται το ασκορβικό οξύ στο δείγμα ως mg ασκορβικού οξέος ανά 100 mL δείγματος.

3.3.7 Εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών βρώσιμου ιστού φράουλας

Προκειμένου να λάβουμε εκχύλισμα των βιοδραστικών συστατικών του βρώσιμου ιστού φράουλας, ποσότητα ενός γραμμαρίου (1 g) κάθε δείγματος φράουλας εμβαπτίστηκε σε 10 mL υδατομεθανολικού διαλύματος ($\text{CH}_3\text{OH}:\text{H}_2\text{O} = 80:20$) σε αναλογία τροφίμου/διαλύματος 1:10 (w/v), εντός κλειστού, γυάλινου δοχείου. Μετά το πέρας 48 ωρών παραμονής του διαλύματος σε θερμοκρασία δωματίου, λαμβάνεται το διήθημα και διατηρείται σε θερμοκρασία ψύξης για περαιτέρω αναλύσεις.

3.4 Ανάλυση Υφής

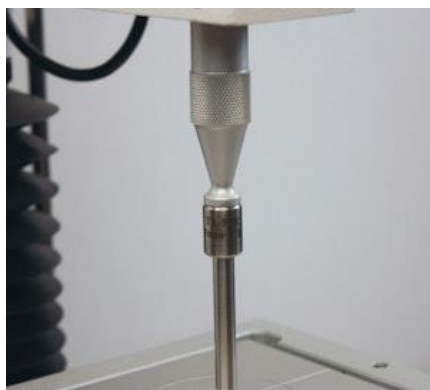
Προκειμένου να πραγματοποιηθεί ανάλυση υφής στα δείγματα χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής υφής TA.XT2i Stable Micro Systems (βλ. Εικ. 6) σε συνδυασμό με κατάλληλο λογισμικό μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Το δείγμα κόπηκε σε ομοιόμορφη ροδέλα πάχους περίπου 3-5 mm και κάθε δείγμα υποβλήθηκε σε δύο κύκλους συμπίεσης προσομοιάζοντας τη διαδικασία της μάσησης. Το αισθητήριο υφής (probe) που χρησιμοποιήθηκε για την συμπίεση ήταν κυλινδρικό, διαμέτρου 6 mm (βλ. Εικ. 7). Καθορίστηκαν οι παράμετροι της ανάλυσης όπως η ταχύτητα

καθόδου του αισθητηρίου υφής, η απόσταση που θα διανύσει από την επιφάνεια του δείγματος, ο αριθμός των επαναλήψεων συμπίεσης και άλλα χαρακτηριστικά. Το βάθος της διείσδυσης ρυθμίστηκε να είναι στο ήμισυ του πάχους της ροδέλας του δείγματος και η διάτρηση πραγματοποιήθηκε στο κέντρο της ροδέλας. Η ταχύτητα καθόδου και ανόδου του αισθητηρίου υφής ρυθμίστηκε για όλα τα δείγματα στα 10 mm/s, ενώ η ταχύτητα διείσδυσης στα 5 mm/s.

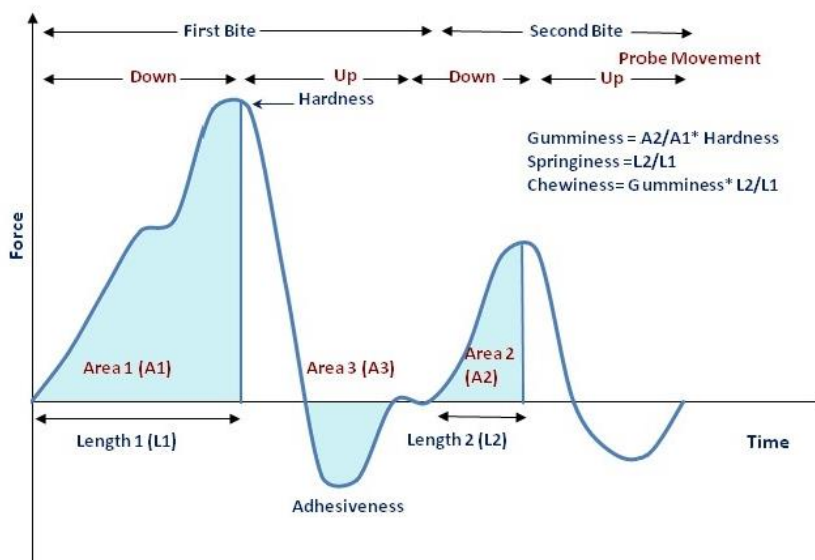


Εικόνα 6. Αναλυτής υφής TA.XT2i Stable Micro Systems.
Πηγή: <https://www.stablemicrosystems.com/>



Εικόνα 7. Κύλινδρος συμπίεσης
Πηγή: <https://texturetechnologies.com/accessories/probes-and-fixtures>

Το διάγραμμα που προκύπτει μέσω του λογισμικού που είναι συνδεδεμένο με τον αναλυτή υφής έχει την παρακάτω μορφή (βλ. Εικ. 8), στην οποία απεικονίζονται οι δύο κύκλοι συμπίεσης και διαφαίνονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για την εξαγωγή των τιμών των παραμέτρων υφής.



Εικόνα 8. Τυπικό γράφημα ανάλυσης υφής
 Πηγή: <https://bakerpedia.com/analyzing-texture-of-products/>

Οι παράμετροι υφής που μελετήθηκαν είναι οι παρακάτω:

- Σκληρότητα (Hardness/Firmness): Η σκληρότητα είναι η απαραίτητη δύναμη που πρέπει να ασκηθεί στο δείγμα έτσι ώστε να συμπιεστεί μεταξύ των γομφίων του στόματος. Η τιμή της λαμβάνεται από τον πρώτο κύκλο συμπίεσης και είναι η μέγιστη δύναμη σε αυτό τον κύκλο. Η μονάδα μέτρησής της είναι το Newton (N).
- Ελαστικότητα (Springiness): Η ελαστικότητα εκφράζει το πόσο ένα δείγμα επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση όταν σταματήσει να του ασκείται δύναμη συμπίεσης. Η τιμή της υπολογίζεται από το λόγο των μέγιστων δυνάμεων που εμφανίζεται στον δεύτερο κύκλο μάσησης προς την αντίστοιχη δύναμη του πρώτου κύκλου (L_2/L_1).
- Συνεκτικότητα (Cohesiveness): Η συνεκτικότητα σχετίζεται με τη δύναμη των δεσμών που συγκρατούν το τρόφιμο. Προσδιορίζεται από τον λόγο του δεύτερου προς το πρώτο θετικό εμβαδό του γραφήματος υφής (A_2/A_1).
- Κολλητικότητα (Adhesiveness): Η κολλητικότητα αναφέρεται στη δύναμη της φυσικής έλξης μεταξύ διαφορετικών υλικών. Η τιμή της ισούται με το πρώτο αρνητικό εμβαδόν του διαγράμματος υφής (A_3) και έχει μονάδες μέτρησης $N \cdot sec$.
- Κομμιώδες (Gumminess): Η παράμετρος αυτή σχετίζεται με το αν το υλικό που εξετάζεται είναι και κολλώδες και έχει υψηλό ιξώδες. Υπολογίζεται από το γινόμενο της συνεκτικότητας με τη σκληρότητα και έχει μονάδα μέτρησης το N.

- **Μασητικότητα (Chewiness):** Είναι η ενέργεια που απαιτείται για να γίνουν τα στερεά τρόφιμα έτοιμα για κατάποση. Αντιστοιχεί στον απαιτούμενο αριθμό μασημάτων που χρειάζεται ένα δείγμα καθώς και στην σταθερή μείωση της δύναμης με συνέπεια την κατάποση. Ισχύει μόνο για τα στερεά προϊόντα και υπολογίζεται από το γινόμενο του κομμιάδους με την ελαστικότητα και έχει μονάδα μέτρησης το N.

3.5 Φασματοσκοπία Μετασχηματισμού Fourier με Αποσβένουσα Ολική Ανάκλαση

Η λήψη του φάσματος FTIR έγινε με τη χρήση φασματόμετρου ATR-FTIR (Shimadzu, IRAffinity-1S FTIR Spectrometer, Japan), χρησιμοποιώντας αποσβένουσα ολική ανάκλαση (ATR). Κάθε δείγμα λήφθηκε από την εξωτερική επιφάνεια του καρπού της φράουλας (τιμήμα που περιείχε αχάινια) και τοποθετήθηκε στο φασματόμετρο το οποίο ήταν συνδεδεμένο με κατάλληλο λογισμικό μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή για την απεικόνιση των φασμάτων και την λήψη των απαραίτητων δεδομένων για την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία δωματίου.



Εικόνα 9. Φασματόμετρο ATR-FTIR

Πηγή: <https://www.toshvin.com/products/spectroscopy/ftir-spectrophotometers/iraffiity-1s/>

Η τιμή αναφοράς της αποσβένουσας ολικής ανάκλασης έχει καθοριστεί στα $3284,77 \text{ cm}^{-1}$. Όλα τα φάσματα καταγράφηκαν στην περιοχή μεταξύ $4.000-499 \text{ cm}^{-1}$ με την διακριτική ικανότητα του οργάνου στα 4 cm^{-1} , ενώ κάθε τελικό φάσμα προέκυπτε από τον μέσο όρο 20 σαρώσεων (scans). Πριν από τη λήψη των φασμάτων των δειγμάτων πραγματοποιείται λήψη φάσματος του περιβάλλοντος χώρου (background scan) με σκοπό την μείωση του θορύβου από την υγρασία και το διοξείδιο του άνθρακα του περιβάλλοντος. Τα φάσματα υπερύθρου των δειγμάτων υπεβλήθησαν σε κανονικοποίηση και ATR διόρθωση, η αποτίμηση αυτών έγινε με βάση σχετική βιβλιογραφία, ενώ η στατική

επεξεργασία και ανάλυση πραγματοποιήθηκε με την χρήση του λογισμικού LabSolutions IR.

3.6 Φασματοφωτομετρικές Μέθοδοι

3.6.1 Προσδιορισμός ολικών φαινολών με την μικρο-μέθοδο Folin-Ciocalteu

Το ολικό φαινολικό περιεχόμενο των δειγμάτων υπολογίστηκε με τη χρήση του αντιδραστήριου Folin–Ciocalteu (F–C). Το αντιδραστήριο F–C αποτελείται από άλατα του μολυβδαινίου (Mo) και του βολφραμίου (W) και χρησιμοποιείται για την *in vitro* χρωματομετρική δοκιμασία φαινολικών ενώσεων. Σε αλκαλικό περιβάλλον, η φαινολική ένωση οξειδώνεται, και το αντιδραστήριο ανάγεται προς οξειδία που έχουν το χαρακτηριστικό κυανό χρώμα του πεντασθενούς μολυβδαινίου. Η ένταση του χρώματος είναι ανάλογη του φαινολικού περιεχομένου, η συγκέντρωση του οποίου εκφράζεται σε ισοδύναμα γαλλικού οξέος.

Πειραματική πορεία

Υλικά και αντιδραστήρια	Όργανα
<ul style="list-style-type: none">• Αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu's Phenol reagent (βιομηχανικά παρασκευασμένο)• Κορεσμένο διάλυμα ανθρακικού νατρίου• Απεσταγμένο νερό• Δείγματα φράουλας• Πρότυπη ουσία Γαλλικό οξύ (gallic acid)• Μεθανόλη αναλυτικής καθαρότητας• Πλαστικές κυψελίδες	<ul style="list-style-type: none">• Φασματοφωτόμετρο ορατού απλής δέσμης ψηφιακό (Spectro 23, Digital Spectrophotometer, Labomed, Inc., USA).• Πιπέτες των 10-100 μL και 100-1000 μL• Υδατόλουτρο ρυθμιζόμενης θερμοκρασίας

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε στην παρούσα μελέτη, αποτελεί μια τροποποίηση της μεθόδου F-C (Andreou et al., 2018). Παρασκευάζεται κορεσμένο διάλυμα ανθρακικού νατρίου Na_2CO_3 ως εξής: Σε 800,0 mL απεσταγμένου H_2O διαλύονται 200,00 g άνυδρου ανθρακικού νατρίου με τη βοήθεια του βρασμού. Αφού επανέλθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, προστίθενται ~80 g κρυστάλλων Na_2CO_3 και το διάλυμα αφήνεται για 24 h. Τέλος, φιλτράρεται και αραιώνεται μέχρι το 1,00 L με απεσταγμένο H_2O .

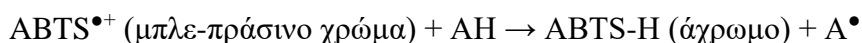
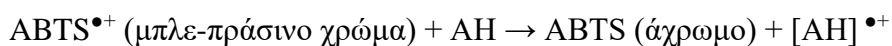
Ως πρότυπη φαινολική ουσία για την κατασκευή της καμπύλης συσχέτισης επιλέχθηκε το γαλλικό οξύ (gallic acid, GA) και παρασκευάστηκαν πρότυπα διαλύματα εργασίας συγκεντρώσεων από 25 μέχρι 500 mg GA/L. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε είναι: $y = 0,0005x + 0,0783$ με συντελεστή παλινδρόμησης $R^2 = 0,9989$.

Η πειραματική πορεία για τα δείγματα (υδατομεθανολικά εκχυλίσματα φράουλας) και τα πρότυπα περιγράφεται ακολούθως. Σε πλαστικές κυψελίδες των 4.0 mL, τοποθετούνται 30 μ L εκχυλίσματος φράουλας, 2,50 mL απεσταγμένου νερού και 0,20 mL αντιδραστήριου F-C. Η μέθοδος περιγράφεται αναλυτικά στην μελέτη των Andreou et al. (2018). Η μέτρηση της απορρόφησης γίνεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, σε φασματοφωτόμετρο στα 750 nm (A750nm) για κάθε δείγμα ή πρότυπο. Τα αποτελέσματα εξάγονται με χρήση της εξίσωσης ευθείας που αναφέρεται ανωτέρω και δίνονται εκφρασμένα ως mg ισοδυνάμων γαλλικού οξέος (Gallic Acid Equivalents, GAE) ανά g ιστού φράουλας.

3.6.2 Εκτίμηση της ικανότητας δέσμευσης/ανάσχεσης της σταθερής ελεύθερης ρίζας ABTS \bullet + [2,2'-αζινο-δισ(3-αιθυλοβεζοθειαζολινο-6-σουλφονικό οξύ)]

Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται η ρίζα ABTS \bullet + [2,2'-αζινο-δισ(3-αιθυλοβεζοθειαζολινο-6-σουλφονικό οξύ)] και εφαρμόζεται εξίσου σε λιπόφιλα και υδρόφιλα αντιοξειδωτικά. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε στην παρούσα μελέτη, είναι η μέθοδος των Lantzouraki et al., (2015). Παρουσία μορίων που είναι δότες υδρογόνου, η ρίζα ABTS \bullet + μειώνεται ποσοτικά ανάλογα με τη δραστηριότητα του δότη υδρογόνου, τη συγκέντρωσή του και τη διάρκεια της αντίδρασης.

Η σάρωση της ρίζας ABTS \bullet + πραγματοποιείται είτε με τη μεταφορά ενός υδρογόνου είτε με τη μεταφορά ενός ηλεκτρονίου από μια αντιριζική ένωση (AH).



Υλικά και αντιδραστήρια

- Αντιδραστήριο ABTS \bullet +
- Na₂S₂O₈ σε συγκέντρωση 2,45 mM
- Απεσταγμένο νερό
- Πρότυπη ουσία Trolox
- Αιθανόλη αναλυτικής καθαρότητας

Όργανα

- Φασματοφωτόμετρο ορατού απλής δέσμης ψηφιακό (Spectro 23, Digital Spectrophotometer, Labomed, Inc., USA).
- Πιπέτα σταθερού όγκου 1000 μ L

- Πλαστικές κυψελίδες
- Σιφόνια των 10mL

Πειραματική πορεία

Παρασκευάζεται, υδατικό διάλυμα που περιέχει εν διαλύσει την ουσία ABTS συγκέντρωσης 7,00 mM και υπερθειικό νάτριο ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$) σε συγκέντρωση 2,45 mM. Το μείγμα αφήνεται 16 h στο σκοτάδι και θερμοκρασία δωματίου. Συγκεκριμένα διαλύουμε σε απεσταγμένο νερό 14,58 mg $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ($M_r = 238,11$) και 96 mg ABTS ($M_r = 548,68$) και αραιώνουμε στα 25,00 mL.

Στην αρχή κάθε σειράς πειραμάτων, το διάλυμα της ρίζας αραιώνεται κατάλληλα με αιθανόλη ώστε να δίνει τιμή απορρόφησης $A_{734\text{nm}} = 0,90 \pm 0,02$. Σε πλαστικές κυψελίδες των 4.0 mL, τοποθετούνται 30 μL εκχυλίσματος και 3,00 mL του αραιωμένου με αιθανόλη διαλύματος $\text{ABTS}^{\bullet+}$ και το προκύπτον διάλυμα αναδεύεται για 1 min. Η απορρόφηση μετράται σε φασματοφωτόμετρο στα 734 nm για κάθε δείγμα ή πρότυπο μετά την πάροδο 5 min. Ως πρότυπη ουσία χρησιμοποιείται η Trolox, με πρότυπα διαλύματα εργασίας συγκεντρώσεων από 0,20 έως 1,50 mM. Η διόρθωση στο σφάλμα της τιμής της απορρόφησης εξαιτίας του διαλύτη και των αντιδραστηρίων γίνεται με τη μέτρηση τυφλού διαλύματος που παρασκευάζεται παράλληλα με προσθήκη σε κυψελίδα 3,00 mL του αραιωμένου με αιθανόλη διαλύματος $\text{ABTS}^{\bullet+}$. Το φασματοφωτόμετρο μηδενίζεται με αιθανόλη.

Τα αποτελέσματα εξάγονται με χρήση της εξίσωσης ευθείας της πρότυπης ουσίας Trolox και δίνονται εκφραμένα ως mg ισοδυνάμων της πρότυπης ουσίας Trolox (Trolox Equivalents, TE) ανά g ιστού φράουλας. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε είναι: $y = 0,2876x - 0,002$ με συντελεστή παλινδρόμησης $R^2 = 0,9995$.

3.6.3 Μέθοδος FRAP

Η μέθοδος FRAP που ακολουθήθηκε στην παρούσα μελέτη, είναι μια τροποποιημένη μέθοδος των Lantzouraki et al. (2016). Η αρχή της μεθόδου βασίζεται στην αναγωγή του συμπλόκου του τρισθενούς σιδήρου με 2,4,6-τρι-(2-πυριδυλ-)-τριαζίνη (Fe^{3+} - TPTZ) σε δισθενή σίδηρο (Fe^{2+} -TPTZ) με έντονο μπλε χρώμα το οποίο εμφανίζει απορρόφηση στα 593 nm από τη δράση των αναγωγικών ουσιών του δείγματος. Η αντίδραση διεξάγεται σε $\text{pH} = 3,6$ για τη διατήρηση της διαλυτότητας του σιδήρου στο διαλύτη.

Πειραματική πορεία

Στη μέθοδο αυτή, το άλας του τρισθενούς σιδήρου $\text{Fe(III)(TPTZ)}_2\text{Cl}_3$ (TPTZ= 2,4,6-τριπυτιδιλο-s-τριαζίνη) χρησιμοποιείται ως οξειδωτικό. Η μέθοδος λαμβάνει χώρα σε όξινες συνθήκες (pH = 3,6) και περιλαμβάνει την ακόλουθη διαδικασία:

- Παρασκευή ρυθμιστικού διαλύματος $\text{CH}_3\text{COOH}-\text{CH}_3\text{COO}^-$ με pH 3,6 με προσθήκη 0,536 g NaOH σε 200,00 mL διαλύματος οξικού οξέος 1,0 mol/L.
- Παρασκευή διαλύματος HCl συγκέντρωσης 40 mM.
- Παρασκευή διαλύματος TPTZ συγκέντρωσης 10 mM με διάλυση και αραιώση 0,1562 g αντιδραστηρίου TPTZ στα 50,00 mL με χρήση διαλύματος HCL 40 mM.
- Παρασκευή διαλύματος $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ συγκέντρωσης 20 mM, με διάλυση και αραιώση 0,27 g αντιδραστηρίου $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ στα 25,00 mL με απεσταγμένο νερό.
- Προετοιμασία των πρότυπων διαλυμάτων Fe^{2+} συγκέντρωσης 20-400 μM για τη δημιουργία πρότυπης καμπύλης.
- Παρασκευή του αντιδραστηρίου FRAP με ανάμιξη του ρυθμιστικού διαλύματος, του διαλύματος TPTZ συγκέντρωσης 10 mM και του διαλύματος $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ συγκέντρωσης 20 mM, σε αναλογία όγκων 10:1:1 (by vol.).

Σε πλαστικές κυψελίδες των 4.0 mL, τοποθετούνται 30 μL εκχυλίσματος φράουλας, 1,50 mL H_2O , 500 μL P.Δ. και 900 μL αντιδραστηρίου FRAP και τα προκύπτοντα διαλύματα αναδεύονται και στη συνέχεια τοποθετούνται σε υδατόλουτρο στους 40⁰C για 90 min. Αφού αναπτυχθεί το επιθυμητό χρώμα και το περιεχόμενο των κυψελίδων αποκτήσει τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, τότε μετράται η απορρόφηση σε φασματοφωτόμετρο στα 595 nm για κάθε δείγμα ή πρότυπο. Η διόρθωση στο σφάλμα της τιμής της απορρόφησης εξαιτίας του διαλύτη και των αντιδραστηρίων γίνεται με τη μέτρηση τυφλού διαλύματος που παρασκευάζεται παράλληλα με προσθήκη σε 1,50 mL H_2O , 500 μL P.Δ. και 900 μL αντιδραστηρίου FRAP. Το φασματοφωτόμετρο μηδενίζεται με απεσταγμένο νερό.

Τα αποτελέσματα εξάγονται με χρήση της εξίσωσης ευθείας της καμπύλης αναφοράς του Fe^{2+} και δίνονται εκφρασμένα ως mg Fe^{2+} ανά g ιστού φράουλας. Η εξίσωση ευθείας που προέκυψε είναι: $y = 0,0003x + 0,0081$ με συντελεστή παλινδρόμησης $R^2 = 0,9969$.

3.7 Στατιστική Ανάλυση

Οι μεταβολές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών που εξήχθησαν μέσω της ανάλυσης εικόνας-υφής στις ημέρες αποθήκευσης των καρπών φράουλας, αναλύθηκαν στατιστικά με μέσα του μη-παραμετρικού Mann-Whitney-Wilcoxon για δύο τάξεις. Όσον αφορά τον πίνακα συσχέτισης κατά ζεύγη (Pairwise correlation matrix) μεταξύ των φυσικοχημικών παραμέτρων της φράουλας και των χαρακτηριστικών L*, a*, b* κατά την αποθήκευση, υπολογίστηκε με την χρήση της βιβλιοθήκης pythons' pandas (<https://pandas.pydata.org/docs/reference/api/pandas.DataFrame.corr.html>). Με χρήση της μονόδρομης ανάλυσης διακύμανσης (one-way ANOVA) και την post hoc ανάλυση, αναλύθηκαν τα δεδομένα της φασματοσκοπίας υπερύθρου μετασχηματισμού Fourier (FTIR) (με επίπεδο σημαντικότητας 0,05), ενώ οι υπολογισμοί εκτελέστηκαν μέσω του προγράμματος ανάλυσης δεδομένων SPSS (IBM Corp. Released 2021. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 28.0. Armonk, NY: IBM Corp).

4.Αποτελέσματα-Συζήτηση

4.1 Ανάλυση Εικόνας -Textural-image analysis

4.1.1 Ανάλυση υφής εικόνας εξωτερικής επιφάνειας καρπού

Η ανάλυση εικόνας χρησιμοποιήθηκε με σκοπό να εξαχθούν πληροφορίες σχετικά με τις μεταβολές της υφής της εικόνας κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης της φράουλας υπό συνθήκες ψύξης. Για το σκοπό αυτό, οι φωτογραφίες αναλύθηκαν στην έγχρωμη μορφή τους, καθώς και στη μορφή της κλίμακας του γκρι, με τη χρήση της μεθόδου machine learning. Στην Εικόνα 10 απεικονίζονται ενδεικτικά φωτογραφίες της εξωτερικής επιφάνειας δειγμάτων, κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.



Εικόνα 10. Φωτογραφίες της εξωτερικής επιφάνειας των δειγμάτων κατά την διάρκεια 11 ημερών αποθήκευσης (ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11).

Πηγή: προσωπικό αρχείο

Όσον αφορά τις τρεις συνιστώσες του χρώματος, L^* (φωτεινότητα), a^* (πράσινο - κόκκινο) και b^* (μπλε - κίτρινο), εξήχθησαν μέσω των έγχρωμων φωτογραφιών των δειγμάτων, και οι διακυμάνσεις τους παρουσιάζονται στο Σχήμα 1, ενώ οι τιμές τους στον Πίνακα 4. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των καρπών φράουλας η φωτεινότητα (L^*), η παράμετρος a^* , όπως και η παράμετρος b^* της εξωτερικής επιφάνειας, παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική ($P < 0,05$) μείωση από την ημέρα 6 στην ημέρα 8, ενώ σε κάθε άλλη περίπτωση, οι διακυμάνσεις των συνιστωσών είναι μη σημαντικές ($P > 0,05$). Από τα παραπάνω, συμπεραίνουμε, πως από την ημέρα 6 έως την ημέρα 8 της αποθήκευσης λαμβάνει χώρα σημαντική μείωση της φωτεινότητας του καρπού της φράουλας, μεταβολή του κόκκινου χρώματος προς το πράσινο-κόκκινο και μεταβολή του κίτρινου χρώματος προς κίτρινο-μπλε.

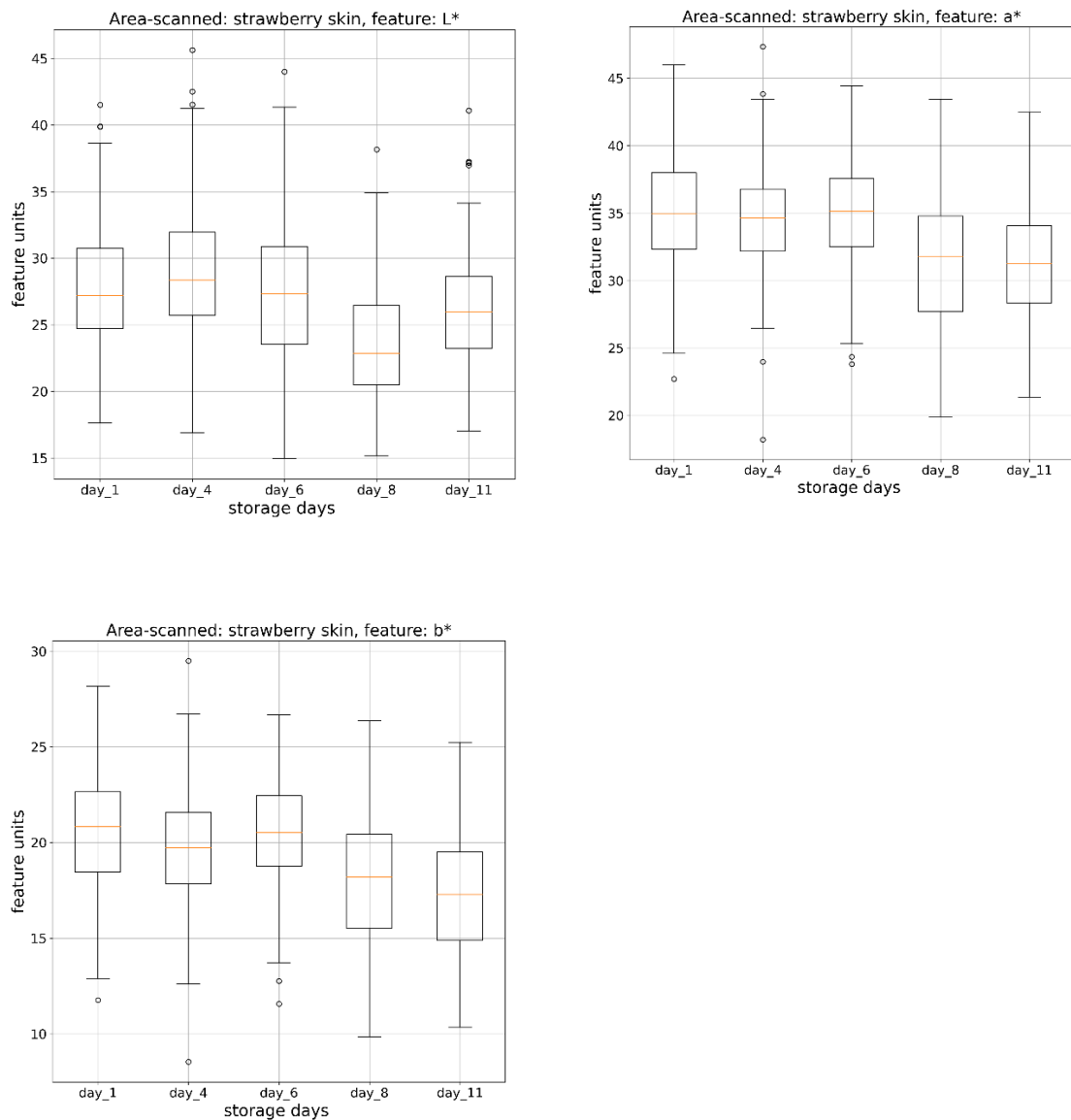
Πίνακας 4. Παράμετροι χρώματος της εξωτερικής επιφάνειας φράουλας που υπολογίστηκαν με ανάλυση των έγχρωμων εικόνων, τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11.

Ημέρες	L*	a*	b*
1	29,81±6,776a	35,93±4,745a	21,06±3,525a
4	30,97±6,244a	34,64±4,680ac	19,77±3,536ac
6	29,12±6,040ac	35,41±4,393a	20,77±3,312a
8	24,93±5,530b	32,40±5,096bc	18,65±3,549bc
11	26,88±4,674bc	31,74±4,595b	17,80±3,468b

*Τα αποτελέσματα αφορούν τον μέσο όρο \pm τυπική απόκλιση (n=12). Διαφορετικά γράμματα κατά μήκος κάθε στήλης μετά από κάθε τιμή υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά ($P<0,05$)

Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε συμφωνία με τους Falah et al. (2016), οι οποίοι, κατά την αποθήκευση καρπών φράουλας σε ελεγχόμενη θερμοκρασία (8-11°C), παρατήρησαν ελαφριά μείωση των τιμών των L και b* και σχετικά σταθερές τιμές της παραμέτρου a*, ενώ σε μεγαλύτερη θερμοκρασία αποθήκευσης παρατήρησαν μείωση και στην τιμή του a*. Σύμφωνα με τους Falah et al. (2016), η μείωση των παραμέτρων χρώματος (L*, a*, b*) σχετίζεται με τη μείωση της συγκέντρωσης των ανθοκυανινών, των φλαβονοειδών, των φαινολικών ενώσεων, καθώς και της συνολικής αντιοξειδωτικής δράσης των καρπών, κατά την εξέλιξη της αποθήκευσης. Η μείωση του ολικού φαινολικού περιεχομένου και της αντιριζικής και αντιοξειδωτικής δράσης επιβεβαιώνονται παρακάτω (αποτελέσματα μεθόδων Folin-Ciocalteu, ABTS, FRAP). Μείωση των τιμών της παραμέτρου χρώματος a* κατά την αποθήκευση, παρατηρήθηκε, επίσης, από τους Lee et al. (2022), ενώ μείωση όλων των παραμέτρων χρώματος (L*, a*, b*, C* and h°) κατά την ψυχή αποθήκευση, κατέγραψε στην έρευνά του και ο Koyuncu (2004).

Ωστόσο, σύμφωνα με τους Jouki et al. (2012), κατά τις πρώτες ημέρες της αποθήκευσης παρατηρήθηκε μείωση της τιμής L*, ενώ στη συνέχεια, και έως το τέλος της αποθήκευσης, οι τιμές παρέμειναν σε σταθερά επίπεδα. Επίσης, η παράμετρος a* σημείωσε σημαντική αύξηση, η οποία αποδόθηκε σε συσσώρευση ανθοκυανινών.



Σχήμα 1. Μεταβολή των υπολογισμένων, από την ανάλυση εικόνας, χαρακτηριστικών (φωτεινότητα (L), παράμετρος a*, παράμετρος b*) της εξωτερικής επιφάνειας της φράουλας τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11.

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά υφής που εξήχθησαν από τις φωτογραφίες των καρπών φράουλας σε κλίμακα του γκρι, τα αποτελέσματα των οποίων παρατίθενται στο Σχήμα 2, παρατηρήθηκε αύξηση των τιμών του Contrast από την ημέρα 4 έως την ημέρα 11, η οποία ήταν στατιστικά σημαντική ($P < 0,05$) από την ημέρα 6 στην ημέρα 8. Επίσης, σημειώθηκε στατιστικά σημαντική ($P < 0,05$) μείωση του Homogeneity και του Correlation από την ημέρα 6 στην ημέρα 8, και έπειτα μη στατιστικά σημαντική μεταβολή ($P > 0,05$) έως την τελευταία ημέρα αποθήκευσης.

Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε μερική συμφωνία με αυτά των ElMasry et al. (2007), οι οποίοι διαπίστωσαν υψηλότερες τιμές Contrast και χαμηλότερες τιμές Homogeneity σε ώριμους καρπούς φράουλας σε σχέση με καρπούς που δεν έχουν φτάσει στο στάδιο της πλήρους ωρίμανσης, ενώ στους ώριμους καρπούς διαπίστωσαν, επίσης, χαμηλότερες τιμές Correlation, λόγω μη ομαλής υφής. Επομένως, κατά την αποθήκευση των καρπών φράουλας και ιδίως κατά τις ημέρες 6, 7 και 8, λαμβάνει χώρα τροποποίηση της υφής από ομαλή σε λιγότερο ομαλή και αύξηση της ανομοιογένειάς της.

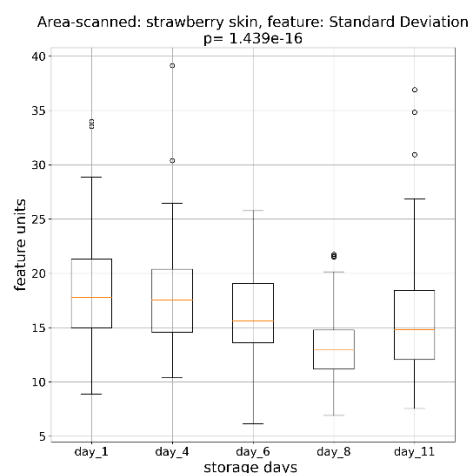
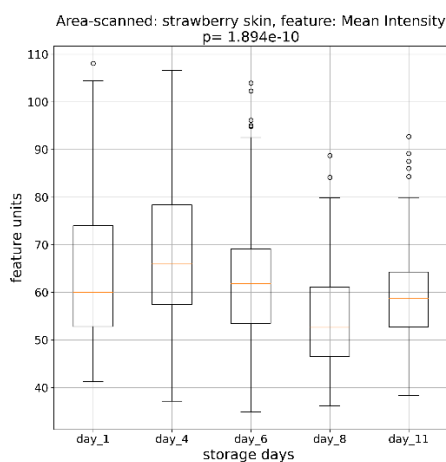
Επιπλέον, διαπιστώθηκε αύξηση των τιμών του Dissimilarity (ανομοιομορφία της υφής της εικόνας), η οποία ήταν στατιστικά σημαντική ($P < 0,05$) από την ημέρα 6 στην ημέρα 8. Επιπλέον, παρατηρήθηκε αύξηση των τιμών του Short Run Emphasis (SRE, μικρές δομές ισότιμων γκρι επιπέδων) και Run Length Non-Uniformity (RLN, μη ομοιομορφία των δομών της εικόνας) κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης (βλ. Σχ. 2), η οποία ήταν στατιστικά σημαντική από την ημέρα 6 έως την τελευταία ημέρα αποθήκευσης. Οι μεταβολές αυτές σε συνδυασμό με την αύξηση των τιμών του Contrast, υποδεικνύουν ανομοιομορφία στη δομή της εικόνας κατά την πρόοδο της αποθήκευσης, που πιθανόν να σχετίζεται με την αλλοίωση που υφίσταται σταδιακά η επιφάνεια των καρπών.

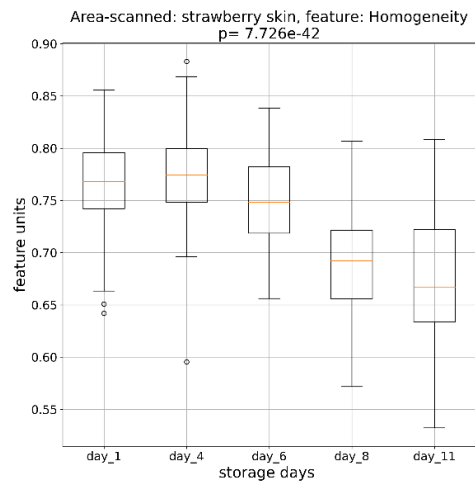
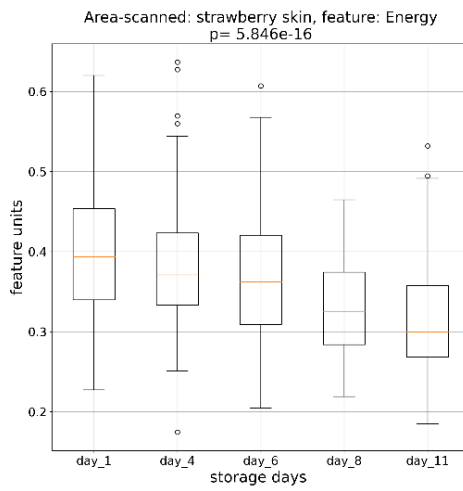
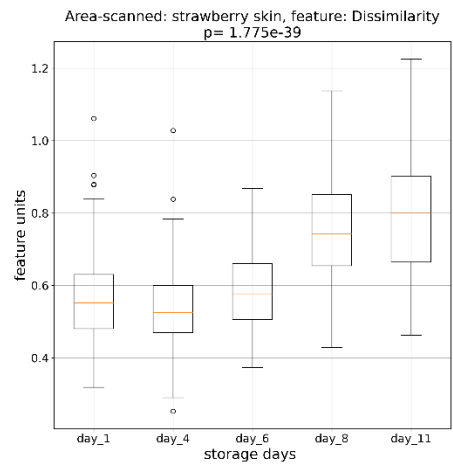
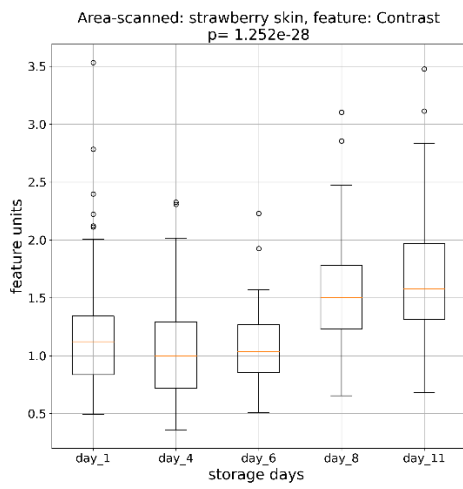
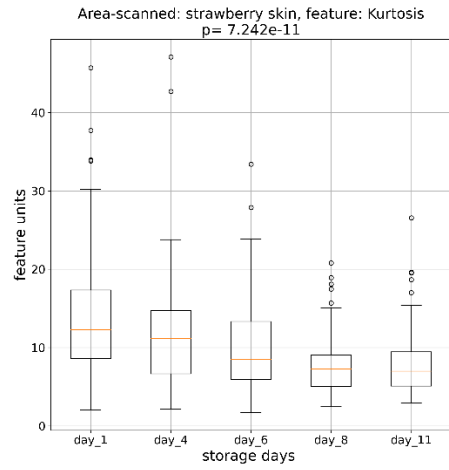
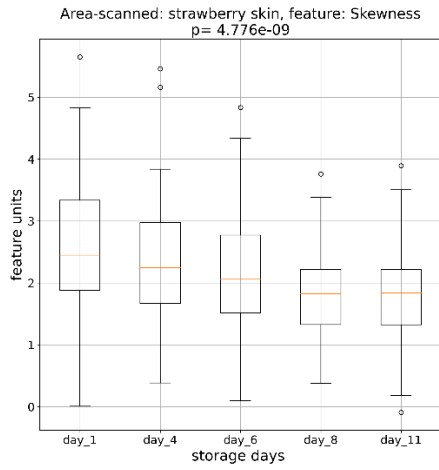
Επιπλέον, κατά την αποθήκευση παρατηρήθηκε μείωση της τιμής του Skewness. Σύμφωνα με τους Takemoto et al. (2022), η κατανομή των τιμών του Skewness, μπορεί να θεωρηθεί ως η κύρια παράμετρος της ποιότητας και της φρεσκάδας της φράουλας. Στην έρευνά τους, συσχέτισαν τις συνθήκες αποθήκευσης (σχετική υγρασία και θερμοκρασία) με την επίδρασή τους στη παραπάνω παράμετρο και διαπίστωσαν πως σε χαμηλή σχετική υγρασία αποθήκευσης (75%) η τιμή του Skewness παρουσίασε μείωση, ανεξαρτήτως θερμοκρασίας αποθήκευσης, και συμπέραναν πως μειώνεται η λάμψη/γυαλάδα της επιφάνειας των καρπών κατά την αποθήκευση.

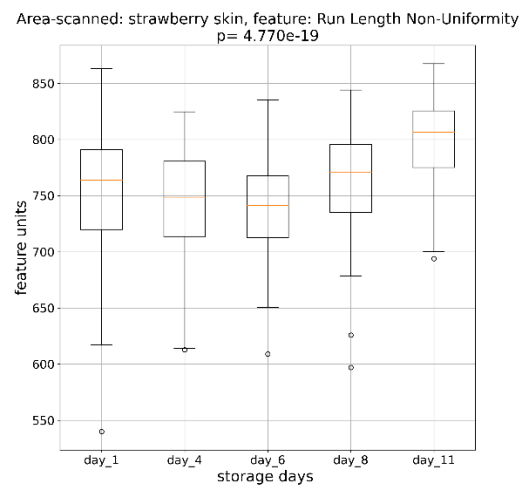
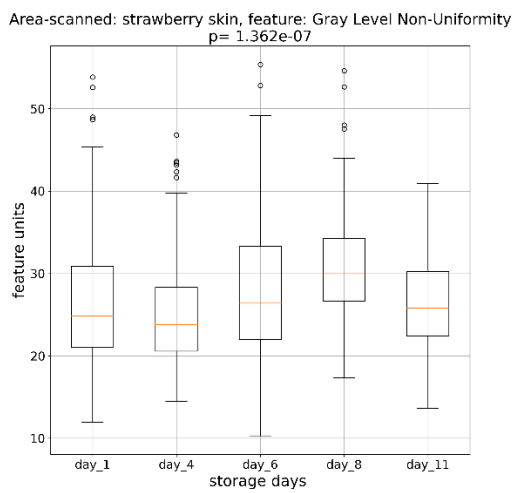
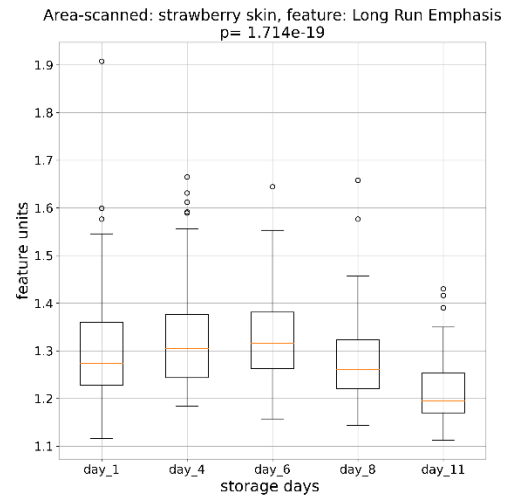
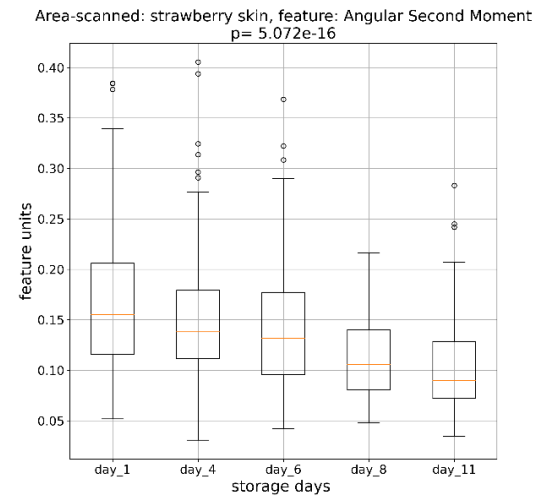
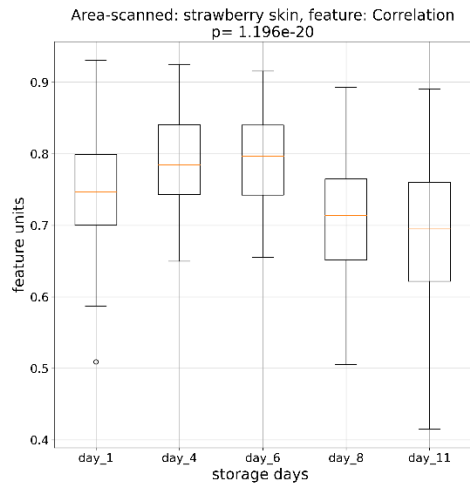
Επιπλέον, παρατηρείται μείωση των χαρακτηριστικών Mean (μέσος όρος των εντάσεων από τα pixels όλων των εικόνων), Standard Deviation (Std, τυπική απόκλιση), Energy (ομοιογένεια στις γκρι εικόνες), Angular Second Moment (ASM, ομοιομορφία της κατανομής των γκρι επιπέδων στις εικόνες) και Long Run Emphasis (LRE, μεγάλες περιοχές ομοιόμορφης γκρι κατανομής) (βλ. Σχ. 2). Η ελάττωση του mean, standard deviation και energy μπορεί να υποδηλώνει απώλεια πληροφοριών ή αλλαγή στα γενικά χαρακτηριστικά της εικόνας. Όσον αφορά τη μείωση του όρου ASM, υποδεικνύει ότι η ομοιομορφία της κατανομής των γκρι εντάσεων στις εικόνες σταδιακά ελαττώνεται, και μεταφράζεται ως

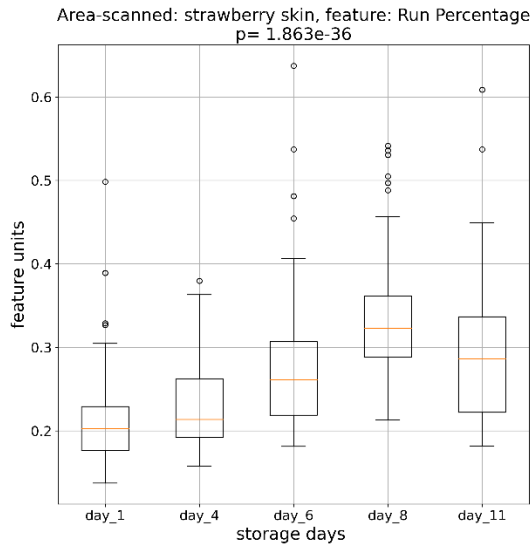
μείωση της ομοιομορφίας της υφής του καρπού. Η ελάττωση του όρου Long Run Emphasis (η οποία ήταν σημαντική ($P < 0,05$) από την ημέρα 6 έως το τέλος της αποθήκευσης) υποδηλώνει τη μείωση της ομοιογένειας και της τραχύτητας (σκληρότητας) της υφής και την μείωση των χωρικών συσχετίσεων μεγάλης εμβέλειας ή επαναλαμβανόμενων μοτίβων που ευθυγραμμίζονται κατά μήκος μιας συγκεκριμένης κατεύθυνσης. Επίσης, ο όρος Run Length Non-Uniformity (RLN, περιγράφει τη μεταβλητότητα του μήκους ομοιογενών περιοχών) παρουσίασε σημαντική ($P < 0,05$) αύξηση από την ημέρα 6 έως την ημέρα 11. Η αύξηση του RLN μπορεί να υποδηλώνει μεγαλύτερη μεταβλητότητα στα μήκη των ομοιογενών περιοχών της υφής των δειγμάτων φράουλας κατά την αποθήκευση.

Το Short Run Emphasis (SRE) είναι το μέτρο της κατανομής των μικρών μηκών διαδρομής και παρουσίασε σημαντική αύξηση της τιμής του από την ημέρα 8 έως την ημέρα 11. Μία πιθανή ερμηνεία αυτής της μεταβολής είναι η κυριαρχία πιο λεπτών (fine) υφών στον καρπό της φράουλας. Επιπλέον, η μεταβολή των Gray Level Non-Uniformity (GLN, μεταβλητότητα των επιπέδων του γκρι μέσα σε μια εικόνα) δεν ήταν στατιστικά σημαντική κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, ενώ ο όρος Run Percentage (RP, παρέχει πληροφορίες για τη συνολική ομοιογένεια του ιστογράμματος) παρουσίασε σημαντική ($P < 0,05$) αύξηση από την ημέρα 4 έως την ημέρα 8 της αποθήκευσης και έπειτα σημαντική μείωση έως την τελευταία ημέρα, η οποία υποδεικνύει μία πιο λεπτή υφή.





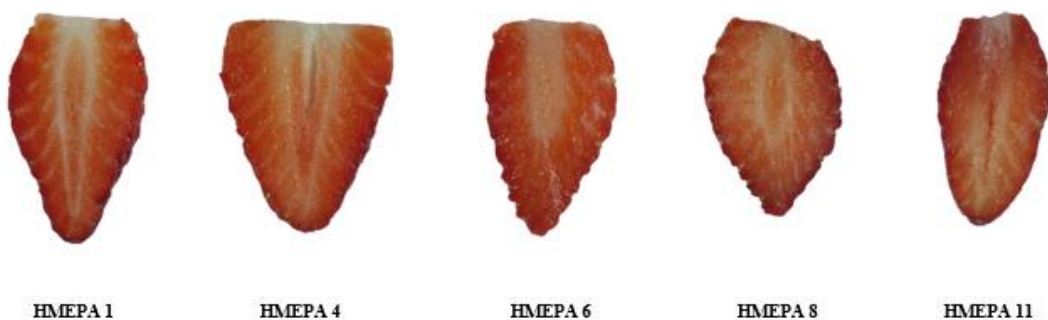




Σχήμα 2. Μεταβολή των υπολογισμένων από την ανάλυση της υφής της εικόνας χαρακτηριστικών [mean, standard deviation, skewness, kurtosis, contrast, dissimilarity, energy, homogeneity, correlation, angular second moment (ASM), short run emphasis (SRE), long run emphasis (LRE), grey level non-uniformity (GLN), run length non-uniformity (RLN) and run percentage (RP)], της εξωτερικής επιφάνειας της φράουλας τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11.

4.1.2 Εσωτερική επιφάνεια καρπού

Στην Εικ. 10 απεικονίζονται ενδεικτικά φωτογραφίες της εσωτερικής επιφάνειας δειγμάτων, κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Μέσω των έγχρωμων εικόνων της φράουλας, υπολογίστηκαν οι τρεις συνιστώσες του χρώματος, L^* (φωτεινότητα), a^* (πράσινο - κόκκινο) και b^* (μπλε - κίτρινο), κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Οι διακυμάνσεις τους παρουσιάζονται στο Σχήμα 3, ενώ οι τιμές τους στον Πίνακα 5.



Εικόνα 11. Φωτογραφίες της εσωτερικής επιφάνειας των δειγμάτων κατά την διάρκεια 11 ημερών αποθήκευσης (ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11).
 Πηγή: προσωπικό αρχείο

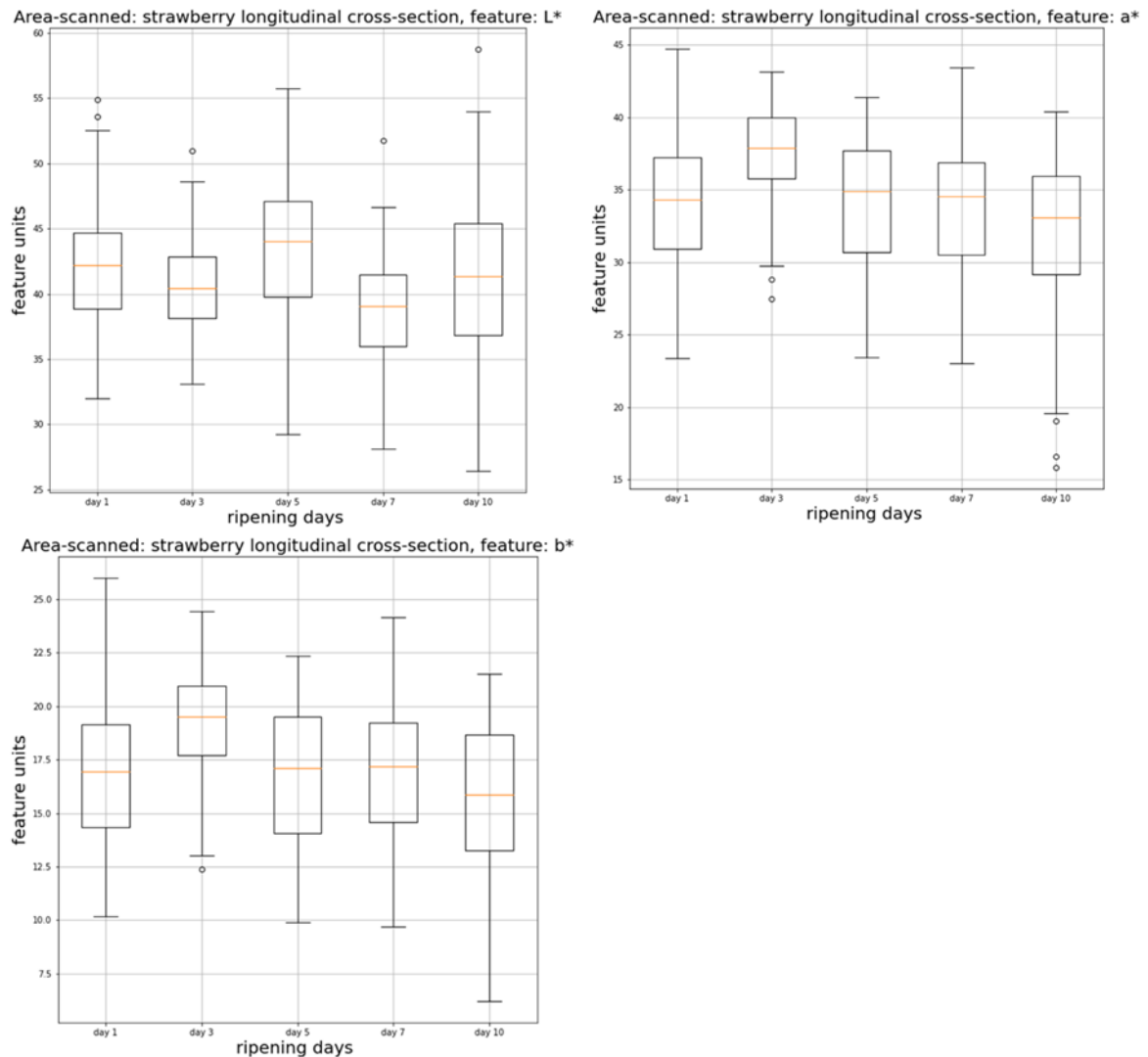
Πίνακας 5. Παράμετροι χρώματος της εσωτερικής επιφάνειας φράουλας που υπολογίστηκαν με ανάλυση των έγχρωμων εικόνων, τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11.

Ημέρες	L*	a*	b*
1	42.100 ± 4.780a	33.981 ± 4.624a	16.781 ± 3.310ac
4	40.743 ± 3.574a	37.386 ± 3.170b	19.252 ± 2.419b
6	43.538 ± 5.359b	34.014 ± 4.775a	16.662 ± 3.399ac
8	38.714 ± 4.174c	33.870 ± 4.380a	17.082 ± 3.228a
11	41.430 ± 5.802a	31.642 ± 5.705c	15.454 ± 3.776c

*Τα αποτελέσματα αφορούν τον μέσο όρο ± τυπική απόκλιση (n=12). Διαφορετικά γράμματα κατά μήκος κάθε στήλης μετά από κάθε τιμή υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά ($P<0,05$)

Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των καρπών φράουλας η φωτεινότητα (L*) παρουσιάζει μία στατιστικά σημαντική ($P<0,05$) αύξηση από την ημέρα 4 έως την ημέρα 6, ενώ έπειτα μειώθηκε σημαντικά έως την ημέρα 8 και αυξήθηκε σημαντικά έως το τέλος της αποθήκευσης. Επομένως, παρατηρούνται διακυμάνσεις στη φωτεινότητα κατά την εξέλιξη της αποθήκευσης, ενώ πρακτικά οι τιμές αυτής της παραμέτρου χρώματος την τελευταία ημέρα αποθήκευσης, δε διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($P>0,05$) με αυτές που ελήφθησαν από το εσωτερικό του καρπού την ημέρα 1 της αποθήκευσης.

Η παράμετρος a*, όπως και η παράμετρος b*, παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική ($P<0,05$) αύξηση από την ημέρα 1 στην ημέρα 4, ενώ έως το τέλος της αποθήκευσης παρατηρείται σημαντική μείωση έως την ελάχιστη καταγεγραμμένη τιμή των παραμέτρων (ημέρα 11). Συμπεραίνουμε πως με το πέρας της αποθήκευσης έχει μειωθεί σημαντικά η κόκκινη όπως και η κίτρινη απόχρωση, χωρίς όμως να πάψουν να κυριαρχούν έναντι των συμπληρωματικών χρωμάτων που καθορίζουν οι παράμετροι χρώματος a* και b* (πράσινο και μπλε αντίστοιχα). Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν βιβλιογραφικές αναφορές που να σχολιάζουν τις μεταβολές του εσωτερικού χρώματος της επιφάνειας των καρπών φράουλας, υποθέτουμε ότι ανάλογος συσχετισμός με το ολικό φαινολικό περιεχόμενο και την ολική αντιοξειδωτική και αντιριζική δράση μπορεί να πραγματοποιηθεί και εδώ, όπως και στον σχολιασμό των παραμέτρων χρώματος της εξωτερικής επιφάνειας των καρπών.



Σχήμα 3. Μεταβολή των υπολογισμένων από το image analysis χαρακτηριστικών (φωτεινότητα (L*), παράμετρος a*, παράμετρος b*) της εσωτερικής επιφάνειας της φράουλας τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11.

4.2 Φυσικοχημικές παράμετροι της φράουλας κατά την αποθήκευση

Στην παρούσα μελέτη εκτιμήθηκαν οι φυσικοχημικές παράμετροι της φράουλας όπως η ενεργότητα ύδατος, η περιεκτικότητα του καρπού σε ολικά διαλυτά στερεά (βαθμοί Brix), η περιεκτικότητα σε υγρασία (%), η ογκομετρούμενη οξύτητα σε κιτρικό οξύ και η περιεκτικότητα της φράουλας σε ασκορβικό οξύ ως εκατοστιαίες (% w/w) εκφράσεις, και οι παράμετροι χρώματος και μηχανικής υφής. Το σύνολο των παραμέτρων εκτιμήθηκαν σε διάστημα 11 ημερών σε δείγματα καρπών φράουλας τα οποία ήταν αποθηκευμένα εντός κλιβάνου σε θερμοκρασία 8 ± 0.5 °C και 62% υγρασία. Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα και η συζήτηση αυτών.

4.2.1 Ενεργότητα Ύδατος- Υγρασία

Τα αποτελέσματα της ενεργότητας ύδατος, της περιεκτικότητας του καρπού σε ολικά διαλυτά στερεά (βαθμοί °Brix) και της περιεκτικότητας σε υγρασία (%), παρατίθενται στον Πίνακα 6. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των καρπών φράουλας, η ενεργότητα ύδατος παρουσίασε σημαντική ($P<0,05$) μείωση από την ημέρα 1 στην ημέρα 4, στη συνέχεια προοδευτική αύξηση μη σημαντική στατιστικά έως την ημέρα 8 και τέλος, μειώθηκε ($P<0,05$), λαμβάνοντας την ελάχιστη τιμή της έως την ημέρα 11. Η μέγιστη τιμή της παρατηρείται την πρώτη ημέρα αναλύσεων.

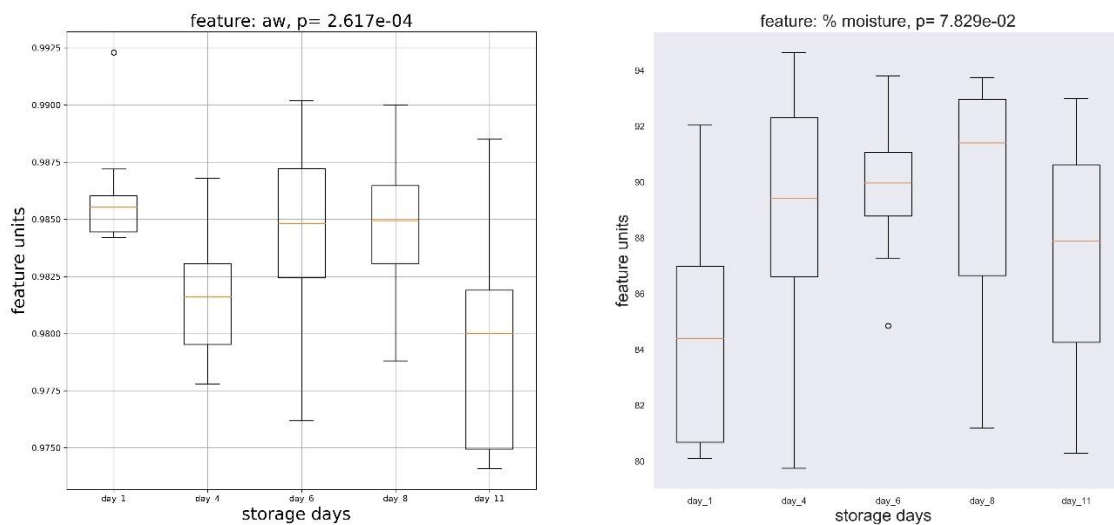
Επίσης, η περιεκτικότητα του καρπού σε υγρασία παρουσιάζει προοδευτική αύξηση μέχρι την ημέρα 6 όπου και καταγράφεται η μέγιστη τιμή της. Μετά την ημέρα 6 έως και την ημέρα 11 η υγρασία παρουσιάζει μικρή ελάττωση. Σε κάθε περίπτωση οι μεταβολές δεν είναι στατιστικά σημαντικές ($P>0,05$).

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε πως, παρόλο που η ταχεία απώλεια ύδατος θεωρείται ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθιστούν την φράουλα ένα εξαιρετικά ευπαθές φρούτο (Jouki et al., 2012), η αποθήκευση σε ελεγχόμενη θερμοκρασία ψύξης και υγρασία, περιόρισε ικανοποιητικά αυτή τη διαδικασία. Σύμφωνα με τους Falah et al. (2016) η ψύξη περιορίζει την διαπνοή (την αποβολή νερού υπό μορφή υδρατμών) και συμβάλλει στην παράταση της διάρκειας ζωής των καρπών φράουλας.

Πίνακας 6. Περιεκτικότητα σε υγρασία (%), ενεργότητα ύδατος και περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά στερεά (βαθμοί °Brix), της φράουλας τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11.

Ημέρες	% Υγρασία	Ενεργότητα ύδατος	Ολικά διαλυτά στερεά
1	84,96±4,55a	0,9859±0,0022a	6,00±1,04a
4	88,77±4,83a	0,9817±0,0028bd	6,08±0,99a
6	89,76±2,39a	0,9844±0,0038abc	9,25±1,68b
8	89,51±4,53a	0,9847±0,0032abc	9,67±1,84b
11	87,38±4,44a	0,9793±0,0044d	10,00±1,68b

*Τα αποτελέσματα αφορούν τον μέσο όρο ± τυπική απόκλιση (n=12). Διαφορετικά γράμματα κατά μήκος κάθε στήλης μετά από κάθε τιμή υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά ($P<0,05$)



Σχήμα 4. Μεταβολή της υπολογιζόμενης ενεργότητας ύδατος και της υγρασίας των δειγμάτων φράουλας, τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11.

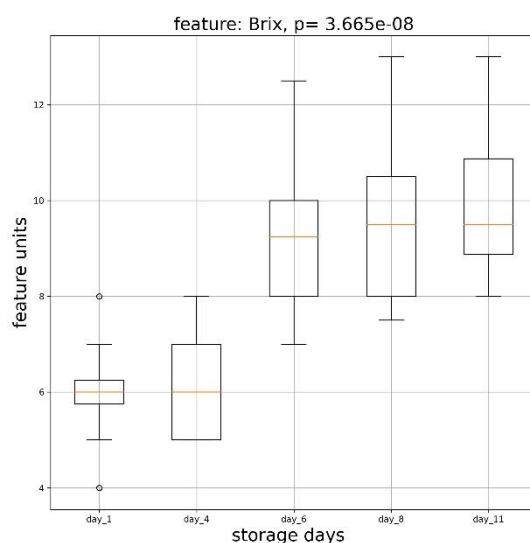
4.2.2 Περιεκτικότητα σε Ολικά Διαλυτά Στερεά (TSS)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 6, τα ολικά διαλυτά στερεά παραμένουν πρακτικώς σταθερά κατά τις πρώτες τέσσερις ημέρες, ενώ παρουσιάζουν μία σημαντική ($P < 0,05$) αύξηση από την ημέρα 4 στην ημέρα 6 της αποθήκευσης. Από την ημέρα 6 έως και την ημέρα 11 παρατηρείται αύξηση της τιμής τους, μη στατιστικά σημαντική ($P > 0,05$). Τα ευρήματα αυτά πιθανόν υποδηλώνουν ότι κατά την ημέρα 6 έλαβε χώρα μια σημαντική παραγωγή σακχάρων, η περιεκτικότητα των οποίων δεν τροποποιήθηκε ιδιαίτερος κατά την περαιτέρω εξέλιξη της αποθήκευσης.

Τα ανωτέρω αποτελέσματα έρχονται σε συμφωνία με την μελέτη των Rahman et al. το 2016 οι οποίοι συσχέτισαν το στάδιο ωρίμανσης κατά το οποίο έγινε συγκομιδή καρπών φράουλας με τη διάρκεια ζωής τους. Στη συγκεκριμένη μελέτη, παρατηρήθηκε αύξηση των ολικών διαλυτών στερεών κατά την αποθήκευση καρπών φράουλας σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, η οποία αποδόθηκε στην υδρόλυση της σακχαρόζης σε ιμβερτοποιημένα σάκχαρα. Ακόμη μία ερμηνεία της αύξησης των διαλυτών στερεών από τους Rahman et al. σχετίζεται με την αναπνοή, κατά την οποία γίνεται μετατροπή των αδιάλυτων ενώσεων σε διαλυτές μορφές και με την απώλεια υγρασίας του καρπού λόγω εξάτμισης.

Επίσης, η περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά στερεά είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το γευστικό προφίλ της φράουλας, καθώς είναι ανάλογη με την περιεκτικότητα των κυρίων σακχάρων της φράουλας, δηλαδή της σακχαρόζης, της φρουκτόζης και της γλυκόζης (Minutti-López Sierra et al., 2019). Επομένως, αντιλαμβανόμαστε ότι με την εξέλιξη της αποθήκευσης οι καρποί καθίστανται πιο εύγεστοι.

Επιπλέον, η διαπίστωση αύξησης των TSS κατά την αποθήκευση υπό ψύξη, έρχεται σε μερική συμφωνία με τους Gol et al. (2013) και τους Ayala-Zavala et al. (2007), οι οποίοι διαπίστωσαν αύξηση των TSS μέχρι την 8^η (11°C) και 12^η (5°C) μέρα αποθήκευσης, αντίστοιχα, και στη συνέχεια μείωση της τιμής. Ακόμη, στις μελέτες των Lee et al. (2022), Koyuncu (2004) και Pelayo et al. (2003) διαπιστώθηκε ότι η περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά στερεά παρουσιάζει διαφορετική συμπεριφορά μεταξύ των διαφορετικών ποικιλιών, ενώ οι Falah et al. (2016) παρατήρησαν σταθερές τιμές ή μικρή μείωση των τιμών των ολικών διαλυτών στερεών κατά τη διάρκεια συντήρησης.



Σχήμα 5. Μεταβολή των υπολογιζόμενων ολικών διαλυτών στερεών της φράουλας, τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11.

4.2.3 Ογκομετρούμενη Οξύτητα (TA)

Η ογκομετρούμενη οξύτητα εκφράστηκε ως εκατοστιαία περιεκτικότητα φράουλας (% w/w) σε κιτρικό οξύ. Η ογκομετρούμενη οξύτητα είναι εξαρτώμενη από την περιεκτικότητα του καρπού σε οργανικά οξέα και το κιτρικό οξύ είναι το πιο άφθονο οξύ στη φράουλα, ακολουθούμενο από το μηλικό (Koyuncu 2004).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης (βλ. Πιν. 7), η ογκομετρούμενη οξύτητα παρουσίασε μη σημαντική ($P>0,05$) αύξηση έως την 6^η ημέρα αποθήκευσης και στη συνέχεια μείωση, με σημαντική ($P<0,05$) μείωση από την ημέρα 8 έως την ημέρα 11, όπου έλαβε την ελάχιστη τιμή της (0,13% w/w). Η διαπίστωση αυτή έρχεται σε συμφωνία με τους Jouki et al. (2012), οι οποίοι παρατήρησαν μία αρχική αύξηση της TA και στη συνέχεια μείωσή της και απέδωσαν τη μείωση αυτή σε οξείδωση οργανικών οξέων κατά τον κύκλο του Krebs. Ακόμη, οι Gol et al. (2013) και οι Muley et al. (2020) απέδωσαν την μείωση της TA στην διαδικασία της ωρίμανσης του καρπού, κατά την οποία τα οργανικά, μη πτητικά οξέα και κυρίως το κιτρικό οξύ καταναλώνονται σε διάφορες μεταβολικές οδούς.

Επιπλέον, σε άλλες έρευνες σχετικά με την διατηρησιμότητα διαφορετικών ποικιλιών φράουλας όπως των Rahman et al. (2016) και των Gol et al. (2013), διαπιστώθηκε απευθείας μείωση της TA κατά την αποθήκευση, των Lee et al. (2022) αύξησή της, ενώ των Falah et al. (2016) διατήρησή της σε σταθερά επίπεδα.

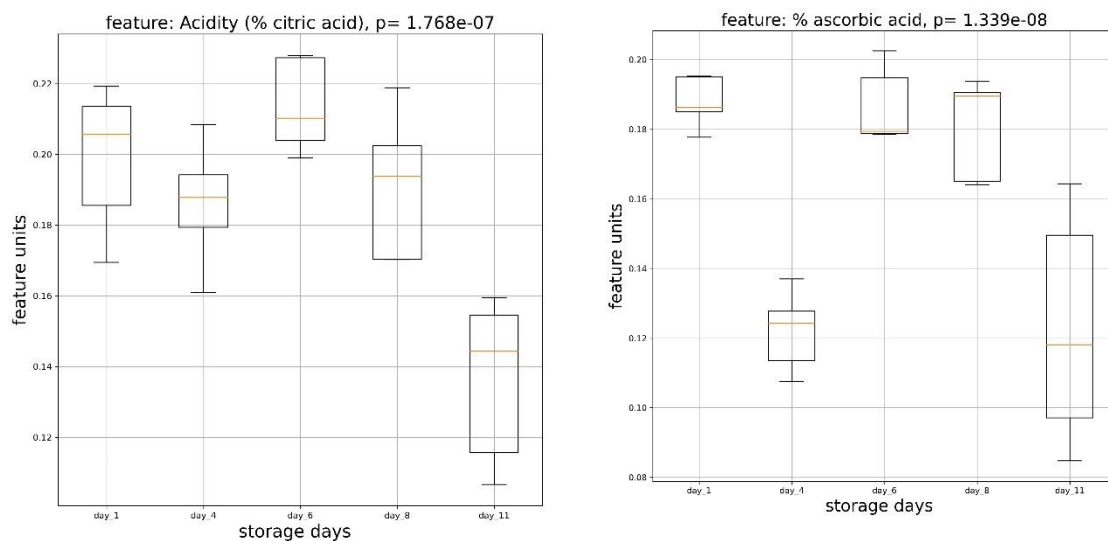
Τέλος, έχει αναφερθεί πως για να χαρακτηριστεί η γεύση της φράουλας ως αποδεκτή, προτείνεται ως μέγιστη τιμή της TA το 0,8% και ως ελάχιστη τιμή των TSS το 7% (Rutkowski et al., 2004). Επομένως, τα δείγματα που εξετάστηκαν παρουσιάζουν αποδεκτό γευστικό προφίλ από την 6^η ημέρα αποθήκευσης έως και το πέρας της διάρκειας ζωής τους.

Πίνακας 7. Ογκομετρούμενη οξύτητα σε κιτρικό οξύ και περιεκτικότητα σε ασκορβικό οξύ της φράουλας, ως εκατοστιαίες (% w/w) εκφράσεις, τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11.

Ημέρες **Ογκομετρούμενη οξύτητα (% w/w)** **Περιεκτικότητα σε ασκορβικό οξύ (% w/w)**

1	0,20±0,018ab	0,19±0,006a
4	0,19±0,015a	0,12±0,011b
6	0,21±0,013b	0,19±0,010a
8	0,19±0,021a	0,18±0,014a
11	0,13±0,021c	0,12±0,030b

*Τα αποτελέσματα αφορούν τον μέσο όρο ± τυπική απόκλιση (n=12). Διαφορετικά γράμματα κατά μήκος κάθε στήλης μετά από κάθε τιμή υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά ($P<0,05$)



Σχήμα 6. Μεταβολή της υπολογιζόμενης ογκομετρούμενης οξύτητας σε κιτρικό οξύ και της περιεκτικότητας σε ασκορβικό οξύ της φράουλας, ως εκατοστιαίες (% w/w) εκφράσεις, τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11.

4.2.4 Περιεκτικότητα σε ασκορβικό οξύ

Όσον αφορά την περιεκτικότητα των δειγμάτων σε ασκορβικό οξύ, παρουσίασε σημαντική ($P>0,05$) μείωση έως την τέταρτη ημέρα αναλύσεων, στη συνέχεια, την ημέρα 6, η τιμή της αυξήθηκε σημαντικά ($P>0,05$) και έφτασε την τιμή της αρχικής περιεκτικότητας (0,19% w/w), παρέμεινε σχεδόν σταθερή έως και την ημέρα 8, ενώ έπειτα μειώθηκε σημαντικά ($P>0,05$) λαμβάνοντας την ελάχιστη τιμή της, την ημέρα 11 (βλ. Πιν. 7).

Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε μερική συμφωνία με την έρευνα των Rahman et al. (2016), οι οποίοι διαπίστωσαν μία ελαφριά αύξηση έως τη δεύτερη ημέρα και έπειτα μείωση της περιεκτικότητας ασκορβικού οξέος κατά τη διατηρησιμότητα της φράουλας σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Συμπεραίνουμε πως οι συνθήκες ψύξης, που επιλέχθηκαν στην παρούσα μελέτη, προκαλούν παράταση στην επερχόμενη μείωση του ασκορβικού οξέος. Σύμφωνα με τους Falah et al. (2016), η μείωση του ασκορβικού οξέος οφείλεται στην οξείδωση της ένωσης αυτής, η οποία ευνοείται με τη αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης. Επίσης, οι Muley et al. (2020) θεώρησαν πως η μείωση της περιεκτικότητας σε ασκορβικό οξύ αποδίδεται στην εξάτμιση της υδατοδιαλυτής βιταμίνης μαζί με την υγρασία του καρπού.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, έχει παρατηρηθεί διαφορετική συμπεριφορά της βιταμίνης C κατά την αποθήκευση της φράουλας και πέρα από την θερμοκρασία

αποθήκευσης ο Koyuncu (2004) συμπέρανε πως ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που διαφοροποιεί τη συμπεριφορά του ασκορβικού οξέος είναι και η ποικιλία του φρούτου. Τέλος, το ασκορβικό οξύ θεωρείται αντιπροσωπευτικός παράγοντας που σχετίζεται με τη φρεσκάδα των φρούτων, λόγω της μεγάλης ευαισθησίας του σαν ένωση (Koyuncu 2004).

4.2.5 Προσδιορισμός παραμέτρων χρώματος

Οι παράμετροι χρώματος της εξωτερικής και εσωτερικής επιφάνειας των καρπών, εκτός από την ανάλυση εικόνας, προσδιορίστηκαν και με τη χρήση χρωματομέτρου, οι τιμές των οποίων παρατίθενται στους Πίνακες 8 και 9, αντίστοιχα.

Πίνακας 8. Παράμετροι χρώματος εξωτερικής επιφάνειας φράουλας, τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11 με χρήση χρωματομέτρου

Ημέρες	L*	a*	b*	h
1	39,76±1,107a	26,66±4,437ab	12,73±2,748a	24,86±3,397a
4	42,66±1,523bc	25,40±2,336ab	12,66±2,548a	26,60±4,462a
6	43,19±2,141b	26,35±2,859ab	12,68±2,546a	25,74±4,186a
8	39,77±2,167a	28,15±2,588a	14,66±4,109a	26,81±4,713a
11	40,83±2,376ac	24,65±1,707b	11,85±2,418a	25,26±2,377a

*Τα αποτελέσματα αφορούν τον μέσο όρο ± τυπική απόκλιση (n=12). Διαφορετικά γράμματα κατά μήκος κάθε στήλης μετά από κάθε τιμή υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά ($P<0,05$)

Στην εξωτερική επιφάνεια των δειγμάτων (βλ. Πιν. 8), διαπιστώνεται σημαντική ($P<0,05$) αύξηση και στη συνέχεια σημαντική ($P<0,05$) μείωση των τιμών της παραμέτρου L*. Ωστόσο η τιμή της φωτεινότητας της 1^{ης} ημέρας δε διαφέρει στατιστικά σημαντικά ($P>0,05$) με αυτή της 8^{ης} και 11^{ης} ημέρας αποθήκευσης, δηλαδή η φωτεινότητα παρουσιάζει διακυμάνσεις, αλλά επανέρχεται στα αρχικά επίπεδα, κατά το πέρας της αποθήκευσης. Όσον αφορά τις παραμέτρους b* και h, σε κάθε περίπτωση οι τιμές τους δε παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές, ενώ η παράμετρος a* αυξάνεται μη σημαντικά ($P>0,05$) από την ημέρα 6 στην ημέρα 8 και στη συνέχεια, μειώνεται σημαντικά ($P<0,05$) έως την ημέρα 11. Συγκεκριμένα η χροιά h διατηρήθηκε σε αποχρώσεις μεταξύ της κόκκινης και της πορτοκαλί. Η διακύμανση της τιμής a* υποδηλώνει την μεταβολή του χρώματος μεταξύ του κόκκινου και του πράσινου και έως το τέλος της αποθήκευσης η τιμή του a* μειώθηκε σημαντικά δηλαδή το χρώμα της εξωτερικής επιφάνειας από κόκκινο μεταβλήθηκε σε κόκκινο-πράσινο.

Σύμφωνα με τους Falah et al. (2016), κατά την αποθήκευση φράουλας υπό συνθήκες ψύξης, παρατηρείται μείωση των τιμών των L* και b* και διατήρηση των τιμών a* σε σταθερά επίπεδα. Γενικά, η μείωση των τιμών L* κατά την αποθήκευση, φαίνεται να έρχεται σε συμφωνία με πολλές μελέτες όπως των Koyuncu (2004), Ayala-Zavala et al. (2007) και Feng et al. (2014). Ωστόσο, σχετικά με τη μεταβολή της παραμέτρου a*, έχει καταγραφεί μείωση των τιμών της κατά την αποθήκευση (Koyuncu, 2004; Ayala-Zavala et al., 2007; Lee et al., 2022), καθώς και αύξηση των τιμών της (Jouki et al., 2012). Επιπλέον, σύμφωνα με τους Pelayo et al. (2003), Jouki et al. (2012) και Feng et al. (2014) η τιμή της παραμέτρου h παρουσιάζει αύξηση κατά τη μετασυλλεκτική ζωή της φράουλας.

Όσον αφορά τις διακυμάνσεις των παραμέτρων χρώματος στο εσωτερικό των καρπών κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης (βλ. Πιν. 9), παρατηρείται μείωση της φωτεινότητας (L*), όπως και της τιμή b*, δηλαδή μείωση του κίτρινου χρώματος. Επίσης, σε κάθε περίπτωση οι μεταβολές των παραμέτρων a* και h δεν είναι στατιστικά σημαντικές ($P>0,05$).

Παρατηρούμε πως οι τιμές των παραμέτρων χρώματος δεν είναι σε συμφωνία με τις τιμές που εξήχθησαν από την ανάλυση εικόνας. Αυτό, μπορεί να οφείλεται στην μικρότερη αξιοπιστία των μετρήσεων με τη χρήση του χρωματομέτρου. Το χρωματομέτρο αξιολογεί πολύ μικρές επιφάνειες (διαμέτρου 8 mm), με αποτέλεσμα να μην είναι τόσο αντιπροσωπευτικές όλης της επιφάνειας του δείγματος όσο οι τιμές της ανάλυσης εικόνας, κατά την οποία λαμβάνονται τιμές από όλη την έκταση του δείγματος και συνυπολογίζονται στην εξαγωγή των παραμέτρων χρώματος. Ωστόσο, τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του χρώματος και με τις δύο τεχνικές αποδεικνύουν πως οι παράμετροι χρώματος εμφανίζουν διαφορετική συμπεριφορά στο εξωτερικό και εσωτερικό μέρος του καρπού.

Πίνακας 9. Παράμετροι χρώματος εσωτερικής επιφάνειας φράουλας, τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11 με χρήση χρωματομέτρου.

Ημέρες	L*	a*	b*	h
1	59,70±2,545a	19,58±4,322a	20,37±3,097a	46,62±2,040a
4	55,73±2,184b	18,94±2,024a	19,31±2,460a	44,45±1,678a
6	56,41±2,518ab	18,50±1,992a	18,44±0,882ab	45,70±1,611a
8	54,44±2,941b	19,29±1,952a	19,28±1,999a	45,36±0,698a
11	49,50±3,835c	17,17±2,120a	16,40±2,601b	44,26±6,741a

*Τα αποτελέσματα αφορούν τον μέσο όρο ± τυπική απόκλιση (n=12). Διαφορετικά γράμματα κατά μήκος κάθε στήλης μετά από κάθε τιμή υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά ($P<0,05$)

4.2.6 Ανάλυση Υφής

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης υφής παρουσιάζονται στον Πίνακα 10. Όσον αφορά τη σκληρότητα, η τιμή της παρουσίασε μη σημαντική ($P>0,05$) αύξηση έως την ημέρα 4, έπειτα σημαντική ($P<0,05$) μείωση έως την ελάχιστη τιμή της την ημέρα 6, και τέλος αυξήθηκε μη στατιστικά σημαντικά ($P>0,05$), έως την ημέρα 11. Η σημαντική μείωση της σκληρότητας από την 4^η ημέρα αποθήκευσης έως την 6^η θα μπορούσε να σχετίζεται με την υδρόλυση των πολυσακχαριτών, οι οποίοι συμβάλλουν στην δομική σταθερότητα του καρπού.

Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί, πως η αύξηση της σκληρότητας της φράουλας λόγω χαμηλής θερμοκρασίας αποθήκευσης έχει σχολιαστεί από πολλούς συγγραφείς. Σύμφωνα με τον Koyuncu (2004), η αύξηση της σκληρότητας μπορεί να οφείλεται σε αλλαγή της συμπεριφοράς της πηκτίνης που προκαλεί πιθανή αύξηση του ιξώδους ή/και σε άλλους υδατάνθρακες (όπως η κυτταρίνη και η ημικυτταρίνη) οι οποίοι σχετίζονται με την αύξηση της σφριγηλότητας της σάρκας. Στην έρευνά του ο Koyuncu (2004), διαπίστωσε αύξηση της σκληρότητα έως την 5^η ημέρα αποθήκευσης στους 0 °C και έπειτα μείωσή της ή διατήρησή της σε σταθερές τιμές, ανάλογα με την αναλυόμενη ποικιλία φράουλας.

Πίνακας 10. Παράμετροι υφής στη διάρκεια 11 ημερών αποθήκευσης φράουλας (ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11).

Ημέρες	Σκληρότητα (N)	Ελαστικότητα	Συνεκτικότητα
1	4,70±1,657ab	0,81±0,069a	0,26±0,034a
4	6,40±1,911a	0,71±0,095a	0,30±0,040ab
6	4,24±1,172b	0,79±0,087a	0,25±0,038a
8	4,88±1,196ab	0,80±0,174a	0,27±0,034a
11	5,07±1,444ab	0,83±0,087a	0,34±0,096b

Ημέρες	Κολλητικότητα (N*sec)	Κομμώδες (N)	Μασητικότητα (N)
1	-0,024±0,018a	1,21±0,458a	0,96±0,339a
4	-0,023±0,013a	1,89±0,461b	1,53±0,468b
6	-0,039±0,013ab	1,07±0,323a	1,00±0,451a
8	-0,031±0,015ab	1,27±0,267a	1,00±0,288a
11	-0,044±0,019b	1,46±0,588ab	1,50±0,186b

*Τα αποτελέσματα αφορούν τον μέσο όρο \pm τυπική απόκλιση ($n=12$). Διαφορετικά γράμματα κατά μήκος κάθε στήλης μετά από κάθε τιμή υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά ($P<0,05$)

Σύμφωνα με τους Falah et al. (2016), η σκληρότητα δειγμάτων φράουλας που αποθηκεύτηκαν στους 8-11 °C παρέμεινε σχετικά σε σταθερές τιμές εμφανίζοντας, παράλληλα, μη σημαντική μείωση των τιμών της. Σε συμφωνία με τους Falah et al. (2016), οι Pelayo et al. (2003) δε διαπίστωσαν επίδραση του χρόνου αποθήκευσης στην σκληρότητα της σάρκας, ενώ αντίθετα, η έρευνα των Jouki et al. (2012) κατέγραψε μείωση της σκληρότητας κατά την αποθήκευση στους 4 °C. Η μείωση της σκληρότητας κατά τη διατηρησιμότητα της φράουλας μπορεί να συσχετιστεί με τη μείωση της υδροστατικής πίεσης στην κυτταρική μεμβράνη, την αντοχή του κυτταρικού τοιχώματος και τη μείωση της συγκέντρωσης της πηκτίνης στον καρπού λόγω της εξέλιξης της ωρίμανσης (Falah et al., 2016). Ακόμη, η μείωση της σκληρότητας από την ημέρα 4 στην ημέρα 6, πιθανόν να σχετίζεται με την σημαντική παραγωγή σακχάρων που λαμβάνει χώρα εκείνο το διάστημα (βλ Σχήμα 5), δηλαδή τη διάσπαση των πολυσακχαριτών προς σάκχαρα.

Επιπλέον, ο συσχετισμός αυτός φαίνεται να μπορεί να γίνει και με το κομμώδες και τη μασητικότητα, καθώς παρουσίασαν σημαντική μείωση των τιμών τους από την ημέρα 4 στην ημέρα 6 της αποθήκευσης. Το κομμώδες παρουσίασε σημαντική ($P<0,05$) αύξηση έως την ημέρα 4, έπειτα σημαντική ($P<0,05$) μείωση έως την ημέρα 6, ενώ έως το τέλος της αποθήκευσης οι μεταβολές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές. Η μείωση του κομμώδους υποδηλώνει την απαίτηση μικρότερης προσπάθειας για τη μάσηση του φρούτου και τη μείωση της κολλώδους υφής του. Όσον αφορά την κολλητικότητα, παρουσίασε σταδική μείωση της τιμής της κατά την αποθήκευση η οποία είχε στατιστικά σημαντική ($P<0,05$) διαφορά από την 1^η ημέρα έως την τελευταία. Τέλος, η ελαστικότητα και η μασητικότητα, δε παρουσίασαν σημαντικές μεταβολές κατά την αποθήκευση ($P>0,05$), ενώ η συνεκτικότητα αυξήθηκε σημαντικά ($P<0,05$) από την ημέρα 8 έως την ημέρα 11 της αποθήκευσης, λαμβάνοντας τη μέγιστη τιμή της.

Από τα παραπάνω, συμπεραίνουμε πως παρατηρείται σημαντική τροποποίηση της υφής των καρπών φράουλας από την 4^η ημέρα της αποθήκευσης και έπειτα, η οποία είναι πιθανόν να σχετίζεται με την τροποποίηση της σύστασης του καρπού όσον αφορά το περιεχόμενο σε σάκχαρα.

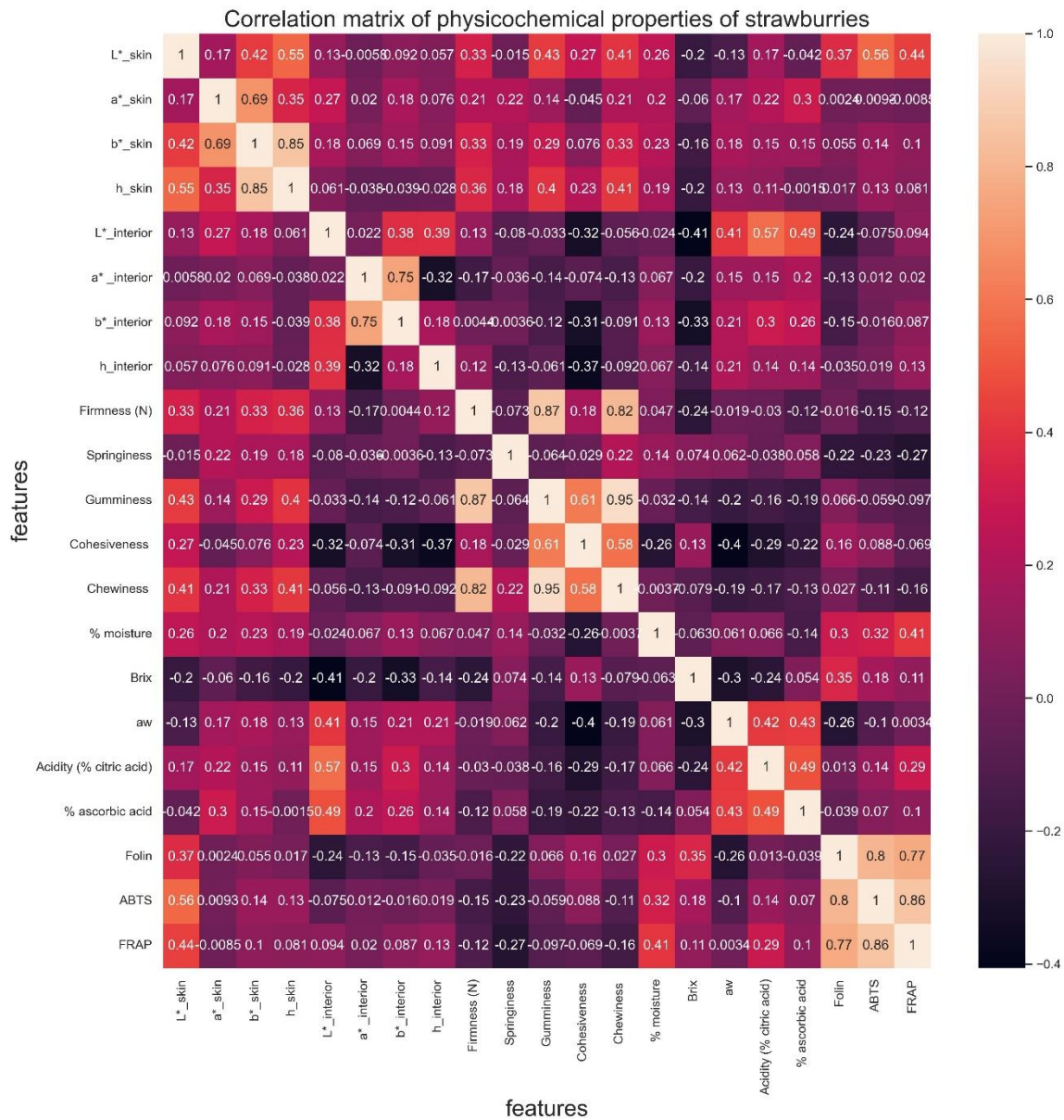
4.2.7 Συσχέτιση φυσικοχημικών παραμέτρων

Στην παρακάτω εικόνα (βλ. Εικ. 12), παρουσιάζεται ο πίνακας συσχέτισης κατά ζεύγη (Pairwise correlation matrix) μεταξύ των φυσικοχημικών παραμέτρων της φράουλας, του

ολικού φαινολικού περιεχομένου, της αντιριζικής και αντιοξειδωτικής δράσης και των παραμέτρων χρώματος (L^* , a^* , b^*), κατά την αποθήκευση. Κάθε κελί του πίνακα αντιπροσωπεύει τον συντελεστή συσχέτισης μεταξύ ενός ζεύγους μεταβλητών, οι οποίες παρατίθενται στις γραμμές και τις στήλες του πίνακα.

Τα ζεύγη που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για περαιτέρω σχολιασμό είναι αυτά που περιλαμβάνουν τις μεταβλητές των Folin, FRAP και ABTS, καθώς εμφανίζουν υψηλούς συντελεστές συσχέτισης μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, το ζεύγος Folin-ABTS χαρακτηρίζεται από συντελεστή συσχέτισης 0,8, το ζεύγος Folin-FRAP 0,77, ενώ το ζεύγος ABTS-FRAP 0,86. Η συσχέτιση των αποτελεσμάτων των μεθόδων FRAP και ABTS είναι η μεγαλύτερη, καθώς σχετίζονται με την αξιολόγηση της αντιριζικής και αντιοξειδωτικής ικανότητας των δειγμάτων. Ωστόσο, η συσχέτιση με την μέθοδο Folin (μέθοδος προσδιορισμού φαινολικού περιεχομένου) είναι εξίσου σημαντική, καθώς οι φαινολικές ενώσεις αποτελούν τις κύριες αντιοξειδωτικές ενώσεις στον καρπό της φράουλας, ενώ χαρακτηρίζονται από την ικανότητα σταθεροποίησης ελευθέρων ριζών.

Επίσης, υψηλοί συντελεστές συσχέτισης εμφανίζονται στο ζεύγος παραμέτρων χρώματος της εξωτερικής επιφάνειας του καρπού φράουλας b^* - h . Μία θετική συσχέτιση μεταξύ αυτών των δύο παραμέτρων, δείχνει ότι καθώς μεταβάλλεται η παράμετρος h (προσομοιάζει το χρώμα-απόχρωση που αντιλαμβάνεται ο ανθρώπινος οφθαλμός), η παράμετρος b^* μεταβάλλεται αναλόγως. Επιπλέον, υψηλοί συντελεστές συσχέτισης εμφανίζονται στο ζεύγος παραμέτρων χρώματος a^* και b^* , τόσο της εξωτερικής επιφάνειας του καρπού (με τιμή 0,69), όσο και της εσωτερικής επιφάνειάς του (με τιμή 0,75). Μια υψηλή συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων χρώματος a^* και b^* υποδηλώνει ότι υπάρχει ισχυρή σχέση μεταξύ των πράσινων-κόκκινων και μπλε-κίτρινων αποχρώσεων. Αυτό σημαίνει ότι οι αλλαγές σε μια παράμετρο είναι πιθανό να συνοδεύονται από αλλαγές και στην άλλη παράμετρο.



Εικόνα 12. Πίνακας συσχέτισης κατά ζεύγη (Pairwise correlation matrix) μεταξύ των φυσικοχημικών παραμέτρων της φράουλας, του ολικού φαινολικού περιεχομένου, της ανιριζικής και αντιοξειδωτικής δράσης και των χαρακτηριστικών L*, a*, b*, κατά την αποθήκευση.

Τέλος, από υψηλούς συντελεστές συσχέτισης συνοδεύονται τα ζεύγη παραμέτρων υφής (όπως Σκληρότητα (Firmness) - Κομμιώδες (Gumminess). Σκληρότητα - Μασητικότητα (Chewiness), Κομμιώδες - Μασητικότητα, Συνεκτικότητα (Cohesiveness) - Κομμιώδες). Είναι πιθανό η υψηλή συσχέτιση να εμφανίζεται καθώς οι παράμετροι υφής υπολογίζονται από ένα κοινό διάγραμμα υφής και είναι αλληλεξαρτώμενοι.

Στην παρακάτω εικόνα (βλ. Εικ. 13), παρουσιάζεται ο πίνακας συσχέτισης κατά ζεύγη (Pairwise correlation matrix) μεταξύ των παραμέτρων υφής από την ανάλυση εικόνας της εξωτερικής επιφάνειας των καρπών φράουλας, κατά την αποθήκευση.

4.3 Φασματοσκοπία Μετασχηματισμού Fourier με Αποσβένουσα Ολική Ανάκλαση

Μεθοδολογία αποτίμησης φασμάτων υπερύθρου

Προκειμένου να αξιολογηθούν και να αποτιμηθούν ποιοτικά τα φάσματα υπερύθρου των δειγμάτων φράουλας προηγήθηκε ενδελεχής μελέτη της βιβλιογραφίας ώστε να καταγραφούν όλες οι περιοχές-ταινίες απορρόφησης, που σχετίζονται με τις συστατικές ενώσεις της φράουλας. Οι ταινίες αυτές ελέγχθηκαν σε όλη την περιοχή κυματαριθμών που πραγματοποιήθηκε η ανάλυση, δηλαδή από 4000-500 cm^{-1} . Οι περισσότερες ταινίες που αναμένονται στα φάσματα της φράουλας σχετίζονται με την περιεκτικότητά της σε υγρασία, σάκχαρα, οργανικά οξέα, φαινολικές και αρωματικές ενώσεις, κλπ.

Συγκεκριμένα, η ταινία απορρόφησης στα 3645–3600 cm^{-1} αποδίδεται σε δονήσεις τάσης του δεσμού O-H των φαινολικών ενώσεων (Nandiyanto et al., 2019), ενώ η ταινία απορρόφησης που παρατηρείται στα 3380 cm^{-1} σχετίζεται με δονήσεις τάσης των υδροξυλομάδων που απαντώνται στα μόρια νερού, στους υδατάνθρακες, στα οργανικά οξέα (κιτρικό οξύ), στα αμινοξέα (τυροσίνη) και στις αλκοόλες (Minutti-López Sierra et al., 2019; Anjos et al., 2015; Kozłowicz et al., 2020). Οι ταινίες απορρόφησης που εμφανίζεται στα 2918-2920 cm^{-1} και 2850-2855 cm^{-1} οφείλονται σε συμμετρικές και ασύμμετρες δονήσεις τάσης του δεσμού C-H των ομάδων $-\text{CH}_2$ και $-\text{CH}_3$ των υδατανθράκων, των καρβοξυλικών οξέων και των αμινοξέων (Anjos et al., 2015; Brangule et al., 2020; Kozłowicz et al., 2020). Η ταινία απορρόφησης στα 1730-1742 cm^{-1} αφορά δονήσεις τάσης λόγω της παρουσίας του καρβονυλίου (C=O) εστερικών δεσμών, ενώσεων που σχετίζονται με το άρωμα της φράουλας όπως του εξανοϊκού αιθυλεστέρα ή του βουτυρικού αιθυλεστέρα (Minutti-López Sierra et al., 2019). Όσον αφορά την ταινία απορρόφησης στα 1632-1647 cm^{-1} , αποδίδεται σε δονήσεις κάμψης λόγω της παραμόρφωσης των δεσμών των υδροξυλίων του νερού, των υδατανθράκων, των οργανικών οξέων και των φαινολικών ενώσεων (Anjos et al., 2015; Minutti-López Sierra et al., 2019; Kozłowicz et al., 2020), ενώ η ταινία απορρόφησης που εμφανίζεται στα 1635 cm^{-1} είναι απευθείας συσχετιζόμενη με την περιεχόμενη υγρασία στο δείγμα (Bello-Perez et al., 2005). Επίσης, η ταινία απορρόφησης στα 1510-1520 cm^{-1}

οφείλεται σε δονήσεις τάσης των δεσμών C=C-C, αρωματικών δακτυλίων (Nandiyanto et al., 2019).

Επιπλέον, η ταινία απορρόφησης στα 1420 cm^{-1} σχετίζεται με τον συνδυασμό της λικνιζόμενης δόνησης κάμψης του δεσμού C-H και της δόνησης κάμψης του υδροξυλίου (O-H) (Anjos et al., 2015; Brangule et al., 2020; Kozłowicz et al., 2020), ενώ η ταινία απορρόφησης στα 1457 cm^{-1} με τις ψαλιδοειδείς δονήσεις κάμψης των μεθυλενομάδων (CH₂) των μονοσακχαριτών (Wiercigroch et al., 2017). Η ταινία απορρόφησης στα $1351\text{-}1378\text{ cm}^{-1}$ σχετίζεται με την παρουσία του κιτρικού οξέος, δηλαδή του κυρίου οξέος που απαντάται στον καρπό της φράουλας (Mohamed et al., 2011). Πιο συγκεκριμένα, οφείλεται στις δονήσεις κάμψης του υδροξυλίου (O-H) των ομάδων C-OH (Kozłowicz et al., 2020). Η ταινία απορρόφησης στα $1245\text{-}1230\text{ cm}^{-1}$ οφείλεται σε δονήσεις τάσης του αιθερικού δεσμού (C-O) σε φαινολικές ενώσεις, σε γλυκοζυλιωμένες ανθοκυανίνες και σε δι- και πολυ- σακχαρίτες (Oliveira et al., 2016). Η ταινία απορρόφησης στα $1149\text{-}1155\text{ cm}^{-1}$ σχετίζεται με τις δονήσεις λόγω παραμόρφωσης των δεσμών C-H των υδατανθράκων (Kozłowicz et al., 2020). Η ταινία απορρόφησης στα $1146\text{-}1147\text{ cm}^{-1}$ σχετίζεται με τις δονήσεις των γλυκοζιτικών δεσμών ν(C-O-C) των πολυσακχαριτών (Canteri et al., 2019). Η ταινία απορρόφησης στα 1105 cm^{-1} σχετίζεται με τις δονήσεις τάσης των δεσμών (C-O) και (C-C) που ενέχονται στους πολυσακχαρίτες και στην πηκτίνη (Talari et al., 2017). Η ταινία απορρόφησης στα $1050\text{-}1055\text{ cm}^{-1}$ αποδίδεται στη σακχαρόζη (Cassani et al., 2018). Η ταινία απορρόφησης στα $1022\text{-}1028\text{ cm}^{-1}$ αποδίδεται στις δονήσεις των δεσμών C-O και C-C-C της γλυκόζης, καθώς και στις ασύμμετρες δονήσεις του πυρανικού δακτυλίου της γλυκόζης (Mellado-Mojica et al., 2022). Γενικότερα, οι ταινίες απορροφήσεων στα $1020\text{-}1100\text{ cm}^{-1}$ αντιστοιχούν σε χαρακτηριστικές κορυφές που προκαλούνται από δονήσεις των μορίων της γλυκόζης, της φρουκτόζης και της σακχαρόζης (Grassi et al., 2014). Οι ταινίες απορρόφησης στα $700\text{-}900\text{ cm}^{-1}$ αντιστοιχούν σε δονήσεις νουκλεϊκών οξέων (Mellado-Mojica et al., 2022). Η ταινία απορρόφησης στα $720\text{-}750\text{ cm}^{-1}$ αποδίδονται σε λικνιζόμενες δονήσεις των δεσμών (CH₂)_n με ($n \geq 3$) των μεθυλενίων (Nandiyanto et al., 2019). Η ταινία απορρόφησης στα $610\text{-}680\text{ cm}^{-1}$ οφείλεται σε δονήσεις κάμψης των δεσμών C-H των αλκινίων (Nandiyanto et al., 2019). Τέλος, η ταινία απορρόφησης στα 523 cm^{-1} σχετίζεται με δονήσεις κάμψης εντός του επιπέδου των δεσμών β(C-C-C) και β(C-O-C) στους γλυκοζιτικούς δεσμούς (Wiercigroch et al., 2017).

Πίνακας 11. Εντάσεις ταινιών απορρόφησης των φασμάτων FTIR-ATR της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης

Περιοχές (cm ⁻¹)	Ημέρα 1	Ημέρα 4	Ημέρα 6	Ημέρα 8	Ημέρα 11
523	0,009±0,002a	0,010±0,003a	0,010±0,003a	0,009±0,002a	0,008±0,002a
680-610	0,001±0,001a	0,002±0,002a	0,001±0,003a	0,001±0,001a	-
750-720	0,004±0,002a	0,003±0,001ab	0,002±0,001b	0,003±0,001ab	0,002±0,001b
1022-1028	0,068±0,013ab	0,054±0,013a	0,060±0,015a	0,064±0,018a	0,081±0,008b
1050-1055	0,011±0,003a	0,006±0,003b	0,011±0,004a	0,008±0,001ab	0,015±0,002c
1105	0,058±0,011a	0,052±0,012a	0,054±0,007a	0,053±0,009a	0,056±0,010a
1149- 1155	0,023±0,009a	0,021±0,008a	0,026±0,004a	0,020±0,010a	0,022±0,011a
1245-1230	0,046±0,006a	0,035±0,007b	0,047±0,012a	0,043±0,014ab	0,054±0,009a
1351-1378	0,017±0,004a	0,006±0,004b	0,018±0,004a	0,015±0,005a	0,021±0,003a
1420-1457	0,020±0,006a	0,019±0,006a	0,012±0,003b	0,017±0,005ab	0,019±0,004a
1510-1520	0,010±0,005ac	0,007±0,003c	0,017±0,006b	0,012±0,004a	0,011±0,003a
1632 -1647	0,171±0,012a	0,184±0,012ab	0,188±0,010ab	0,197±0,023b	0,190±0,013b
1730-1742	0,111±0,014a	0,100±0,021a	0,109±0,030a	0,104±0,017a	0,093±0,016a
2850-2855	0,181±0,030ab	0,134±0,048a	0,210±0,053b	0,174±0,040ab	0,202±0,038b
2918-2920	0,317±0,040ab	0,251±0,070a	0,370±0,063b	0,292±0,072a	0,279±0,062a
3380	0,006±0,001ac	0,004±0,002b	0,007±0,001c	0,006±0,001ac	0,005±0,001ab
3645-3600	0,000±0,000a	0,020±0,003b	0,011±0,003c	0,023±0,009b	0,011±0,003c

*Τα αποτελέσματα αφορούν τον μέσο όρο ± τυπική απόκλιση (n=12). Διαφορετικά γράμματα κατά μήκος κάθε στήλης μετά από κάθε τιμή υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά ($P<0,05$)

Στον πίνακα 11 παρουσιάζονται οι πιο σημαντικές περιοχές απορρόφησης, όπως και οι εντάσεις αυτών κατά τη διατηρησιμότητα των δειγμάτων. Η κορυφή στα 3645-3600 cm⁻¹, που αποδίδεται σε δονήσεις τάσης των δεσμών O-H των φαινολικών ενώσεων την ημέρα 1 δεν καταγράφηκε. Έως την ημέρα 4 παρουσίασε αύξηση, στη συνέχεια μείωση έως την ημέρα 6 της αποθήκευσης και έπειτα ξανά αύξηση έως την 8 και μείωση έως την τελευταία ημέρα της διάρκειας ζωής. Σε κάθε περίπτωση οι μεταβολές ήταν στατιστικά σημαντικές ($P<0,05$). Η σημαντική αύξηση των φαινολικών ενώσεων από την ημέρα 1 στην ημέρα 4, όπως και η μείωση τους κατά τις τελευταίες ημέρες αποθήκευσης, έρχονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της ανάλυσης Folin-Ciocalteu (τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται παρακάτω), όπου η ημέρα 1 χαρακτηρίζεται από σημαντικά χαμηλή περιεκτικότητα ολικών φαινολικών ενώσεων, στην συνέχεια παρατηρείται αύξηση και έπειτα μείωση.

Η κορυφή στα 3380 cm⁻¹ σχετίζεται με δονήσεις τάσης των υδροξυλομάδων που απαντώνται στα μόρια νερού, στους υδατάνθρακες, στα οργανικά οξέα (κιτρικό οξύ), στα αμινοξέα (τυροσίνη) και στις φαινολικές ενώσεις. Σε αυτή τη περιοχή απορρόφησης οι εντάσεις παρουσίασαν μία σημαντική ($P<0,05$) μείωση την ημέρα 4 και μία σημαντική

αύξηση στην ημέρα 6 για να επανέλθουν στα αρχικά επίπεδα και να διατηρηθούν σταθερές τις ημέρες 8 και 11.

Όσον αφορά τις εντάσεις των κορυφών, που εμφανίζονται στα $2918-2920\text{ cm}^{-1}$ και $2850-2855\text{ cm}^{-1}$ και οφείλονται σε συμμετρικές και ασύμμετρες δονήσεις τάσης του δεσμού C-H των ομάδων $-\text{CH}_2$ και $-\text{CH}_3$ των υδατανθράκων, των καρβοξυλικών οξέων και των αμινοξέων, παρουσίασαν σημαντική αύξηση από την ημέρα 4 στην ημέρα 6, όπου και καταγράφηκε η μέγιστη τιμή τους. Στη συνέχεια, καταγράφονται μείωση και σταθερές τιμές της έντασής τους, αντίστοιχα.

Επιπλέον, όσον αφορά την ένταση απορρόφησης στα $1730-1742\text{ cm}^{-1}$ που σχετίζεται με τις δονήσεις τάσης του καρβονυλίου (C=O) εστερικών δεσμών και ενώσεων που σχετίζονται με το άρωμα της φράουλας όπως του εξανοϊκού αιθυλεστέρα ή του βουτυρικού αιθυλεστέρα, δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές μεταβολές κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.

Η κορυφή της περιοχής απορρόφησης στα $1647-1632\text{ cm}^{-1}$, που σχετίζεται με την περιεκτικότητα σε υγρασία παρουσίασε σταδιακή αύξηση της έντασής της. Σε κάθε περίπτωση, η μεταβολή ήταν σημαντική από την ημέρα 8 της αποθήκευσης και μετά συγκριτικά με την ημέρα 1. Αυτή η μεταβολή έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα του προσδιορισμού της υγρασίας, που αναλύθηκαν παραπάνω.

Η ταινία απορρόφησης στα $1510-1520\text{ cm}^{-1}$ οφείλεται σε δονήσεις τάσης των δεσμών C=C-C, αρωματικών δακτυλίων. Η ένταση αυτής της κορυφής σημείωσε στατιστικά σημαντική αύξηση από την ημέρα 4 έως την ημέρα 6, όπου και έλαβε την μέγιστη τιμή της και έπειτα σημαντική μείωση έως την ημέρα 8 και διατήρησή της σε σταθερές τιμές έως την ημέρα 11. Οι μεταβολές αυτές μπορούν να συσχετιστούν με τη διακύμανση του ολικού φαινολικού περιεχομένου (παρουσιάζεται παρακάτω), λόγω της ύπαρξης αρωματικού δακτυλίου στη δομή τους και των υψηλών συγκεντρώσεών τους στον καρπό της φράουλας.

Τέλος, η κορυφή στα $1050-1055\text{ cm}^{-1}$ αποδίδεται στη σακχαρόζη. Οι εντάσεις σε αυτή τη περιοχή απορροφήσεων ήταν κυμαινόμενες, ωστόσο, η μεγαλύτερη ένταση παρατηρήθηκε την τελευταία ημέρα αποθήκευσης. Ακόμη, η κορυφή στα $1022-1028\text{ cm}^{-1}$ αποδίδεται στις δονήσεις των δεσμών C-O και C-C-C της γλυκόζης, καθώς και στις ασύμμετρες δονήσεις του πυρανικού δακτυλίου της γλυκόζης. Στην περιοχή αυτή παρατηρήθηκαν μη στατιστικά σημαντικές μεταβολές έως την ημέρα 8 και έπειτα

ακολούθησε μία σημαντική αύξηση από την ημέρα 8 στην ημέρα 11, όπου και έλαβε τη μέγιστη ένταση απορρόφησης. Συμπεραίνουμε, πως οι περιεκτικότητες στα συγκεκριμένα σάκχαρα είναι μέγιστες κατά τις τελευταίες ημέρες της αποθήκευσης και αυτή η παρατήρηση έρχεται σε συμφωνία με τον προσδιορισμό των ολικών διαλυτών στερεών. Επομένως, καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως τις τελευταίες ημέρες της αποθήκευσης έχουν αρχίσει να υδρολύονται πολυσακχαρίτες προς πιο απλά σάκχαρα.

4.4 Φασματοφωτομετρικές Μέθοδοι

4.4.1 Προσδιορισμός ολικού φαινολικού περιεχομένου εκχυλισμάτων φράουλας με τη μέθοδο Folin-Ciocalteu

Με τη μέθοδο Folin-Ciocalteu, τα αποτελέσματα της οποίας παρατίθενται στον Πίνακα 12, έγινε προσδιορισμός του ολικού φαινολικού περιεχομένου των δειγμάτων φράουλας. Από την ημέρα 1 έως την ημέρα 4 παρατηρείται σημαντική ($P < 0,05$) αύξηση του περιεχομένου σε φαινολικές ενώσεις, ενώ έπειτα και έως την τελική ημέρα αναλύσεων (ημέρα 11), η τιμή τους εμφανίζει μη σημαντική ($P > 0,05$) μείωση.

Πίνακας 12. Αποτελέσματα Ολικού Φαινολικού Περιεχομένου (TPC), Αντιριζικής (ABTS) και Αντιοξειδωτικής δράσης (FRAP) δειγμάτων της φράουλας τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11

Ημέρες	Ολικό Φαινολικό Περιεχόμενο (TPC) (mg GAE / g σάρκας φράουλας)	Αντιριζική Δράση (ABTS) (mg TE / g σάρκας φράουλας)	Αντιοξειδωτική Δράση (FRAP) (mg Fe ²⁺ / g σάρκας φράουλας)
1	0,54±0,19a	2,79±0,55a	8,46±1,75a
4	1,13±0,19b	4,02±0,59b	11,43±1,21bc
6	1,35±0,22b	5,04±0,65c	12,84±0,73b
8	1,23±0,42b	3,83±0,89b	11,02±1,93c
11	1,08±0,26b	3,72±0,98b	9,28±1,22a

*Τα αποτελέσματα αφορούν τον μέσο όρο ± τυπική απόκλιση (n=12). Διαφορετικά γράμματα κατά μήκος κάθε στήλης μετά από κάθε τιμή υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά ($P < 0,05$)

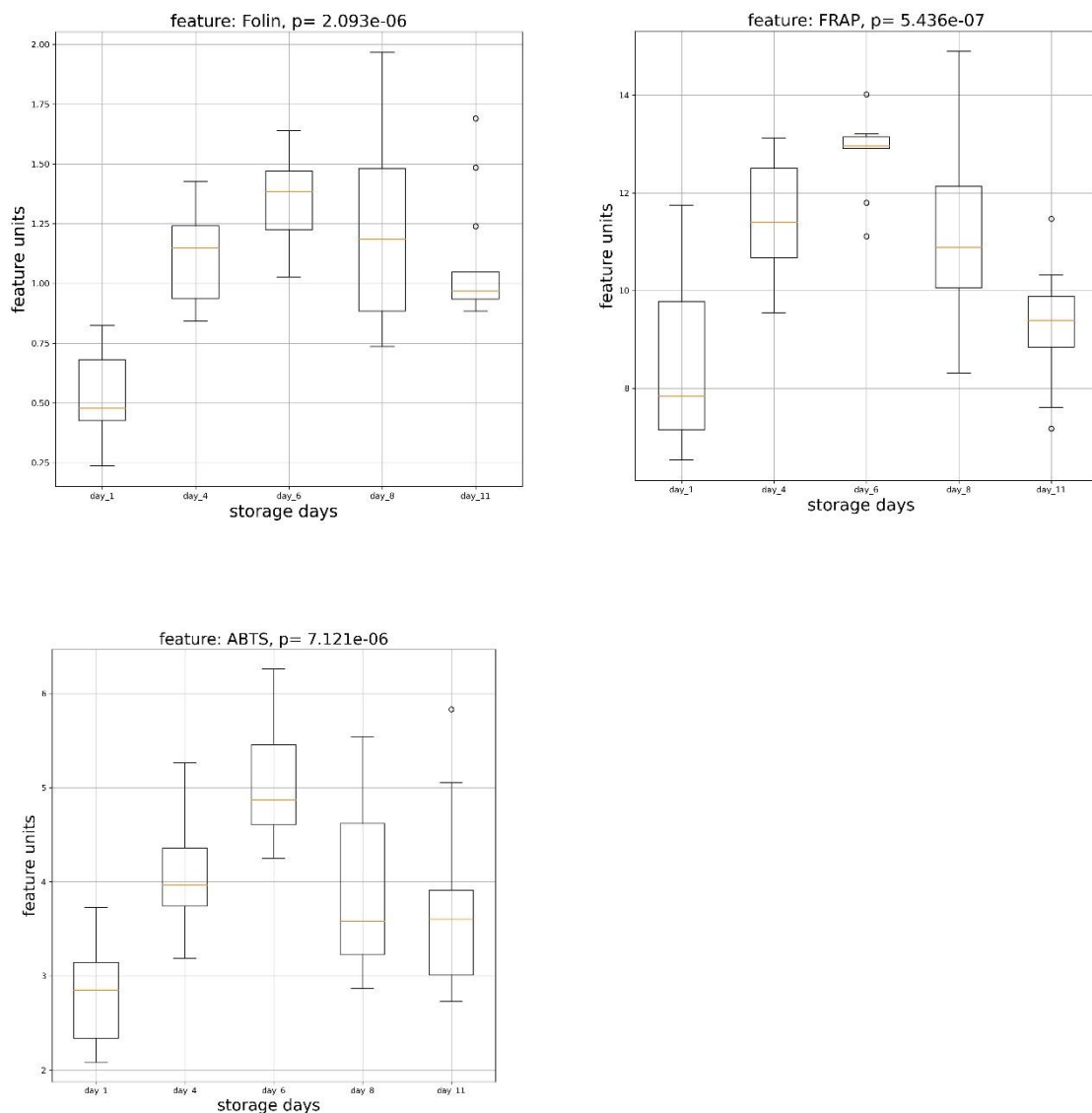
Η αύξηση του ολικού φαινολικού περιεχομένου σύμφωνα με τους Lee et al. (2022) σχετίζεται με την αύξηση του περιεχομένου σε ανθοκυανίνες κατά τη διατηρησιμότητα. Η βιοσυνθετική οδός των ανθοκυανινών λαμβάνει χώρα μετά τη συγκομιδή της φράουλας και οι χαμηλές θερμοκρασίες δεν αναστέλλουν αυτή τη διαδικασία, ενώ οι αλλαγές στην περιεκτικότητα ανθοκυανινών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ποικιλία (Feng et al., 2014). Ακόμη, τα ευρήματα των Feng et al. (2014) έρχονται σε συμφωνία με αυτά της

παρούσας έρευνας, διαπιστώνοντας αύξηση της περιεκτικότητας φαινολικών ενώσεων καρπών φράουλας έως την 4^η ημέρα αποθήκευσης στους 0 °C και στη συνέχεια μείωση αυτής. Επιπλέον, στην έρευνα των Ayala-Zavala et al. (2007) όπου μελετήθηκε η διατηρησιμότητα φράουλας σε διαφορετικές συγκεντρώσεις οξυγόνου, σε όλες τις συνθήκες παρατηρήθηκε αρχική αύξηση και στη συνέχεια μείωση του φαινολικού περιεχομένου. Ακόμη, σύμφωνα με τους Gol et al. (2013), οι οποίοι διαπίστωσαν μείωση φαινολικού περιεχομένου κατά την ψυχρή αποθήκευση, η μείωση αυτή παρατηρείται κατά το τέλος της διατηρησιμότητας λόγω της διάσπασης της κυτταρικής δομής του καρπού, καθώς αυτός γερνάει.

4.4.2 Προσδιορισμός αντιριζικής και αντιοξειδωτικής δράσης εκχυλισμάτων φράουλας

Με τις μεθόδους FRAP και ABTS αξιολογήθηκε η αντιοξειδωτική και αντιριζική ικανότητα των εκχυλισμάτων των δειγμάτων φράουλας κατά τη αποθήκευση. Στα αποτελέσματα της μεθόδου FRAP (βλ. Πιν. 12) παρατηρείται σημαντική ($P < 0,05$) αύξηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας έως την ημέρα 4, ακολουθεί μη στατιστικά σημαντική ($P > 0,05$) αύξηση έως την ημέρα 6, και στη συνέχεια ακολουθεί στατιστικά σημαντική ($P < 0,05$) μείωσή της έως την ημέρα 11. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της αντιριζικής ικανότητας με τη μέθοδο ABTS (βλ. Πιν. 12), η αντιριζική δράση εμφανίζει σημαντική ($P < 0,05$) αύξηση έως την ημέρα 6 και έπειτα σημαντική ($P < 0,05$) μείωση έως την ημέρα 8, ενώ από την ημέρα 8 έως την 11 παραμένει σχεδόν σταθερή.

Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε συμφωνία με τη διακύμανση του φαινολικού περιεχομένου (που αναλύθηκε με τη μέθοδο Folin-Ciocalteu), καθώς οι φαινολικές ενώσεις αποτελούν τα κύρια βιοδραστικά συστατικά με αντιοξειδωτική δράση στον καρπό της φράουλας. Επιπλέον, σύμφωνα με τους Muley et al. (2020), η μείωση της αντιοξειδωτικής ικανότητας ύστερα από παρατεταμένη αποθήκευση, μπορεί να αποδοθεί σε σειρά οξειδωτικών αντιδράσεων που προκαλούν διάσπαση των βιολογικά ενεργών μορίων. Τέλος, παρ' όλο που το ασκορβικό οξύ θεωρείται σημαντική αντιοξειδωτική ένωση στη σύσταση της φράουλας, σύμφωνα με τους Shin et al. (2008), πιθανώς δεν έχει αξιόλογη συνεισφορά στη συνολική αντιοξειδωτική δράση.



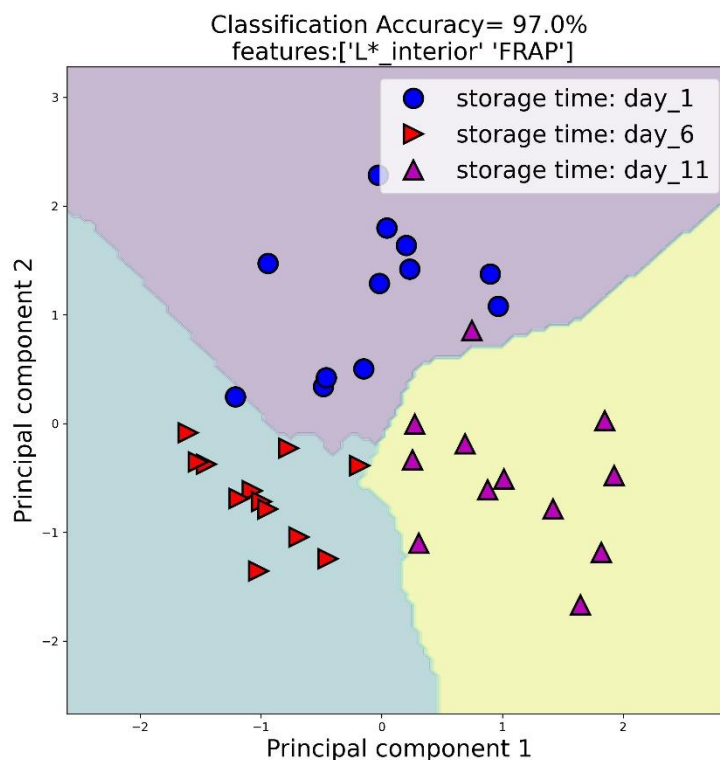
Σχήμα 7. Μεταβολή του υπολογιζόμενου Ολικού Φαινολικού Περιεχομένου (TPC), της Αντιριζικής (ABTS) και Αντιοξειδωτικής δράσης (FRAP) των δειγμάτων της φράουλας τις ημέρες 1, 4, 6, 8 και 11

4.5 Ανάλυση διάκρισης με χρήση φυσικοχημικών παραμέτρων και χαρακτηριστικών ανάλυσης της υφής της εικόνας

Προκειμένου να εκτιμηθεί η επίδραση της αποθήκευσης της φράουλας στη μεταβολή τόσο των φυσικοχημικών παραμέτρων όσο και των χαρακτηριστικών ανάλυσης της υφής της εικόνας, διενεργήθηκε η μεθοδολογία της ανάλυσης διάκρισης στις ανωτέρω παραμέτρους. Απώτερος στόχος ήταν να διερευνηθεί αν οι παράμετροι αυτοί μέσω των μεταβολών τους μπορούν να διαφοροποιήσουν τις ημέρες αποθήκευσης και περαιτέρω να οδηγήσουν στη δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης της αλλοίωσης της φράουλας κατά την αποθήκευση. Η

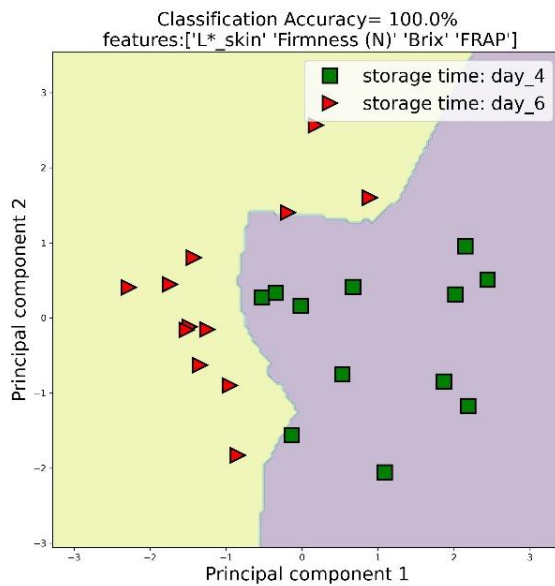
μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε είναι η ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA), μέσω της οποίας προκύπτουν διαγράμματα διασποράς που περιέχουν κατανεμημένα τα δείγματα διαφορετικών ημερών αποθήκευσης σε ομάδες ή ζώνες. Όσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια διάκρισης τόσο καλύτερος είναι ο διαχωρισμός των διαφορετικών ομάδων στο επίπεδο.

Στο διάγραμμα διασποράς που παρατίθεται στο Σχήμα 8, παρουσιάζεται η διάκριση, βάσει της παραμέτρου χρώματος L^* της εσωτερικής επιφάνειας της φράουλας και της αντιοξειδωτικής δράσης όπως προσδιορίστηκε με την μέθοδο FRAP, μεταξύ των δειγμάτων φράουλας από τις ημέρες 1, 6 και 11 της αποθήκευσης. Στην πάνω κεντρική ζώνη του διαγράμματος διασποράς ομαδοποιούνται τα δείγματα φράουλας της ημέρας 1 της αποθήκευσης (μπλε κύκλοι), στην κάτω αριστερή ζώνη ομαδοποιούνται τα δείγματα της ημέρας 6 (κόκκινα τρίγωνα), ενώ τα δείγματα της ημέρας 11 (μωβ τρίγωνα) συγκεντρώνεται στην κάτω δεξιά ζώνη του διαγράμματος διασποράς. Διαπιστώνεται πως τα σημεία της κάθε ημέρας αποθήκευσης σχηματίζουν ξεχωριστές και πλήρως διακριτές ομάδες (clusters) με ισχυρή ακρίβεια διάκρισης (97.0%). Επομένως, επιτυγχάνεται αποτελεσματική διαφοροποίηση των ημερών αποθήκευσης βάσει αυτών των δύο παραμέτρων.

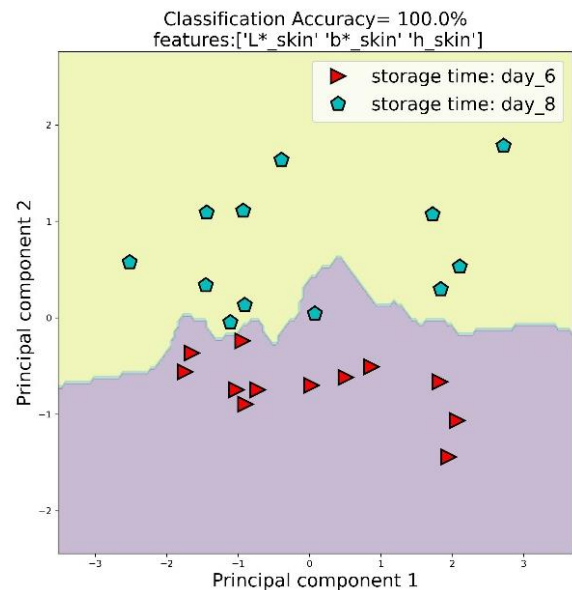


Σχήμα 8. Διάγραμμα διασποράς που παρουσιάζει την διάκριση, βάσει της παραμέτρους χρώματος L^* της εσωτερικής επιφάνειας της φράουλας και των τιμών της ανάλυσης FRAP, μεταξύ των δειγμάτων φράουλας από τις Ημέρες 1, 6 και 11

Επιπλέον, ακρίβεια διάκρισης 100.0% παρατηρείται στα παρακάτω διαγράμματα διασποράς. Η διάκριση στο Σχήμα 9 πραγματοποιείται μεταξύ της ημέρα 4 και της ημέρας 6 της αποθήκευσης βάσει της παραμέτρου χρώματος L^* της εξωτερικής επιφάνειας της φράουλας, της σκληρότητας, των βαθμών Brix και των τιμών της ανάλυσης FRAP, ενώ στο Σχήμα 10, η διάκριση αφορά την ημέρα 6 από την ημέρας 8, βάσει των παραμέτρων χρώματος L^* , b^* και h της εξωτερικής επιφάνειας της φράουλας, κατά την αποθήκευση.



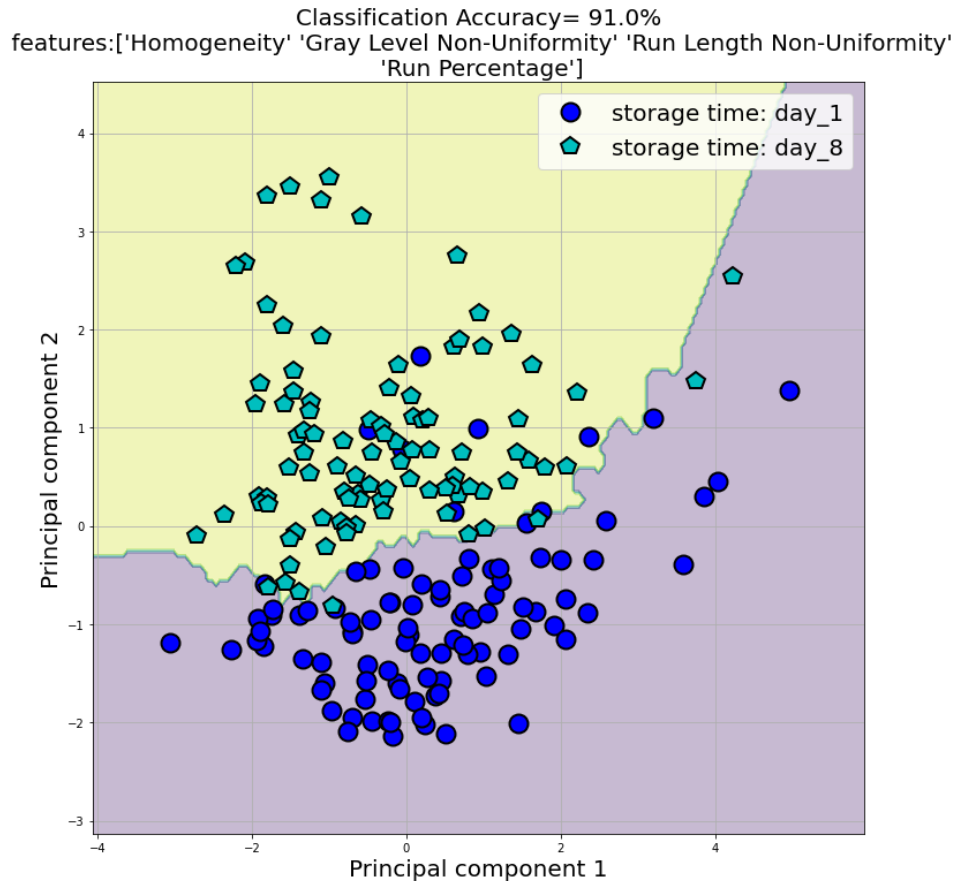
Σχήμα 9. Διάγραμμα διασποράς που παρουσιάζει την διάκριση, βάσει της παραμέτρου χρώματος L^* της εξωτερικής επιφάνειας της φράουλας, της σκληρότητας, των βαθμών Brix και των τιμών της ανάλυσης FRAP, μεταξύ των δειγμάτων φράουλας από τις Ημέρες 4 και 6.



Σχήμα 10. Διάγραμμα διασποράς που παρουσιάζει την διάκριση, βάσει των παραμέτρων χρώματος L^* , b^* και h της εξωτερικής επιφάνειας της φράουλας, μεταξύ των δειγμάτων φράουλας από τις Ημέρες 6 και 8.

Στο παρακάτω διάγραμμα διασποράς (βλ. Σχ. 11) παρουσιάζεται η συσχέτιση των παραμέτρων υφής Homogeneity, Gray Level Non-Uniformity, Run Length Non-Uniformity και Run Percentage, που εξήχθησαν από την ανάλυση εικόνας της εξωτερικής επιφάνειας των καρπών, μεταξύ των δειγμάτων φράουλας τις Ημέρες 1 και 8 της αποθήκευσης. Στην πάνω και αριστερή ζώνη του διαγράμματος διασποράς ομαδοποιούνται τα δείγματα φράουλας της ημέρας 1 της αποθήκευσης (γαλάζια πεντάγωνα), ενώ στην κάτω δεξιά ζώνη ομαδοποιούνται τα δείγματα της ημέρας 8 (μπλε κύκλοι). Διαπιστώνεται πως τα σημεία της κάθε ημέρας αποθήκευσης σχηματίζουν ξεχωριστές ομάδες (clusters) με ακρίβεια διάκρισης

91.0% και πως γίνεται αποτελεσματική διαφοροποίηση των ημερών αποθήκευσης, βάσει αυτών των τεσσάρων παραμέτρων υφής.



Σχήμα 11. Διάγραμμα διασποράς που παρουσιάζει την διάκριση, βάσει των παραμέτρων υφής Homogeneity, Gray Level Non-Uniformity και Run Length Non-Uniformity, που εξήχθησαν από το Image Analysis της εξωτερικής επιφάνειας, μεταξύ των δειγμάτων φράουλας από τις Ημέρες 1 και 8 της αποθήκευσης.

Η ικανότητα διάκρισης των ημερών αποθήκευσης βάσει των χαρακτηριστικών υφής της εικόνας της εξωτερικής επιφάνειας των δειγμάτων της φράουλας είναι επιτυχής και με άλλους συνδυασμούς παραμέτρων.

5. Συμπεράσματα

Η αξιολόγηση της μετασυλλεκτικής ζωής καρπών φράουλας υδροπονικής καλλιέργειας της ποικιλίας Marisol (*Fragaria × ananassa* Duchesne) κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες ψύξης (σε εύρος θερμοκρασίας $8 \pm 0,5^\circ\text{C}$ και υγρασίας $60 \pm 2\%$), οδήγησε σε πολύ ενδιαφέροντα ευρήματα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης υφής μέσω της ανάλυσης εικόνας (Image Analysis), παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές στις παραμέτρους υφής που υπολογίστηκαν από τις εικόνες φράουλας σε κλίμακα του γκρι. Οι μεταβολές, στην πλειονότητα των παραμέτρων υφής, είναι στατιστικά σημαντικές κυρίως από την ημέρα 6 στην ημέρα 8 της αποθήκευσης. Κατά το χρονικό διάστημα αυτό, η υφή τροποποιείται έντονα, μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά της και καθίσταται λιγότερο ομαλή και με μεγαλύτερη ανομοιομορφία. Επομένως, γίνεται η διαπίστωση πως η ημέρα 6 σηματοδοτεί την έναρξη της αλλοίωσης και γήρανσης της επιφάνειας των καρπών. Επίσης, η μείωση του όρου skewness κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης ερμηνεύτηκε με τη μείωση της φρεσκάδας των καρπών.

Όσον αφορά τις παραμέτρους χρώματος, αυτές προσδιορίστηκαν τόσο από τις έγχρωμες εικόνες των δειγμάτων φράουλας, όσο και με τη χρήση χρωματομέτρου. Στην εξωτερική επιφάνεια των καρπών οι στατιστικά σημαντικές μεταβολές έλαβαν χώρα τις τελευταίες ημέρες αποθήκευσης. Συγκεκριμένα, η φωτεινότητα μειώνεται σημαντικά από την ημέρα 6 στην ημέρα 8, όπως και η παράμετρος a^* (μείωση κόκκινης απόχρωσης). Η μείωση των παραμέτρων μπορεί αν οφείλεται σε μείωση ενώσεων όπως ανθοκυανινών, φλαβονοειδών, φαινολικών ενώσεων, καθώς και της συνολικής αντιοξειδωτικής δράσης κατά την αποθήκευση. Μάλιστα, η μείωση της αντιοξειδωτικής δράσης από την 6^η ημέρα έως και το πέρας της αποθήκευσης, επιβεβαιώνεται στη παρούσα μελέτη με τα αποτελέσματα της μεθόδου FRAP. Στην εξωτερική επιφάνεια οι μεταβολές των παραμέτρων χρώματος που προσδιορίστηκαν με τους δύο τρόπους, δεν είναι σε συμφωνία. Σε κάθε περίπτωση διαπιστώνεται διαφορετική συμπεριφορά του χρώματος μεταξύ της εξωτερικής και εσωτερικής επιφάνειας των καρπών κατά την αποθήκευση υπό ψύξη.

Η ανάλυση των φυσικοχημικών παραμέτρων, όπως η ενεργότητα ύδατος και η υγρασία, οδήγησε στην διαπίστωση πως οι συνθήκες αποθήκευσης περιόρισαν σημαντικά την ταχεία απώλεια ύδατος που χαρακτηρίζει αυτό το φρούτο. Επίσης, με τον προσδιορισμό των ολικών διαλυτών στερεών διαπιστώθηκε σημαντική παραγωγή σακχάρων από την

ημέρα 4 στην ημέρα 6 και διατήρησή τους σε σταθερά επίπεδα έως το τέλος της αποθήκευσης. Η ογκομετρούμενη οξύτητα παρουσίασε σημαντική μείωση από την ημέρα 8 έως την 11, πιθανόν λόγω της οξειδωσης οργανικών οξέων ή της κατανάλωσής τους σε διάφορες μεταβολικές οδούς. Επίσης, παρ' όλο που η υφή των καρπών, σύμφωνα με την ανάλυση υφής μέσω της ανάλυσης εικόνας, υπέστη υποβάθμιση κυρίως κατά την 6^η ημέρα αποθήκευσης και έπειτα, με βάση τις τιμές των ολικών διαλυτών στερεών και της ογκομετρούμενης οξύτητας, οι καρποί της φράουλας παρουσιάζουν αποδεκτό γευστικό προφίλ από την 6^η ημέρα αποθήκευσης έως και το πέρας της διάρκειας ζωής τους. Όσον αφορά την περιεκτικότητα του ασκορβικού οξέος, παρουσίασε διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, λαμβάνοντας την ελάχιστη τιμή της την τελευταία ημέρα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της Ανάλυσης Υφής (Texture Analysis), ορισμένες παράμετροι υφής δε παρουσίασαν σημαντικές μεταβολές κατά την αποθήκευση, όπως η ελαστικότητα και η κολλητικότητα. Η σκληρότητα παρουσίασε αύξηση τις πρώτες ημέρες αποθήκευσης, στη συνέχεια σημαντική μείωση έως την 6^η ημέρα και τέλος αύξηση έως το πέρας της αποθήκευσης. Οι διακυμάνσεις αυτές, πιθανόν να σχετίζονται με τη συμπεριφορά της πηκτίνης ή άλλων υδατανθράκων, τη θερμοκρασία αποθήκευσης, την υδροστατική πίεση και την αντοχή του κυτταρικού τοιχώματος. Ακόμη, παρατηρήθηκε μείωση του κομμωδούς κατά το μέσο της αποθήκευσης, η οποία υποδηλώνει τη μείωση της κολλώδους υφής του καρπού.

Τα αποτελέσματα της αποτίμησης των φασμάτων FTIR ήταν σε συμφωνία με ορισμένους προσδιορισμούς. Η διακύμανση των φαινολικών ενώσεων συσχετίζεται με τα αποτελέσματα του προσδιορισμού του ολικού φαινολικού περιεχομένου, όπως και οι μεταβολές της υγρασίας, ενώ επιβεβαιώνονται και οι υψηλές συγκεντρώσεις σακχαρόζης και γλυκόζης κατά το τέλος της αποθήκευσης από τον προσδιορισμό των ολικών διαλυτών στερεών.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων ποσοτικοποίησης του φαινολικού περιεχομένου και της αντιριζικής και αντιοξειδωτικής ικανότητας εκχυλισμάτων φράουλας έδειξαν ενδιαφέρουσα συσχέτιση μεταξύ τους. Αποδείχθηκε σημαντική αύξηση στις τιμές του ολικού φαινολικού περιεχομένου και της αντιριζικής και αντιοξειδωτικής δράσης από την ημέρα 1 στην ημέρα 4 της αποθήκευσης και μείωση κατά τις τελευταίες ημέρες αποθήκευσης. Τα ανωτέρω αποτελέσματα είναι σε συμφωνία, καθώς οι φαινολικές ενώσεις αποτελούν τις κύριες βιοδραστικές ενώσεις με αντιοξειδωτική και αντιριζική δράση στον

καρπό της φράουλας και εξάγεται το συμπέρασμα πως κατά την 6^η ημέρα της αποθήκευσης λαμβάνει χώρα σημαντική μείωση των παραπάνω δράσεων και συνεπώς και της διατροφικής αξίας του φρούτου.

Τέλος, με την ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA) και τα διαγράμματα διάκρισης, παρατηρήθηκε αποτελεσματική διάκριση των ημερών αποθήκευσης με βάση τις μεταβολές τόσο φυσικοχημικών παραμέτρων, όσο και χαρακτηριστικών ανάλυσης της υφής της εικόνας.

6. Υποδείξεις για περαιτέρω έρευνα

Ο συνδυασμός των αναλύσεων και μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν θα μπορούσε να εφαρμοστεί και σε άλλα φρούτα ως εργαλείο πρόβλεψης των ποιοτικών, φυσικοχημικών χαρακτηριστικών, καθώς και της διάρκειας ζωής για να διαπιστωθεί αν εξάγονται στατιστικά επαναλήψιμα αποτελέσματα. Επιπλέον, δεδομένου ότι οι παράμετροι ποιότητας (όπως η σύσταση, η αντιοξειδωτική ικανότητα, η υφή κ.ά) εμφανίζουν μεγάλη μεταβλητότητα ανάλογα με τους διαφορετικούς γονοτύπους και με το στάδιο ωρίμανσης κατά το οποίο γίνεται η συγκομιδή των καρπών φράουλας, θα παρουσίαζε ενδιαφέρον η μελέτη διαφορετικών ποικιλιών φράουλας, όπως και διαφορετικών χρόνων συγκομιδής. Τέλος, περαιτέρω έρευνα θα μπορούσε να διεξαχθεί στα φύλλα της φράουλας, τα οποία, σύμφωνα με μελέτες και μία σειρά αναλύσεων που πραγματοποιήθηκε, δοκιμαστικά, παράλληλα με την μελέτη που παρουσιάζεται σε αυτήν την εργασία, εμφανίζουν ενδιαφέρουσες μεταβολές που πιθανόν να μπορούν να συσχετιστούν με αυτές που λαμβάνουν χώρα στον καρπό του φυτού.

7. Βιβλιογραφία

- Aaby, K., Mazur, S., Nes, A., & Skrede, G. (2012). Phenolic compounds in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruits: Composition in 27 cultivars and changes during ripening. *Food Chemistry*, 132(1), 86-97.
- Akhatou, I., & Fernández Recamales, Á. (2014). Influence of cultivar and culture system on nutritional and organoleptic quality of strawberry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(5), 866-875.

- Alvarez-Suarez, J. M., Mazzoni, L., Forbes-Hernandez, T. Y., Gasparrini, M., Sabbadini, S., & Giampieri, F. (2014). The effects of pre-harvest and post-harvest factors on the nutritional quality of strawberry fruits: A review. *Journal of Berry Research*, 4(1), 1-10.
- Andreou, V., Strati, I. F., Fotakis, C., Liouni, M., Zoumpoulakis, P., & Sinanoglou, V. J. (2018). Herbal distillates: A new era of grape marc distillates with enriched antioxidant profile. *Food Chemistry*, 253, 171-178.
- Antunes, L. E. C., Ristow, N. C., Krolow, A. C. R., Carpenedo, S., & Reisser Júnior, C. (2010). Yield and quality of strawberry cultivars. *Horticultura Brasileira*, 28, 222-226.
- Asao, T., & Asaduzzaman, M. (Eds.). (2019). Strawberry: Pre-and Post-Harvest Management Techniques for Higher Fruit Quality. *BoD—Books on Demand*.
- Ayala-Zavala, J. F., Wang, S. Y., Wang, C. Y., & González-Aguilar, G. A. (2007). High oxygen treatment increases antioxidant capacity and postharvest life of strawberry fruit. *Food Technology and Biotechnology*, 45(2), 166-173.
- Azam, M., Ejaz, S., Rehman, R. N. U., Khan, M., & Qadri, R. (2019). Postharvest quality management of strawberries. *Strawberry-Pre-and Post-Harvest Management Techniques for Higher Fruit Quality*.
- Basu, A., Nguyen, A., Betts, N. M., & Lyons, T. J. (2014). Strawberry as a functional food: an evidence-based review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(6), 790-806.
- Contigiani, E. V., Jaramillo-Sánchez, G., Castro, M. A., Gómez, P. L., & Alzamora, S. M. (2018). Postharvest quality of strawberry fruit (*Fragaria x Ananassa* Duch cv. Albion) as affected by ozone washing: fungal spoilage, mechanical properties, and structure. *Food and Bioprocess Technology*, 11(9), 1639-1650.
- Cordenunsi, B. R., Genovese, M. I., do Nascimento, J. R. O., Hassimotto, N. M. A., dos Santos, R. J., & Lajolo, F. M. (2005). Effects of temperature on the chemical composition and antioxidant activity of three strawberry cultivars. *Food chemistry*, 91(1), 113-121.

- Di Lorenzo, R., Pisciotta, A., Santamaria, P., & Scariot, V. (2013). From soil to soil-less in horticulture: quality and typicity. *Italian Journal of Agronomy*, 8(4), e30-e30.
- Dong, D., Zhao, C., Zheng, W., Wang, W., Zhao, X., & Jiao, L. (2013). Analyzing strawberry spoilage via its volatile compounds using longpath fourier transform infrared spectroscopy. *Scientific reports*, 3(1), 1-7.
- Edger, P. P., Poorten, T. J., VanBuren, R., Hardigan, M. A., Colle, M., McKain, M. R., ... & Knapp, S. J. (2019). Origin and evolution of the octoploid strawberry genome. *Nature genetics*, 51(3), 541-547
- ElMasry, G., Wang, N., ElSayed, A., & Ngadi, M. (2007). Hyperspectral imaging for nondestructive determination of some quality attributes for strawberry. *Journal of food engineering*, 81(1), 98-107.
- Falah, M. A. F., Husna, H. I., Dewi, A. A., & Jumeri. (2016, July). Quality evaluation of fresh strawberry (*Fragaria* sp. cv. Earlybrite) during storage in a tropical environment. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1755, No. 1, p. 130003). *AIP Publishing LLC*.
- Feliziani, E., & Romanazzi, G. (2016). Postharvest decay of strawberry fruit: Etiology, epidemiology, and disease management. *Journal of Berry Research*, 6(1), 47-63.
- Feng, X. Y., Wang, B. G., Li, W. S., Yang, Y., Shi, L., & Yang, J. J. (2014). Physical and chemical characteristics of three strawberry cultivars during cold storage. *Acta Horticulturae*, (1049), 939.
- Folta, K. M., & Davis, T. M. (2006). Strawberry genes and genomics. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25(5), 399-415.
- Folta, K. M., & Barbey, C. R. (2019). The strawberry genome: a complicated past and promising future. *Horticulture Research*, 6.
- Fonseca, S. C., Oliveira, F. A., & Brecht, J. K. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of food engineering*, 52(2), 99-119.
- Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J. M., Quiles, J. L., Mezzetti, B., & Battino, M. (2012). The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, 28(1), 9-19.

- Giampieri, F., Alvarez-Suarez, J. M., Mazzoni, L., Romandini, S., Bompadre, S., Diamanti, J., ... & Battino, M. (2013). The potential impact of strawberry on human health. *Natural product research*, 27(4-5), 448-455.
- Giampieri, F., Alvarez-Suarez, J. M., & Battino, M. (2014). Strawberry and human health: Effects beyond antioxidant activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(18), 3867-3876.
- Giampieri, F., Forbes-Hernandez, T. Y., Gasparri, M., Alvarez-Suarez, J. M., Afrin, S., Bompadre, S., ... & Battino, M. (2015). Strawberry as a health promoter: an evidence based review. *Food & function*, 6(5), 1386-1398.
- Gol, N. B., Patel, P. R., & Rao, T. R. (2013). Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. *Postharvest Biology and Technology*, 85, 185-195.
- Guo, C., Liu, F., Kong, W., He, Y., & Lou, B. (2016). Hyperspectral imaging analysis for ripeness evaluation of strawberry with support vector machine. *Journal of Food Engineering*, 179, 11-18.
- Guo, J., Wang, S., Yu, X., Dong, R., Li, Y., Mei, X., & Shen, Y. (2018). Polyamines regulate strawberry fruit ripening by abscisic acid, auxin, and ethylene. *Plant physiology*, 177(1), 339-351.
- Halbwirth, H., Puhl, I., Haas, U., Jezik, K., Treutter, D., & Stich, K. (2006). Two-phase flavonoid formation in developing strawberry (*Fragaria × ananassa*) fruit. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(4), 1479-1485.
- Hardigan, M. A., Lorant, A., Pincot, D. D., Feldmann, M. J., Famula, R. A., Acharya, C. B., ... & Knapp, S. J. (2021). Unraveling the complex hybrid ancestry and domestication history of cultivated strawberry. *Molecular biology and evolution*, 38(6), 2285-2305.
- Heide, O. M., Stavang, J. A., & Sønsteby, A. (2013). Physiology and genetics of flowering in cultivated and wild strawberries—a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 88(1), 1-18.

- Hummer, K. E., & Hancock, J. (2009). Strawberry genomics: botanical history, cultivation, traditional breeding, and new technologies. In *Genetics and genomics of Rosaceae* (pp. 413-435). Springer, New York, NY.
- Hummer, K. E., Bassil, N., & Njuguna, W. (2011). *Fragaria*. In Wild crop relatives: Genomic and breeding resources (pp. 17-44). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Husaini, A. M., & Neri, D. (Eds.). (2016). Strawberry: growth, development and diseases. CABI.
- Jalali, A., Linke, M., Geyer, M., & Mahajan, P. V. (2020). Shelf life prediction model for strawberry based on respiration and transpiration processes. *Food Packaging and Shelf Life*, 25, 100525.
- Joshi, P., Pahariya, P., Al-Ani, M. F., & Choudhary, R. (2022). NNB Monitoring and prediction of sensory shelf-life in strawberry with ultraviolet–visible–near-infrared (UV-VIS-NIR) spectroscopy. *Applied Food Research*, 100123.
- Jouki, M., & Dadashpour, A. (2012). Comparison of physiochemical changes in two popular strawberry cultivars grown in Iran (cvs. kurdistan & selva) during storage time at 4 c. *Genetika*, 44(3), 679-688.
- Khammayom, N., Maruyama, N., & Chaichana, C. (2022). The effect of climatic parameters on strawberry production in a small walk-in greenhouse. *AgriEngineering*, 4(1), 104-121.
- Khan, F. A. (2018). A review on hydroponic greenhouse cultivation for sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 2(2), 59-66.
- Koyuncu, M. A. (2004). Quality changes of three strawberry cultivars during the cold storage. *European Journal of Horticultural Science*, 69(5).
- Kuchi, V. S., & Sharavani, C. S. R. (2019). Fruit physiology and postharvest management of strawberry. *Strawberry-Pre-and Post-Harvest Management Techniques for Higher Fruit Quality*.
- Kusumaningrum, D., Lee, S. H., Lee, W. H., Mo, C., & Cho, B. K. (2015). A review of technologies to prolong the shelf life of fresh tropical fruits in Southeast Asia. *Journal of Biosystems Engineering*, 40(4), 345-358.

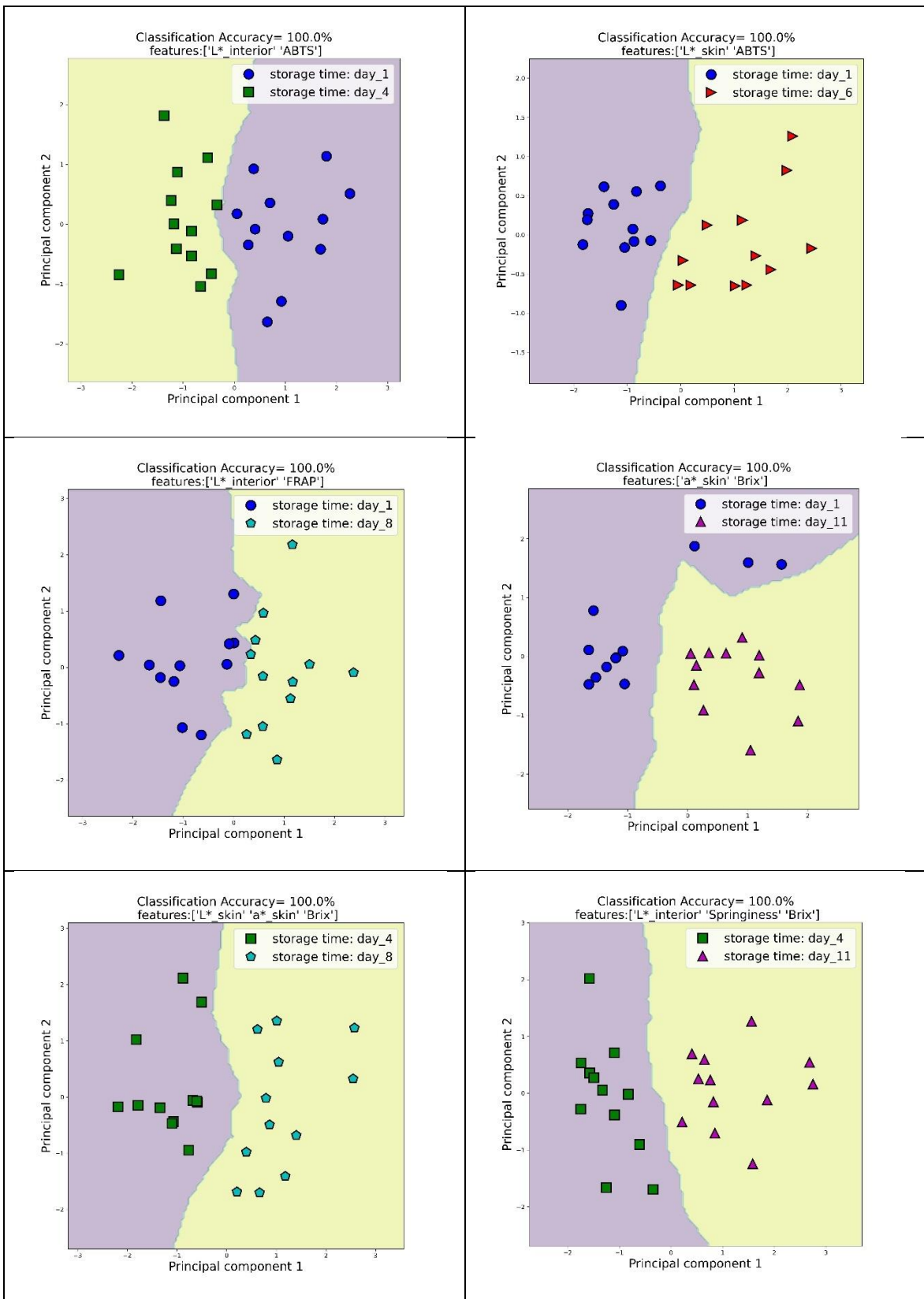
- Kwak, C. W., Choung, D. H., Min, S. R., Kim, S. W., Liu, J. R., & Chung, H. (2007). Fast determination of the ripeness stage of strawberries using infrared spectroscopy combined with principal component analysis. *Analytical sciences*, 23(7), 895-899.
- Lantzouraki, D. Z., Sinanoglou, V. J., Zoumpoulakis, P. G., Glamočlija, J., Ćirić, A., Soković, M., ... & Proestos, C. (2015). Antiradical–antimicrobial activity and phenolic profile of pomegranate (*Punica granatum* L.) juices from different cultivars: a comparative study. *Rsc Advances*, 5(4), 2602-2614.
- Lantzouraki, D. Z., V. J. Sinanoglou, P. Zoumpoulakis, and C. Proestos. 2016. Characterization of the antioxidant and antiradical activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) extracts. *Analytical Letters* 49 (7):969–78.
- Lee, C., Lee, J., & Lee, J. (2022). Relationship of fruit color and anthocyanin content with related gene expression differ in strawberry cultivars during shelf life. *Scientia Horticulturae*, 301, 111109.
- Lema-Rumińska, J., Kulus, D., Tymoszuik, A., Miler, N., Woźny, A., & Wenda-Piesik, A. (2021). Physiological, biochemical, and biometrical response of cultivated strawberry and wild strawberry in greenhouse gutter cultivation in the autumn-winter season in Poland—Preliminary Study. *Agronomy*, 11(8), 1633.
- López-Aranda, J. M., Soria, C., Santos, B. M., Miranda, L., Domínguez, P., & Medina-Mínguez, J. J. (2011). Strawberry production in mild climates of the world: a review of current cultivar use. *International journal of fruit science*, 11(3), 232-244.
- Massoud, R., Khodaeii, D., Hamidi-Esfahani, Z., & Khosravi-Darani, K. (2021). The effect of edible probiotic coating on quality of fresh fruits and vegetables: Fresh strawberries as a case study. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-10.
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Van Os, E., Anseeuw, D., Van Havermaet, R., & Junge, R. (2019). Hydroponic technologies. *Aquaponics food production systems*, 77.
- Mellado-Mojica, E., Calvo-Gómez, O., Jofre-Garfias, A. E., Dávalos-González, P. A., Desjardins, Y., & López, M. G. (2022). Fructooligosaccharides as molecular markers of geographic origin, growing region, genetic background and prebiotic potential in strawberries: A TLC, HPAEC-PAD and FTIR study. *Food Chemistry Advances*, 1, 100064.

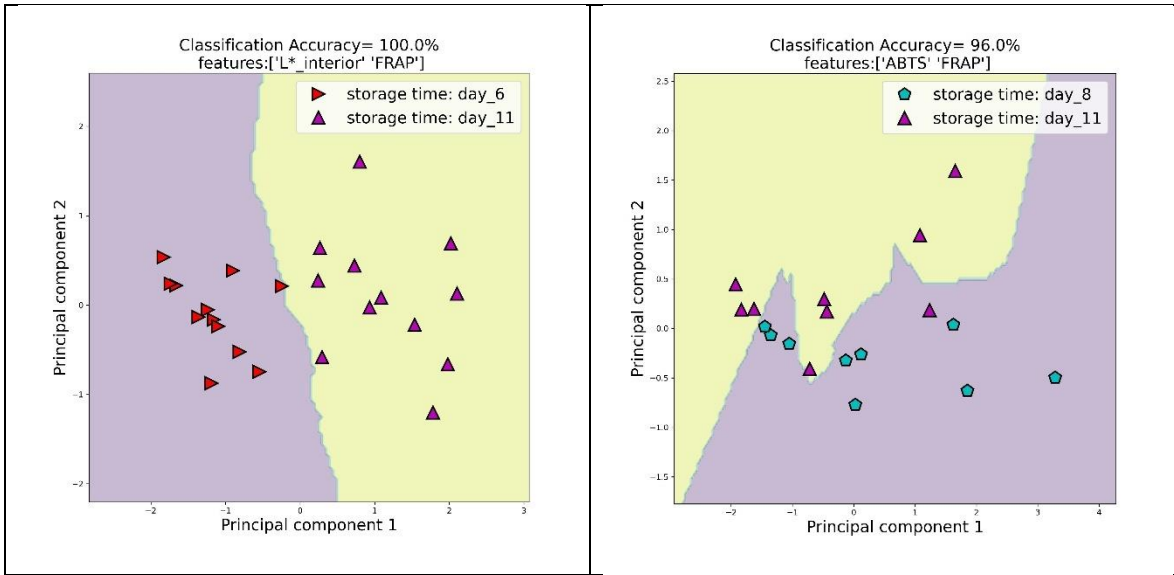
- Mercado, J. A., Pliego-Alfaro, F., & Quesada, M. A. (2011). Fruit shelf life and potential for its genetic improvement. *Breeding for fruit quality*, 81-104.
- Merchante, C., Vallarino, J. G., Osorio, S., Aragüez, I., Villarreal, N., Ariza, M. T., ... & Valpuesta, V. (2013). Ethylene is involved in strawberry fruit ripening in an organ-specific manner. *Journal of experimental botany*, 64(14), 4421-4439.
- Milala, J., Kosmala, M., Karlińska, E., Juskiewicz, J., Zdunczyk, Z., & Fotschki, B. (2017). Ellagitannins from strawberries with different degrees of polymerization showed different metabolism through gastrointestinal tract of rats. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(49), 10738-10748.
- Minutti-López Sierra, P., Gallardo-Velázquez, T., Osorio-Revilla, G., & Meza-Márquez, O. G. (2019). Chemical composition and antioxidant capacity in strawberry cultivars (*Fragaria x ananassa* Duch.) by FT-MIR spectroscopy and chemometrics. *CyTA-Journal of Food*, 17(1), 724-732.
- Montero, T. M., Mollá, E. M., Esteban, R. M., & López-Andréu, F. J. (1996). Quality attributes of strawberry during ripening. *Scientia Horticulturae*, 65(4), 239-250.
- Moya-León, M. A., Mattus-Araya, E., & Herrera, R. (2019). Molecular events occurring during softening of strawberry fruit. *Frontiers in Plant Science*, 10, 615.
- Muley, A. B., & Singhal, R. S. (2020). Extension of postharvest shelf life of strawberries (*Fragaria ananassa*) using a coating of chitosan-whey protein isolate conjugate. *Food chemistry*, 329, 127213.
- Nayik, G. A., & Muzaffar, K. (2014). Developments in packaging of fresh fruits-shelf life perspective: A review. *American Journal of Food Science and Nutrition Research*, 1(5), 34-39.
- Palumbo, M., Cozzolino, R., Laurino, C., Malorni, L., Picariello, G., Siano, F., ... & Pace, B. (2022). Rapid and Non-Destructive Techniques for the Discrimination of Ripening Stages in Candonga Strawberries. *Foods*, 11(11), 1534.
- Paniagua, C., Santiago-Doménech, N., Kirby, A. R., Gunning, A. P., Morris, V. J., Quesada, M. A., ... & Mercado, J. A. (2017). Structural changes in cell wall pectins during strawberry fruit development. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118, 55-63.

- Parra-Palma, C., Morales-Quintana, L., & Ramos, P. (2020). Phenolic content, color development, and pigment– related gene expression: A comparative analysis in different cultivars of strawberry during the ripening process. *Agronomy*, 10(4), 588.
- Pattison, J. A. (2011). Breeding for fruit quality in strawberry. *Breeding for Fruit Quality*, 231-246.
- Pelayo, C., Ebeler, S. E., & Kader, A. A. (2003). Postharvest life and flavor quality of three strawberry cultivars kept at 5 C in air or air+ 20 kPa CO₂. *Postharvest Biology and Technology*, 27(2), 171-183.
- Pérez, A. G., Olías, R., Sanz, C., & Olías, J. M. (1996). Furanones in strawberries: evolution during ripening and postharvest shelf life. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(11), 3620-3624.
- Resh, H. M. (2022). Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. *CRC press*.
- Rahman, M. M., Moniruzzaman, M., Ahmad, M. R., Sarker, B. C., & Alam, M. K. (2016). Maturity stages affect the postharvest quality and shelf-life of fruits of strawberry genotypes growing in subtropical regions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 15(1), 28-37.
- Richa, A., Touil, S., Fizir, M., & Martinez, V. (2020). Recent advances and perspectives in the treatment of hydroponic wastewater: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 19(4), 945-966.
- Rutkowski, K. P., Kruczynska, D. E., & Zurawicz, E. (2004, September). Quality and shelf life of strawberry cultivars in Poland. *In V International Strawberry Symposium* 708 (pp. 329-332).
- Sardare, M. D., & Admane, S. V. (2013). A review on plant without soil-hydroponics. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2(3), 299-304.
- Shin, Y., Ryu, J. A., Liu, R. H., Nock, J. F., & Watkins, C. B. (2008). Harvest maturity, storage temperature and relative humidity affect fruit quality, antioxidant contents and activity, and inhibition of cell proliferation of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 49(2), 201-209.

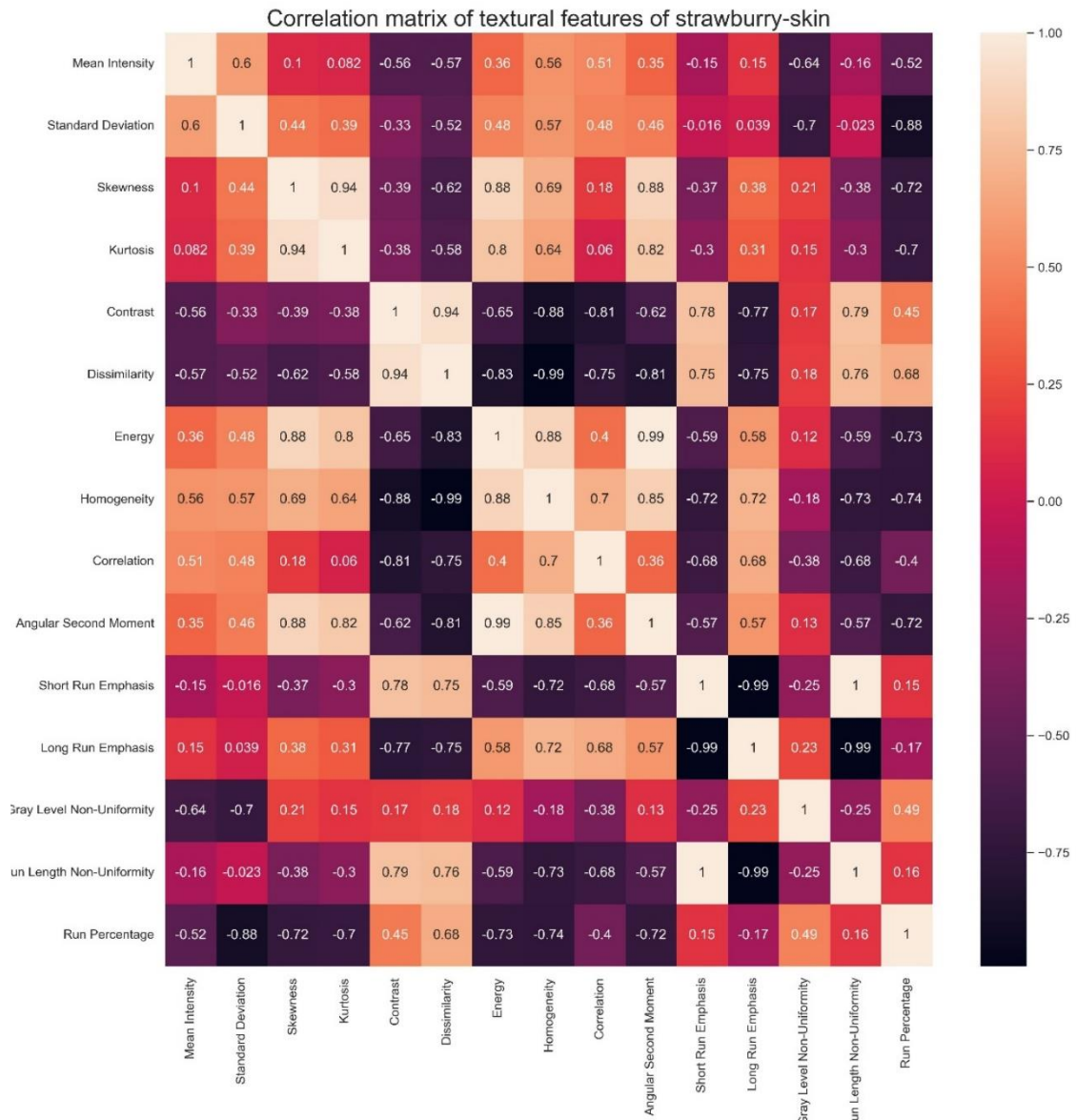
- Sreedevi, T. R., & Kumar, M. S. (2020). Digital Twin in Smart Farming: A categorical literature review and exploring possibilities in hydroponics. *2020 Advanced Computing and Communication Technologies for High Performance Applications (ACCTHPA)*, 120-124.
- Stewart, P. J., & Folta, K. M. (2010). A review of photoperiodic flowering research in strawberry (*Fragaria* spp.). *Critical reviews in plant science*, 29(1), 1-13.
- Thakur, M., Singh, K., & Khedkar, R. (2020). Phytochemicals: Extraction process, safety assessment, toxicological evaluations, and regulatory issues. In Functional and preservative properties of phytochemicals (pp. 341-361). *Academic Press*.
- Vergauwen, D., & De Smet, I. (2019). The strawberry tales: Size matters. *Trends in plant science*, 24(1), 1-3.
- Vinci, G., & Rapa, M. (2019). Hydroponic cultivation: life cycle assessment of substrate choice. *British Food Journal*, 121(8), 1801-1812.
- Voća, S., Šic Žlabur, J., Dobričević, N., Jakobek, L., Šeruga, M., Galić, A., & Pliestić, S. (2014). Variation in the bioactive compound content at three ripening stages of strawberry fruit. *Molecules*, 19(7), 10370-10385.
- Weng, S., Yu, S., Guo, B., Tang, P., & Liang, D. (2020). Non-destructive detection of strawberry quality using multi-features of hyperspectral imaging and multivariate methods. *Sensors*, 20(11), 3074.
- Wootton-Beard, P. (2019). Growing without soil: an overview of hydroponics. *Farming Connect, Aberystwyth, Wales*.
- Xie, D., Liu, D., & Guo, W. (2021). Relationship of the optical properties with soluble solids content and moisture content of strawberry during ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 179, 111569.

Παράρτημα

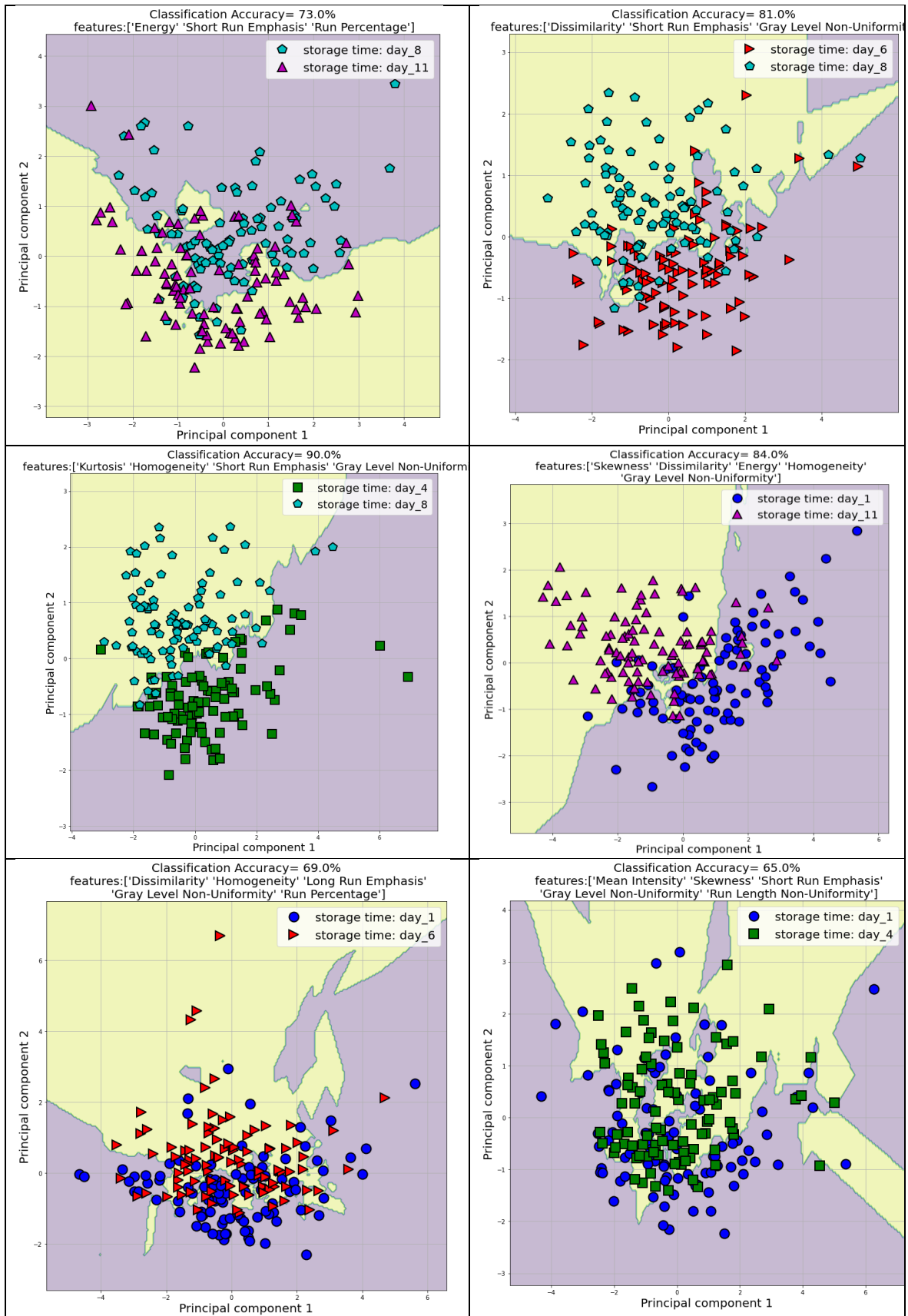




Σχήμα 12. Διαγράμματα διασποράς που παρουσιάζετε τη διάκριση των ημερών αποθήκευσης, βάσει διαφόρων συνδυασμών φυσικοχημικών παραμέτρων της φράουλας, ολικού φαινολικού περιεχομένου και αντιριζικής και αντιοξειδωτικής δράσης.



Εικόνα 13. Πίνακας συσχέτισης κατά ζεύγη (Pairwise correlation matrix) μεταξύ των παραμέτρων υφής από την ανάλυση εικόνας της εξωτερικής επιφάνειας των καρπών φράουλας, κατά την αποθήκευση.



Σχήμα 13. Διαγράμματα διασποράς που παρουσιάζεται η διάκριση των ημερών αποθήκευσης, βάσει διαφόρων συνδυασμών παραμέτρων υψής της εξωτερικής επιφάνειας της φράουλας, που εξήχθησαν από την ανάλυση εικόνας.