



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ & ΥΓΙΕΙΝΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ & ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Χρήση πολυφασματικής απεικόνισης για τη μη καταστρεπτική εκτίμηση
της θερμικής επεξεργασίας προϊόντων με βάση την τομάτα

Ελένη Β. Αγαλιανού

Επιβλέπων Καθηγητής:
Σκανδάμης Παναγιώτης, Καθηγητής ΓΠΑ

ΑΘΗΝΑ 2024

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ & ΥΓΙΕΙΝΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Χρήση πολυφασματικής απεικόνισης για τη μη καταστρεπτική εκτίμηση της θερμικής επεξεργασίας προϊόντων με βάση την τομάτα

"Non-destructive assessment of thermal processing of tomato-based products using Multispectral Imaging"

Ελένη Β. Αγαλιανού

Εξεταστική Επιτροπή

Σκανδάμης Παναγιώτης Ν., Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Πανάγου Ευστάθιος Ζ., Καθηγητής ΓΠΑ

Ταραντίλης Πέτρος, Καθηγητής ΓΠΑ

Χρήση πολυφασματικής απεικόνισης για τη μη καταστρεπτική εκτίμηση της θερμικής επεξεργασίας προϊόντων με βάση την τομάτα

ΠΜΣ Επιστήμη & Τεχνολογία Τροφίμων

Τμήμα Επιστήμης & Τεχνολογίας Τροφίμων & Διατροφής του Ανθρώπου

Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου & Υγιεινής Τροφίμων & Ποτών

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανοδική τάση στις καλλιέργειες τομάτας αντικατοπτρίζει την αυξημένη ζήτηση για φρέσκες και υγιεινές τροφές, αλλά και το ενδιαφέρον του καταναλωτικού κοινού για τα προϊόντα τομάτας. Ωστόσο, στη σύγχρονη εποχή, το καταναλωτικό κοινό εστιάζει ιδιαίτερα τόσο στην ποιότητα όσο και στην ασφάλεια των τελικών προϊόντων. Μια ταχεία και μη επεμβατική μέθοδος που εφαρμόζεται στον τομέα τροφίμων με στόχο την παραγωγή ποιοτικών και ασφαλών προϊόντων, είναι η πολυφασματική ανάλυση εικόνας. Απώτερος σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η μελέτη της αποτελεσματικότητας της εφαρμογής της πολυφασματικής απεικόνισης στην εκτίμηση του χρόνου θερμικής καταστροφής (F-value) των οξυγαλακτικών βακτηρίων και των θερμοφίλων σπορογόνων μικροοργανισμών σε προϊόντα τομάτας. Πιο συγκεκριμένα, έγινε προσπάθεια συσχέτισης των ποιοτικών παραμέτρων ιξώδες κατά Bostwick, βαθμοί Brix, pH και των 19 παρατηρήσεων/ανακλάσεων από το Videometer με την τιμή F-value που επιτυγχάνεται κατά την θερμική επεξεργασία.

Για το σκοπό αυτό, διεξήχθησαν ποιοτικές και μικροβιολογικές αναλύσεις των προϊόντων, μελέτη σταθερότητάς τους στους 37°C και 55°C για 7 ημέρες, καθώς και λήψη εικόνων των τελικών προϊόντων με τη βοήθεια του οργάνου Videometer Lab 4.

Όσον αφορά στη δημιουργία των μοντέλων εκμάθησης, τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν ήταν οι τιμές των ποιοτικών παραμέτρων ιξώδες κατά Bostwick, βαθμοί Brix, pH και των 19 παρατηρήσεων/ανακλάσεων από το Videometer. Τα δεδομένα υπέστησαν κανονικοποίηση autoscale/ rangescale, ενώ τα δεδομένα των ανακλάσεων μετασχηματίστηκαν και σε κανονικές τυπικές μεταβλητές με μετασχηματισμό SNV. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η γραμμική παλινδρόμηση με τη μέθοδο μερικών ελαχίστων τετραγώνων (PLS-R) και οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (SVMs). Ως ανεξάρτητες μεταβλητές (X) ορίστηκαν οι μετρήσεις ιξώδους κατά Bostwick, οι βαθμοί Brix, το pH και τα πολυφασματικά δεδομένα (n=19) και ως εξαρτημένη μεταβλητή (Y) ο χρόνος θερμικής καταστροφής (F-value). Η προσαρμογή του μοντέλου για το σύνολο των προϊόντων τομάτας ήταν ικανοποιητική, με το 72% της συνολικής διακύμανσης να μπορεί να εξηγηθεί από το μοντέλο. Ωστόσο, κρίθηκε αναγκαία η κατηγοριο-

ποίηση των προϊόντων με στόχο την επίτευξη καλύτερης συσχέτισης. Για τα προϊόντα της κατηγορίας Ketchup, το μοντέλο PLS-R έδειξε πολύ καλή επίδοση με 99% ερμηνεία της συνολικής διακύμανσης, για τα προϊόντα Passata 79-88%, για τα προϊόντα Tomato Paste 94,66% και για τα προϊόντα Crushed Tomatoes οδήγησε σε 88% εξήγηση της διακύμανσης των μεταβλητών. Οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (SVMs) οδήγησαν σε καλή επίδοση για το σύνολο των προϊόντων, αλλά δεν έδωσαν το ίδιο αποτέλεσμα για τις επιμέρους κατηγορίες προϊόντων λόγω των μειωμένων βαθμών ελευθερίας.

Συμπερασματικά, παρατηρήθηκε ότι μπορεί να υπάρξει ουσιαστική συσχέτιση των ποιοτικών παραμέτρων των τελικών προϊόντων τομάτας και των ανακλάσεων από το Videometer, με τον εντοπισμό πιθανής αστοχίας κατά τη θερμική επεξεργασία. Τα γραμμικά μοντέλα PLS-R κατάφεραν να αποδώσουν σε αρκετά ικανοποιητικό επίπεδο στην πρόβλεψη της τιμής F-value, που επιτυγχάνεται κατά τη θερμική επεξεργασία. Η βελτίωση της απόδοσης των μοντέλων δύναται να επιτευχθεί με την αύξηση των δειγμάτων.

Επιστημονική περιοχή: Μικροβιολογία Πρόρρησης, Ασφάλεια Τροφίμων

Λέξεις κλειδιά: Τοματοπολτός, Προϊόντα Τομάτας, Πολυφασματική Απεικόνιση, Μοντέλα Πρόβλεψης

Non-destructive assessment of thermal processing of tomato-based products using Multispectral Imaging

*MSc Food Science & Technology
Department of Food Science & Human Nutrition
Laboratory of Quality Control & Food Hygiene*

ABSTRACT

The upward trend in tomato cultivation reflects the increased demand for fresh and healthy foods, as well as the consumer's interest in tomato products. However, in the modern era, consumers are particularly focused on both the quality and safety of the final products. Multispectral imaging is a rapid and non-invasive method applied in the food industry to produce quality and safe products. The main objective of this thesis is to study the effectiveness of applying multispectral imaging in estimating the thermal destruction time (F-value) of lactic acid bacteria and thermophilic spore-forming microorganisms in tomato products. Specifically, an attempt was made to correlate the quality parameters of Bostwick viscosity, Brix degrees, pH, and the 19 observations/reflectances from Videometer with the F-value achieved during thermal processing.

For this purpose, qualitative and microbiological analyses of the products were conducted, stability studies at 37°C and 55°C for 7 days were performed and images of the final products were taken using the Videometer Lab 4 instrument.

For the construction of all types of machine learning models, the data used were the values of the quality parameters Bostwick viscosity, Brix degrees, pH, and the 19 spectral data (n=19), treated with autoscale/rangescale normalization, while the reflection data were transformed into normal variates using SNV transformation. The algorithms used were partial least squares regression (PLS-R) and support vector machines (SVMs). The independent variables (X) were defined as measurements of Bostwick viscosity, Brix degrees, pH, and multispectral data, while the dependent variable (Y) was the thermal destruction time (F-value). The adaptation of the model for the entire product set was satisfactory, explaining 72% of the total variance. However, categorization of the products was deemed necessary for better correlation. For Ketchup products, the PLS-R model showed excellent performance with 99% interpretation of the total variance, for Passata products 79-88%, for Tomato Paste products 94.66%, and for Crushed Tomatoes products, led to 88% explanation of the total variance. Supporting Vector Machines (SVMs) exhibited good performance for the global data, but when applied to individual product categories exhibited poor performance, due to reduced degrees of freedom.

In conclusion, a significant correlation was observed between the quality parameters of tomato products, the reflections from Videometer and potential errors that could arise during thermal processing. The linear PLS-R models managed to perform at a reasonably satisfactory level in predicting the F-value achieved during thermal processing. However, a higher number of training data could improve model performance and accuracy.

Scientific area: Predictive Microbiology, Food Safety

Keywords: Tomato Paste, Tomato Products, Multispectral Imaging, Predictive Models

Στην αγαπημένη μου θεία Αγγελική.....

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου της Εταιρίας Κονσερβών Κύκνος, σε συνεργασία με το Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου και Υγιεινής Τροφίμων του Τομέα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σκανδάμη Παναγιώτη, Καθηγητή του Τμήματος Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου, που δέχτηκε να γίνει επιβλέπων της μεταπτυχιακής μου διατριβής. Με αυτό τον τρόπο μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με το παρόν πειραματικό θέμα. Η συνεχής επιστημονική καθοδήγηση, οι πολύτιμες συμβουλές του κατά τη διεξαγωγή της μελέτης, καθώς και ο ζήλος που τον διέπει για την μεταβίβαση της γνώσης, αποτέλεσαν κινητήρια δύναμη στην προσπάθειά μου και συνέβαλαν καθοριστικά στο τελικό αποτέλεσμα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κα. Γουναδάκη Αντωνία, Μεταδιδακτορική Ερευνήτρια του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου, του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, για την πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξη που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκτέλεσης των πειραμάτων, καθώς και για τον χρόνο που αφιέρωσε.

Ακόμη, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους του συνεργάτες μου στην ΚΥΚΝΟΣ, για την συμπαράσταση και το άψογο κλίμα συνεργασίας. Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διευθυντή Παραγωγής κ. Πανόπουλο Κωνσταντίνο και τον Αναπληρωτή Υπεύθυνο Παραγωγής κ. Πανόπουλο Γεώργιο, για τη σημαντική βοήθεια στη διεξαγωγή της μελέτης μου και την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, Βασίλη και Χριστίνα, που με στήριξαν σε όλο τον κύκλο των σπουδών μου, συμβάλλοντας στην επιτυχή ολοκλήρωσή τους, άχθοντας το μονοπάτι της επιστημονικής μου ανέλιξης.

Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της.

Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή.....	11
1.1.	Τομάτα.....	11
1.2.	Ιστορική Αναδρομή.....	12
1.3.	Καλλιέργεια Τομάτας.....	13
1.4.	Θρεπτική Αξία Τομάτας.....	14
1.5.	Προϊόντα Τομάτας.....	15
1.6.	Διαδικασία Παραγωγής Τοματοπολτού.....	16
1.6.1.	Συγκομιδή τομάτας.....	16
1.6.2.	Παραλαβή τομάτας.....	17
1.6.3.	Πλύσιμο τομάτας.....	17
1.6.4.	Θραύση τομάτας.....	17
1.6.5.	Προθέρμανση.....	17
1.6.6.	Αποχύμωση.....	18
1.6.7.	Συμπύκνωση.....	19
1.7.	Θερμική Επεξεργασία.....	19
1.8.	Κρίσιμα σημεία κονσερβοποίησης.....	21
1.8.1.	Επίδραση της θερμότητας στους μικροοργανισμούς.....	21
1.9.	Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Προϊόντων Τομάτας.....	23
1.10.	Μικροβιολογία Προϊόντων Τομάτας.....	24
1.11.	Σύγχρονες Προκλήσεις.....	27
1.11.1.	Κλιματική Αλλαγή.....	27
1.11.2.	Διασταλεχιακή Παραλλακτικότητα.....	28
1.12.	Σύγχρονες Μέθοδοι Ανάλυσης.....	29
1.12.1.	Μέθοδος Πολυφασματοσκοπικής Ανάλυσης Εικόνας.....	31
2.	Σκοπός.....	35
3.	Υλικά και Μέθοδοι.....	36
3.1.	Πειραματικός Σχεδιασμός.....	36
3.1.1.	Αποτίμηση του μικροβιακού φορτίου των πρώτων (Α') υλών.....	36
3.1.2.	Καταγραφή χρόνου-θερμοκρασιακών δεδομένων.....	37
3.1.3.	Μικροβιολογική Ανάλυση.....	37
3.1.4.	Φυσικοχημικές Αναλύσεις.....	38
3.1.5.	Εφαρμογή πολυφασματικής απεικόνισης (Multispectral Imaging, MSI).....	42
4.	Στατιστική Επεξεργασία & Ανάλυση Δεδομένων.....	44

4.1. Μοντέλο για την εκτίμηση του χρόνου θερμικής καταστροφής (F value) των οξυγαλακτικών βακτηρίων και των θερμόφιλων σπορογόνων μικροοργανισμών, με τη μέθοδο μερικών ελαχίστων τετραγώνων (Partial Least Square Regression, PLS-R).....	44
4.2. Δοκιμή προσαρμογής δεδομένων με τη βοήθεια μηχανών διανυσματικής υποστήριξης (Supporting Vector Machines, SVN).	46
4.3. Αξιολόγηση Δεικτών	46
5. Αποτελέσματα & Συζήτηση	47
5.1. Σύγκριση ποιοτικών παραμέτρων (χρώματος και ιξώδους) μεταξύ HTST επεξεργασίας και παστερίωσης στο προϊόν Τομάτες Τριμμένες (Crushed Tomatoes)	47
5.2 Αποτελέσματα δεδομένων πολυφασματικής απεικόνισης	48
5.4 Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης με τη μέθοδο μερικών ελαχίστων τετραγώνων (Partial Least Square Regression, PLS-R)	52
6. Συμπεράσματα	66
7. Βιβλιογραφία.....	67
8. Σύνδεσμοι.....	76

1. Εισαγωγή

1.1. Τομάτα

Η τομάτα (*Solanum lycopersium*, L.) είναι κατά κανόνα ένα αυτογονιμοποιούμενο διπλοειδές είδος με $2n=2x=24$ χρωμοσώματα και γονιδίωμα μεγέθους 950 Mb (Fentik, 2017). Η τομάτα ανήκει στη γενική κατηγορία των αγγειόσπερμων, στην κλάση Magnoliopsida, στην τάξη *Solanales* και ειδικότερα ανήκει στην οικογένεια *Solanaceae* (Knapp & Peralta, 2016). Το γένος *Solanum* και γενικότερα η οικογένεια *Solanaceae*, περιλαμβάνει είδη με ευρύ φάσμα χρήσεων (π.χ. φαρμακευτική, καλλωπιστική κ.α.) αλλά κατά κύριο λόγο περιλαμβάνει πολλά σημαντικά για την διατροφή του ανθρώπου, όπως είναι η πατάτα και η μελιτζάνα (Samuels, 2015).

Συχνά τίθεται το ερώτημα αν η τομάτα είναι φρούτο ή λαχανικό. Η τομάτα, από βοτανικής απόψεως αποτελεί φρούτο διότι είναι αποτέλεσμα της ωρίμανσης της ωοθήκης του άνθους και περιέχει σπέρματα. Ωστόσο, οι διατροφολόγοι τη συνυπολογίζουν στην κατηγορία των λαχανικών, λόγω της χαμηλής περιεκτικότητάς της σε φρουκτόζη αλλά και της χρήσης της σε κυρίως γεύματα και όχι ως επιδόρπιο, όπως κανονικά είθισται με τα φρούτα (Bergougnoux, 2014).

Η τομάτα διαθέτει ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που την κάνουν να ξεχωρίζει και να δεσπόζει στις διεθνείς διατροφικές συνήθειες, ενώ ταυτόχρονα κατέχει σημαντική θέση και στο πλέον φημισμένο πρότυπο της μεσογειακής διατροφής (Salas-Salvador *et al.*, 2016). Η τομάτα, αν και δεν περιέχει υψηλά ποσοστά πρωτεϊνών, λιπιδίων και σακχάρων, είναι πλούσια σε αντιοξειδωτικά συστατικά και θρεπτικά στοιχεία όπως το λυκοπένιο, το β-καροτένιο (βιταμίνη Α) και το ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C), γεγονός που εξηγεί την υψηλή διατροφική της αξία (Bergougnoux, 2014). Επιπλέον, επιδημιολογικές έρευνες έχουν δείξει ότι η κατανάλωση τομάτας και προϊόντων της, μπορεί δυνητικά να μειώσει τον κίνδυνο εμφάνισης διαφόρων τύπων καρκίνου, μια ιδιότητα που φαίνεται να σχετίζεται με την περιεκτικότητα της τομάτας σε λυκοπένιο (Lippi & Targher, 2011). Ακόμα, και άλλες ενδιαφέρουσες μελέτες, συνδέουν την κατανάλωση τομάτας και προϊόντων της με τη μειωμένη συχνότητα εμφάνισης καρδιαγγειακών νοσημάτων, προστάτη και περιπτώσεων επιθηλιακού καρκίνου (Fraser *et al.*, 2020). Πιο συγκεκριμένα, το λυκοπένιο αποτελεί το πιο άφθονο καροτενοειδές στην τομάτα και βρίσκεται σε ένα εύρος 6-540 mg/kg, ανάλογα με τις καλλιεργητικές τακτικές, την ποικιλία της τομάτας αλλά και το στάδιο ωριμότητάς της (Manzo *et al.*, 2018).

Εξαιτίας λοιπόν της πληθώρας ευεργετικών δράσεων που φέρει για τον οργανισμό, των πλούσιων οργανοληπτικών χαρακτηριστικών της, της μεγάλης ποικιλίας προϊόντων της αλλά και της ευρείας διάδοσής της, η τομάτα αποτελεί έναν καρπό με ολόένα και περισσότερη ζήτηση από το καταναλωτικό κοινό. Αυτό έχει σαν επακόλουθο την ιδιαίτερη άνθιση της βιομηχανίας της τομάτας, τόσο στο κομμάτι της καλλιέργειας όσο και της επεξεργασίας. Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Συμβούλιο Επεξεργασίας της Τομάτας (WPTC), σε παγκόσμια κλίμακα, η ετήσια παραγωγή φρέσκιας τομάτας ξεπερνά τους 180 εκατομμύρια τόνους. Μάλιστα, το ένα τέταρτο αυτής της ποσότητας καλλιεργείται αποκλειστικά για τη βιομηχανία μεταποίησης, γεγονός που καθιστά τις τομάτες το πλέον κορυφαίο λαχανικό για μεταποίηση.

Η χώρα με τη μεγαλύτερη παραγωγή τομάτας είναι η Κίνα, με ετήσια παραγωγή που ανέρχεται στους 63 εκατομμύρια τόνους, ενώ στην Ευρώπη πρωτοστατεί η Ιταλία με 5,3 εκατομμύρια τόνους. Η Ελλάδα βρίσκεται στην 26^η θέση της παγκόσμιας παραγωγής με περίπου 810 χιλιάδες τόνους ετησίως (ΕΛΣΤΑΤ, 2021). Σε εθνικό επίπεδο, τη μεγαλύτερη παραγωγή σε τόνους έχει η Λάρισα με περίπου 188 χιλιάδες τόνους, την οποία ακολουθούν η Ηλεία και το Λασιθί με 120 χιλιάδες τόνους, σύμφωνα με τις αναλύσεις του 2021 του Υπ.Α.Α.Τ. Επιπροσθέτως, η τομάτα φαίνεται να κατέχει σημαντική θέση στην καθημερινή διατροφή του Έλληνα, αφού σύμφωνα με στατιστικές αναλύσεις έχει βρεθεί πως οι Έλληνες έχουν τη μεγαλύτερη κατανάλωση τομάτας σε ευρωπαϊκό επίπεδο (58,77 kg/κάτοικο/χρόνο), (FAOSTAT, 2019).

Συνοψίζοντας, από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό πως η καλλιέργεια της τομάτας έχει υψηλή οικονομική αλλά και διατροφική αξία, τόσο σε εθνικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο.

1.2. Ιστορική Αναδρομή

Η τομάτα είναι ένα φυτό που θεωρείται ενδημικό της Νότιας Αμερικής, που όμως λόγω της μεγάλης προσαρμοστικότητάς του στις διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες αλλά και της μεγάλης γενετικής του παραλλακτικότητας έχει παγκόσμια εξάπλωση. Η ιστορία της τομάτας χρονολογείται από το 700 μ.Χ., στις τροπικές περιοχές της Νότιας Αμερικής (Περού, Βολιβία, Εκουαδόρ) ή του Μεξικού, όπου ακόμα και σήμερα εξακολουθούν να απαντώνται άγρια φυτά τομάτας. Η ονομασία τομάτα προέρχεται από τη λέξη "tomatl" που χρησιμοποιούνταν στην τοπική διάλεκτο Náhuatl των Ατζέκων και η οποία έδωσε την ισπανική λέξη "tomate". Επιπλέον, στη βιβλιογραφία παρουσιάζεται και ως Pomid'oro (golden apple) ή pomme d'amour (apple of love) (Liadakis *et al.*, 2022). Η τομάτα εισήχθη για πρώτη φορά στην Ευρώπη από Ισπανούς εξερευνητές στις αρχές του 16^{ου} αιώνα και χρησιμοποιήθηκε αρχικά ως τρόφιμο από τους Ιταλούς. Στη Βόρεια Ευρώπη, η τομάτα καλλιεργούνταν αρχικά ως

καλλωπιστικό φυτό και θεωρούνταν δηλητηριώδες (Liadakis *et al.*, 2022). Στην Ελλάδα, η τομάτα εισήχθη το 1818 από έναν καπουτσίνο (Ιταλός μοναχός) και η κατανάλωσή της καθιερώθηκε μετά την ίδρυση του ελληνικού κράτους, ενώ σύντομα αποτέλεσε αναπόσπαστο κομμάτι της ελληνικής κουζίνας (Oratic *et al.*, 2018). Αρχικά, οι τομάτες δεν είχαν πολλές μετασυλλεκτικές χρήσεις. Για παράδειγμα, τα πρώτα χρόνια αξιοποίησης της τομάτας στην Ιταλία, η τομάτα χρησιμοποιούνταν αποκλειστικά για την παραγωγή σούπας ή πάστας (Gentilcore, 2010). Πλέον, οι χρήσεις του καρπού της τομάτας είναι πολυάριθμες, η καλλιέργειά της έχει εξαπλωθεί σε διεθνές επίπεδο και η παγκόσμια παραγωγή της αυξάνεται σταδιακά με το χρόνο (FAOSTAT, 2022).

1.3. Καλλιέργεια Τομάτας

Η τομάτα καλλιεργείται σε διάφορα μέρη του κόσμου, με διαφορετικές εδαφοκλιματικές συνθήκες, λόγω της γενετικής ποικιλοτήτάς της αλλά και της μεγάλης προσαρμοστικότητας που διαθέτει ως φυτό. Ωστόσο, η ανάπτυξή της εξαρτάται από πληθώρα βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων. Όσον αφορά στους αβιοτικούς παράγοντες, για την καλλιέργεια βιομηχανικής τομάτας, ιδιαίτερα σημαντικοί είναι η θερμοκρασία, η σύσταση του εδάφους, το νερό αλλά και η διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών (Σάββας, 2016).

Η θερμοκρασία έχει σημαντικό ρόλο σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του φυτού της τομάτας. Αναλυτικά, στο πρώτο στάδιο, το στάδιο του φυτρώματος, η άριστη θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 18-24°C, ενώ στο μετέπειτα στάδιο της βλάστησης αλλά και της γενικότερης αύξησης του φυτού οι επιθυμητές θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ 24-30°C κατά τη διάρκεια της ημέρας (Scarano, 2020) και 15-20°C κατά τη διάρκεια της νύχτας (Hazra *et al.*, 2007).

Όσον αφορά στο έδαφος, το φυτό της τομάτας προτιμά εδάφη ελαφρά, βαθιά, μέσης σύστασης και με καλή αποστράγγιση. Επιπλέον, εδάφη με ελαφρώς όξινο ή ουδέτερο pH φαίνεται να έχουν καλύτερες αποδόσεις (Αγγίδης, 2006).

Η καλλιέργεια της τομάτας υπάγεται στις καλλιέργειες με υψηλές απαιτήσεις σε νερό. Μάλιστα, μια υπαίθρια καλλιέργεια τομάτας μπορεί να καταναλώσει μέχρι και 700 mm νερού (Σάββας, 2017).

Τέλος, εξίσου σημαντικός παράγοντας για την καλλιέργεια της τομάτας, είναι και η διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών. Συχνά τα φυτά της τομάτας παρουσιάζουν έλλειψη αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K) και σε αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει να χορηγούνται συμπληρώματα οργανικής ή ανόργανης προέλευσης (Sainju, 2003). Οι καλλιεργητικές τεχνικές και η φροντίδα που παρέχεται στο φυτό, αποτελούν ακρογωνιαία λίθο

για την επεξεργασία των καρπών και την παραγωγή υψηλής ποιότητας τελικών προϊόντων (Li *et al.*, 2023).

1.4. Θρεπτική Αξία Τομάτας

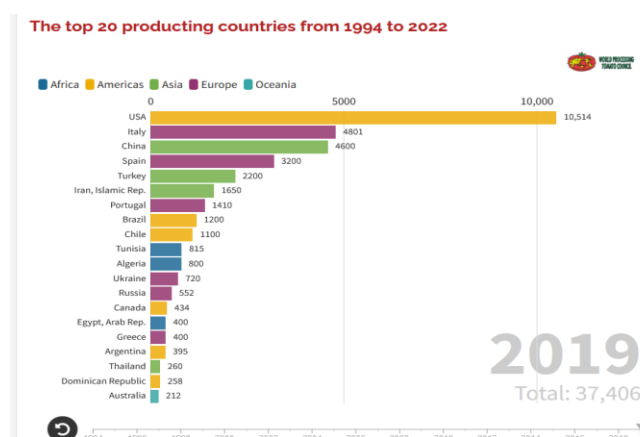
Η τομάτα αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της διατροφής του ανθρώπου παγκοσμίως και σημαντικό στοιχείο της μεσογειακής διατροφής, που φημίζεται για τα πολλαπλά οφέλη της για την υγεία του ανθρώπου (Suarez, 2008). Η περιεκτικότητα της τομάτας σε θρεπτικά συστατικά ποικίλει, ανάλογα με την ποικιλία, τις συνθήκες ανάπτυξης, το καλλιεργητικό σύστημα, την περίοδο συγκομιδής και την αποθήκευση του τρόφιμου (Bona, 2017). Η περιεκτικότητά της σε αυτά τα συστατικά, σε συνδυασμό με την μεγάλη κατανάλωσή της, την καθιστούν σημαντική πηγή αντιοξειδωτικών και βιταμινών για τον άνθρωπο. Μάλιστα, σύμφωνα με μετρήσεις, το 9,5% και το 11,5% της συνολικής βιταμίνης A και C αντίστοιχα που λαμβάνει κάθε άνθρωπος στη διατροφή του, προέρχεται από την κατανάλωση τομάτας (USDA, 2002). Τα συστατικά τα οποία συμβάλουν στην υψηλή θρεπτική αξία της τομάτας είναι η βιταμίνη C, τα διάφορα καροτενοειδή (βιταμίνη A) και τα φαινολικά (Kelebek *et al.*, 2017). Τα κύρια καροτενοειδή που υπάρχουν στον καρπό της τομάτας είναι το λυκοπένιο, το β-καροτένιο και η λουτεΐνη, ενώ όσον αφορά στις φαινολικές ενώσεις, αποτελούνται κυρίως από φλαβονόνες και φλαβονόλες (Kelebek *et al.*, 2017). Το λυκοπένιο είναι μια φυσική κόκκινη χρωστική, που συντίθεται από φυτά και μικροοργανισμούς, αλλά όχι από ζωικούς οργανισμούς (Kelebek *et al.*, 2017). Η φυσική μορφή του λυκοπενίου είναι η *trans*, μια θερμοδυναμικά σταθερή μορφή με ιδιαίτερη αντοχή έναντι στον ισομερισμό και την αποδόμηση (Arballo *et al.*, 2021). Ωστόσο, μελέτες έχουν δείξει ότι η *cis* μορφή είναι αυτή που απορροφάται καλύτερα από τον ανθρώπινο οργανισμό (Kasampalis *et al.*, 2020). Η αλλαγή στην ισομέρεια του μορίου από την *trans* στη *cis* δομή μπορεί να προκληθεί από το φως, τη θερμική ενέργεια αλλά και από διάφορες χημικές αντιδράσεις. Γι' αυτό ακριβώς το λόγο, έχει φανεί ότι οι τομάτες που έχουν υποστεί θερμική επεξεργασία αλλά και τα προϊόντα τους, εμφανίζουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις *cis*-λυκοπενίου σε σχέση με τις ωπές τομάτες (Markovic *et al.*, 2006).

Πίνακας 1.1: Διατροφική αξία τοματοπολτού ανά 100g (Πηγή: <https://fdc.nal.usda.gov>)

Nutrients	Amount
Water	73.5 g
Energy	82 kcal
Protein	4.32 g
Total lipid (fat)	0.47 g
Carbohydrate, by difference	18.9 g
Fiber, total dietary	4.1 g

1.5. Προϊόντα Τομάτας

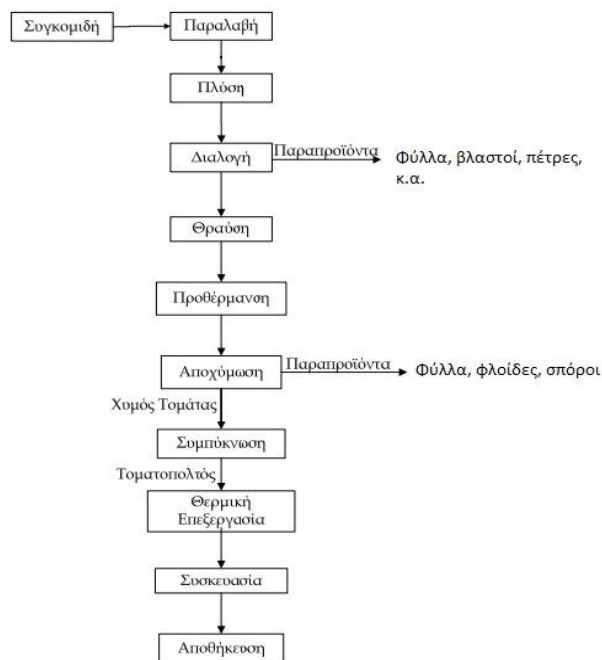
Ακριβώς επειδή οι τομάτες αντέχουν τη θερμική επεξεργασία και γενικά το μαγείρεμα, διατηρώντας τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά, τα προϊόντα τους είναι ιδιαίτερα δημοφιλή παγκοσμίως (Wu *et al.*, 2022). Μάλιστα, σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη, το 2017 στην Αμερική, η κατά άτομο κατανάλωση τομάτας έφτασε τα 33,2 κιλά για τα επεξεργασμένα προϊόντα τομάτας και μόλις τα 9,2 κιλά για τη νωπή τομάτα. Από τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό, πως τα προϊόντα τομάτας έχουν κύρια θέση στο πιάτο του καταναλωτή. Οι τομάτες κονσερβοποιούνται ολόκληρες ή κομμένες και αποτελούν βασικά συστατικά για την παραγωγή κέτσαπ, χυμού τομάτας, σάλτσα πίτσας, σάλτσα για ζυμαρικά κ.α. (Featherstone, 2015). Όσον αφορά στα διάφορα προϊόντα τομάτας δίνονται τα παρακάτω παραδείγματα : 1) τοματοπολτός διαφόρων συμπυκνώσεων όπως είναι ο ελαφρά συμπυκνωμένος 6-7 °Brix, ο ημισυμπυκνωμένος 16 °Brix, απλής συμπύκνωσης 22 °Brix, διπλής συμπύκνωσης 28 °Brix, τριπλής συμπύκνωσης 36 °Brix και υψηλής συμπύκνωσης (πελτές τύπου Θήρας) 40 °Brix, 2) τοματοχυμός 4-6 °Brix, 3) αποφλοιωμένη τομάτα ολόκληρη ή τεμαχισμένη, 4) νιφάδες αφυδατωμένης τομάτας, 5) σκόνη τομάτας, 6) κέτσαπ, 7) σάλτσες τομάτας, 8) πουρές τομάτας κ.α. (Γερασόπουλος, 2020). Σύμφωνα με τον Κώδικα Τροφίμων και Ποτών για τα τοματοειδή, για την παρασκευή του τοματοπολτού θα πρέπει να έχουν χρησιμοποιηθεί νωποί καρποί τομάτας, οι οποίοι πρέπει να είναι απολύτως υγιείς, ώριμοι, με κανονικούς μακροσκοπικούς και οργανοληπτικούς χαρακτήρες και να πληρούν όλους τους όρους του άρθρου 119 του Κ.Τ.Π.



Εικόνα 1.1: Κατάταξη χωρών σύμφωνα με την παραγωγή βιομηχανικής τομάτας (Πηγή: <https://www.tomatonews.com>)

1.6. Διαδικασία Παραγωγής Τοματοπολτού

Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 1.2), η παραγωγή τοματοπολτού είναι μια πολυβάθμια διαδικασία κατά την οποία λαμβάνουν χώρα διαφορετικές διεργασίες όπως αναλύεται παρακάτω.



Εικόνα 1.2: Διάγραμμα ροής παραγωγής τοματοπολτού

1.6.1. Συγκομιδή τομάτας

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες ποικιλίες τομάτας που επιτρέπουν τη μηχανική συγκομιδή ολόκληρων των αγροτεμαχίων ταυτόχρονα. Ανάλογα με την ποικιλία αλλά και τις εδαφοκλιματικές συνθήκες, περίπου το 80-90% των τοματών που υπάρχουν στον αγρό, ωριμάζουν ταυτόχρονα. Μόνο ένα μικρό ποσοστό της σοδειάς συλλέγεται ενώ είναι ακόμη πολύ πράσινο για κονσερβοποίηση, ενώ ένα ακόμη μικρό ποσοστό χάνεται στον αγρό και οργώνεται επειδή είναι υπερώριμο (Featherstone, 2015). Η συγκομιδή της τομάτας αποτελεί ένα βασικό και κρίσιμο στάδιο για την παραγωγή ενός ποιοτικού και οργανοληπτικά αποδεκτού τελικού προϊόντος. Η τομάτα είναι ένας κλιμακτηριακός καρπός, έχει δηλαδή τη δυνατότητα να ωριμάζει ακόμα και μετά τη συγκομιδή και γι' αυτό ακριβώς το λόγο, η συγκομιδή της πραγματοποιείται κυρίως κατά το στάδιο της φυσιολογικής ωρίμανσης (Taiz *et al.*, 2017).

1.6.2. Παραλαβή τομάτας

Κατά την είσοδο του φορτίου στο εργοστάσιο, το πιο σημαντικό στάδιο είναι η δειγματοληψία. Αυτό συμβαίνει με σκοπό τον προσδιορισμό του χρώματος, τον έλεγχο των καρπών αλλά και τον προσδιορισμό τυχόν ελαττωματικών σημείων τους (Featherstone, 2015).

1.6.3. Πλύσιμο τομάτας

Οι τομάτες απορρίπτονται από τις καρότσες μεταφοράς τους σε ένα υδατικό κανάλι που τις μεταφέρει σε μια ταινία διαλογής, όπου απομακρύνονται καρποί με κριτήριο το χρώμα τους (χρωματοδιαλογέας). Αμέσως μετά, οι τομάτες μέσω αυτής της ταινίας, εισέρχονται στα πλυντήρια όπου γίνεται μια δεύτερη διαλογή. Σε αυτό το σημείο, απομακρύνονται χειρωνακτικά κυρίως ξένα σώματα. Επιπλέον, ιδιαίτερα σημαντικό είναι και το νερό που χρησιμοποιείται για το πλύσιμο της τομάτας. Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία, το νερό που χρησιμοποιείται για τη μεταποίηση των καρπών τομάτας πρέπει να πληροί τις προδιαγραφές του πόσιμου νερού (Οδηγία 93/83/ΕΚ).

1.6.4. Θραύση τομάτας

Οι κατάλληλες τομάτες οδηγούνται στο σπαστήρα (σφυρόμυλος), απ' όπου παράγεται ένας πολτός. Το σπάσιμο της τομάτας αποσκοπεί στη διευκόλυνση της μεταφοράς της με αντλία στο σωληνωτό προθερμαντήρα, ώστε να προετοιμαστεί για εκχύμωση και να απομακρυνθούν τα τεμάχια της επιδερμίδας και οι σπόροι (Γερασόπουλος, 2020).

1.6.5. Προθέρμανση

Μετά τη θραύση των καρπών τομάτας, ακολουθεί η προθέρμανση, που αποτελεί και το κλειδί για τη μετέπειτα θερμική επεξεργασία και την παραγωγή προϊόντων με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά κάθε φορά (Γερασόπουλος, 2020). Οι δύο βασικές τεχνικές προθέρμανσης που εφαρμόζονται στη βιομηχανία μεταποίησης τομάτας είναι η ψυχρή διάσπαση (cold break) και η θερμή διάσπαση (hot break). Η προθέρμανση γίνεται σε θερμοκρασίες μεταξύ 65°-90°C, ανάλογα με το επιθυμητό ιξώδες του τελικού προϊόντος. Στο στάδιο αυτό, επιδιώκεται η μερική ή ολική αδρανοποίηση των πηκτινολυτικών ενζύμων (πηκτινοεστεράση & πολυγαλακτορουνάση), η απελευθέρωση των κολλοειδών ουσιών, η μεταφορά των χρωστικών από το φλοιό στο χυμό της τομάτας κ.α. (Γερασόπουλος, 2020). Η προθέρμανση της σπασμένης τομάτας με την τεχνική της ψυχρής διάσπασης (cold break), λαμβάνει χώρα στους

65°-75°-85°C και της θερμής διάσπασης (hot break), όταν η θερμοκρασία κυμαίνεται στους 86° με 90°C (Hsu, 2008). Κατά την ψυχρή διάσπαση, πραγματοποιείται μερική αδρανοποίηση των πηκτινολυτικών ενζύμων, με αποτέλεσμα το τελικό προϊόν να έχει πιο υδαρή μορφή (τιμές Bostwick: 9-16 cm) (Hsu, 2008). Μάλιστα, χαρακτηριστικό των προϊόντων που έχουν παραχθεί με αυτό τον τρόπο είναι η εμφάνιση ορού στην επιφάνειά τους, μετά από εναποθήκευσή τους για 1-2 μήνες (Kelebel *et al.*, 2017). Επιπλέον, κατά την ψυχρή διάσπαση, συγκρατείται στο προϊόν μεγαλύτερη ποσότητα βιταμίνης C, ακριβώς επειδή δεν εκτίθεται σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες όπως στην περίπτωση της θερμής διάσπασης. Αυτός ο τρόπος διάσπασης ενδείκνυται για παραγωγή διπλής και υψηλής συμπύκνωσης τοματοπολτού (Goodman *et al.*, 2002).

Κατά τη θερμή διάσπαση, επιτυγχάνεται πλήρης αδρανοποίηση των πηκτινολυτικών ενζύμων και έτσι ο τοματοπολτός έχει συνεκτική υφή με καλύτερο ιξώδες (τιμές Bostwick: 3,5-6 cm) (Al-Kafrawy *et al.*, 2022). Με αυτό τον τρόπο δεν διαχωρίζονται οι δύο φάσεις και δεν δημιουργείται ορός στην επιφάνεια του τελικού προϊόντος. Χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή κέτσαπ και σαλτσών (Γερασόπουλος, 2020). Ωστόσο, κατά τη θερμή διάσπαση παρατηρείται υποβάθμιση του χρώματος, κυρίως λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται (Goodman *et al.*, 2002).

1.6.6. Αποχύμωση

Μετά τις διαδικασίες της θραύσης και της προθέρμανσης, η μάζα του προϊόντος που έχει παραχθεί οδηγείται στους αποχυμωτές, με στόχο τον πλήρη διαχωρισμό της σάρκας από τους φλοιούς και τους σπόρους. Οι αποχυμωτές αποτελούνται από κόσκινα διαφορετικού μεγέθους, οπών και ταχύτητα περιστροφής, ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα κάθε φορά. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος της οπής αλλά και η ταχύτητα περιστροφής των κοσκίων, τόσο πιο υδαρές είναι το τελικό προϊόν που παραλαμβάνεται (Goodman *et al.*, 2002).

Τα υπολείμματα που προκύπτουν από τις παραπάνω διαδικασίες, συγκρατούνται από τα κόσκινα και αποτελούν περίπου το 3% της εισερχόμενης ποσότητας τομάτας (Hayes *et al.*, 1998). Ωστόσο, τα υπολείμματα αυτά δεν μένουν αναξιοποίητα και η επεξεργασία τους συνεχίζεται με τη βοήθεια ειδικών πιεστηρίων ώστε να αποδώσουν σε ορό τομάτας. Ο ορός αυτός που παραλαμβάνεται, είναι ένα αρκετά αραιό διάλυμα με περίπου 4-5 ° Brix και το οποίο στη συνέχεια μεταφέρεται μέσω αντλιών στο τμήμα της συμπύκνωσης (Diaz *et al.*, 2009).

1.6.7. Συμπύκνωση

Μετά τη διαδικασία της αποχύμωσης, ακολουθεί η συμπύκνωση και ο χυμός που παράγεται οδηγείται μέσω αντλιών σε ειδικούς εξατμιστήρες, ώστε να παραχθεί τοματοπολτός με την επιθυμητή περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά. Οι εξατμιστήρες που χρησιμοποιούνται είναι αναγκαστικής κυκλοφορίας και η διαδικασία της εξάτμισης λαμβάνει χώρα υπό κενό. Η λειτουργία ελαττωμένης πίεσης έχει ως στόχο την ταπείνωση του σημείου ζέσεως του νερού, με αποτέλεσμα η εξάτμιση να μπορεί να επέλθει σε χαμηλότερες θερμοκρασίες απ' ότι φυσιολογικά (<100°C). Με αυτό τον τρόπο, προστατεύεται ποιοτικά και οργανοληπτικά το παραγόμενο προϊόν, διατηρώντας σε μεγαλύτερο ποσοστό το χρώμα, τη γεύση και άλλα χαρακτηριστικά του (Li *et al.*, 2023).

1.7. Θερμική Επεξεργασία

A) Παστερίωση

Αμέσως μετά τη συμπύκνωση ακολουθεί η θερμική επεξεργασία του προϊόντος, η οποία στην περίπτωση των προϊόντων τομάτας διακρίνεται σε παστερίωση και εμπορική αποστείρωση. Ως παστερίωση χαρακτηρίζεται η θερμική επεξεργασία που εφαρμόζεται στα τρόφιμα, σε θερμοκρασίες κατά κανόνα μικρότερες από 100°C, με σκοπό να καταστρέψει τα ενδογενή ένζυμα, τις βλαστικές μορφές των βακτηρίων, τις ζύμες και τους μύκητες που θα μπορούσαν να αλλοιώσουν το προϊόν κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες διατήρησής του (Μπλούκας, 2004). Ως ήπια θερμική επεξεργασία, η παστερίωση προκαλεί μικρές μεταβολές στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τοματοπολτού και τη θρεπτική του αξία (Μπλούκας, 2004). Για την παστερίωση του τοματοπολτού χρησιμοποιείται παστεριωτής αποξεομένης επιφάνειας. Αυτός ο εναλλάκτης θερμότητας αποτελείται από δύο ομόκεντρους σωλήνες μεταξύ των οποίων κυκλοφορεί το μέσο θέρμανσης ή ψύξης και από έναν περιστρεφόμενο άξονα στον εσωτερικό σωλήνα ο οποίος φέρει προεξοχές. Το προϊόν κινείται στον κενό χώρο μεταξύ του εσωτερικού σωλήνα και του περιστρεφόμενου άξονα (Μπλούκας, 2004). Μετά την έξοδο του προϊόντος από τον παστεριωτή, ακολουθεί η συσκευασία του σε καθαρούς περιέκτες με τη μέθοδο θερμής πλήρωσης (hot filling) σε θερμοκρασίες περίπου 90 °C. Τέλος, αφού πραγματοποιηθεί ερμητικό κλείσιμο των περιεκτών, ακολουθεί ψύξη του προϊόντος σε ειδικά

cooler, με σκοπό να μειωθεί η θερμοκρασία του τελικού προϊόντος και να αποφευχθεί η ανάπτυξη θερμόφιλων μικροοργανισμών (Μπλούκας, 2004).



Εικόνα 1.3: Συμπυκνωτής αντίστροφης ροής τοματοχυμού (Πηγή: <https://kyknoscanning.com>)

B) Εμπορική Αποστείρωση

Ως εμπορική αποστείρωση, ορίζεται η θερμική επεξεργασία με την οποία καταστρέφονται τα σπόρια εκείνων των βακτηρίων τα οποία θα μπορούσαν να πολλαπλασιαστούν κατά τη συντήρηση των τροφίμων και υπό συγκεκριμένες συνθήκες να προκαλέσουν αλλοίωση στο προϊόν ή να θέσουν σε κίνδυνο την υγεία του καταναλωτή (Μπλούκας, 2004). Η εμπορική αποστείρωση είναι μια αυστηρή θερμική επεξεργασία, που καταστρέφει και τις βλαστικές μορφές των βακτηρίων. Ωστόσο, επειδή πραγματοποιείται σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες (>100°C) απ' ό,τι η παστερίωση, προκαλεί εντονότερη οργανοληπτική υποβάθμιση στο θερμικώς επεξεργασμένο τρόφιμο (Μπλούκας, 2004). Αυτού του είδους η επεξεργασία, έχει αποδειχτεί ιδιαίτερα επιτυχής σε λεπτόρευστα τρόφιμα. Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι επιτρέπει τη χρήση περιεκτών που είναι ακατάλληλοι για θερμό γέμισμα και αποστείρωση εντός του περιέκτη (Ramaswamy & Chen, 2003). Η εμπορική αποστείρωση επιτυγχάνεται με τη χρήση σωληνωτών εναλλακτών θερμότητας, που χρησιμοποιούν ως θερμαντικό μέσο τον υπέρθερμο ατμό (Μπλούκας, 2004). Οι σωληνωτοί αυτοί εναλλάκτες είναι tube in tube in tube, δηλαδή αποτελούνται από τρεις ομόκεντρους σωλήνες όπου στο ενδιάμεσο τμήμα κυκλοφορεί ο τοματοχυμός. Κατά το πρώτο στάδιο ο τοματοχυμός θερμαίνεται, στο δεύτερο στάδιο υπάρχει μια αναμονή στην επιθυμητή θερμοκρασία για

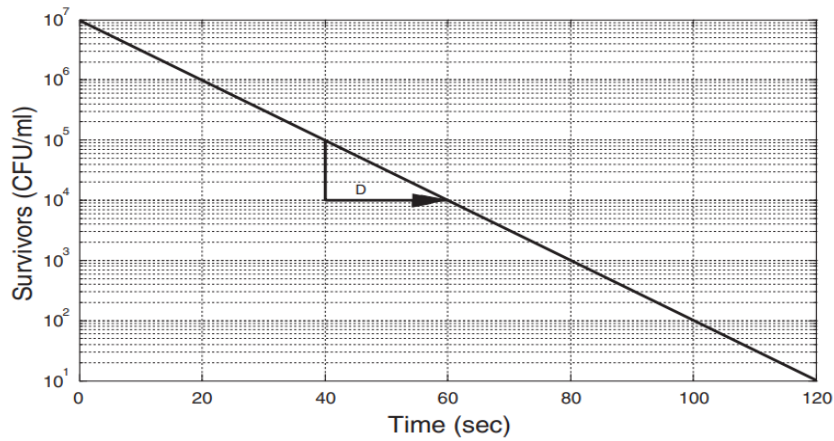
ορισμένο χρόνο και στο τελευταίο στάδιο το προϊόν ψύχεται και είναι έτοιμο για πλήρωση στους περιέκτες υπό ασηπτικές συνθήκες (Basaran *et al.*, 2018).

1.8. Κρίσιμα σημεία κονσερβοποίησης

Η επίδραση της θερμικής επεξεργασίας στα προϊόντα τομάτας έχει μελετηθεί ευρέως, ωστόσο ακόμα η βιομηχανία αναζητά τον κατάλληλο συνδυασμό θερμοκρασίας και χρόνου ώστε να μπορέσει να συνδυαστεί η ασφάλεια του προϊόντος με τη μείωση του κόστους παραγωγής αλλά και της ενέργειας. Η πιο συχνά απαντώμενη θερμοκρασία παστερίωσης σε προϊόντα τομάτας, με pH μεταξύ 3,7-4,2, κυμαίνεται από 85-100°C, με τη θερμοκρασία στο πιο ψυχρό σημείο του προϊόντος να φτάνει τους 75-80°C (Kirse-Ozolina *et al.*, 2019). Με στόχο την επίτευξη των παραπάνω, επιλέγεται ένας ανθεκτικός στη θερμότητα μικροοργανισμός και προσδιορίζεται η κινητική της αδρανοποίησης στο υπό επεξεργασία προϊόν (Kirse-Ozolina *et al.*, 2019). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, για τη μικροβιολογική σταθερότητα των προϊόντων τομάτας, ως μικροοργανισμός αναφοράς χρησιμοποιείται το βακτήριο *Bacillus coagulans* (Μπλούκας, 2004).

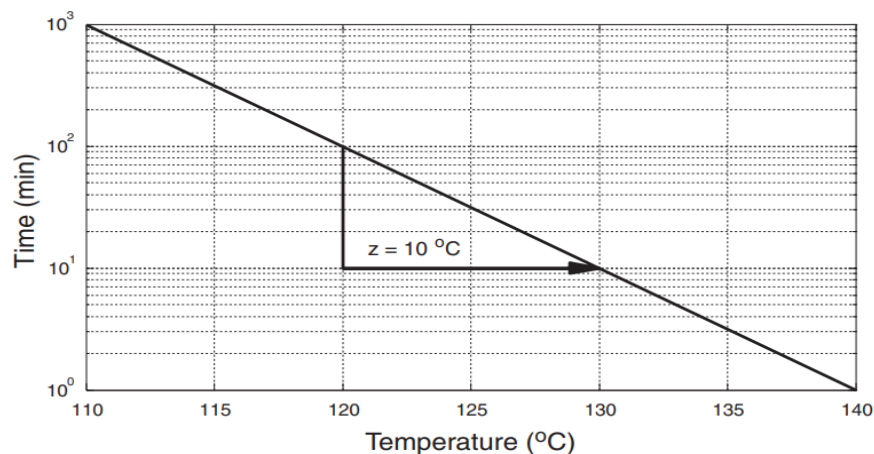
1.8.1 Επίδραση της θερμότητας στους μικροοργανισμούς

Οι μικροοργανισμοί που προκαλούν αλλοιώσεις στα τρόφιμα, δηλαδή τα βακτήρια, οι μύκητες και οι ζύμες, αναπτύσσονται σε ένα ορισμένο εύρος θερμοκρασιών, το οποίο είναι χαρακτηριστικό για τον καθένα. Έκθεση των μικροοργανισμών σε θερμοκρασίες υψηλότερες από το ανώτερο όριο ανάπτυξής τους, επιφέρει και την καταστροφή τους (Μπλούκας, 2004). Για τον προσδιορισμό αυτής της καταστροφής και της επίδρασης που έχει η θερμότητα στους μικροοργανισμούς έχουν θεσπιστεί κάποιες τιμές. Η τιμή D-value ή χρόνος υποδεκαπλασιασμού, που αποτελεί κριτήριο αξιολόγησης της θερμοανθεκτικότητας των βλαστικών μορφών και των σπορίων των μικροοργανισμών και που παριστά το χρόνο σε λεπτά που πρέπει να θερμανθεί το τρόφιμο, σε σταθερή θερμοκρασία, ώστε να μειωθεί ο αριθμός των παραπάνω κατά 90% (Ramaswamy & Chen, 2003). Όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 3), από την κλίση της καμπύλης επιζώντων μικροοργανισμών, δηλαδή του αριθμού των βλαστικών μορφών ή των σπορίων των μικροοργανισμών που επέζησαν κατά τη θερμική επεξεργασία (Μπλούκας, 2004), προκύπτει η τιμή D-value. Στις περισσότερες περιπτώσεις, κατά τη θερμική επεξεργασία των προϊόντων, για την παστερίωση ο στόχος είναι 6D και για την εμπορική αποστείρωση 12D (Skandamis & Panagou, 2016).



Εικόνα 1.4: D-value στην καμπύλη επιζώντων μικροοργανισμών σε σταθερή, θανατηφόρα θερμοκρασία (Mishra *et al.*, 2011)

Χαρακτηριστικό κριτήριο της θερμοανθεκτικότητας των βλαστικών μορφών και των σπορίων των μικροοργανισμών αποτελεί η σταθερά θερμικής αντίστασης ή τιμή Z-value (Mishra *et al.*, 2011). Η τιμή D-value εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία που εφαρμόζεται, καθώς υψηλότερες θερμοκρασίες έχουν ως αποτέλεσμα μικρότερες τιμές D-value (Ramaswamy & Chen, 2003). Η τιμή αυτή παριστά τη μεταβολή της θερμοκρασίας σε °C η οποία μπορεί να επιφέρει δεκαπλάσια ή υποδεκαπλάσια μεταβολή της τιμής D-value (Μπλούκας, 2004). Όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 4), η τιμή Z προκύπτει από την κλίση της ευθείας γραμμής στην καμπύλη θερμικής αντίστασης.



Εικόνα 1.5: Καμπύλη θερμικής αντίστασης και τιμή Z-value (Mishra *et al.*, 2011)

Μια άλλη παράμετρος που σχετίζεται με τη θερμική επεξεργασία και τη θνησιμότητα των μικροοργανισμών (lethality) είναι η τιμή F-value. Η τιμή αυτή αντιπροσωπεύει το χρόνο θέρμανσης σε σταθερή θερμοκρασία αναφοράς (Tref) που απαιτείται, για να επιφέρει μια καθορισμένη μείωση στο μικροοργανισμό αναφοράς (Ramaswamy & Chen, 2003). Στόχος είναι να διασφαλισθεί η υγεία του καταναλωτή αλλά και η ικανότητα του προϊόντος να διατηρηθεί χωρίς μικροβιολογική αλλοίωση για ορισμένο χρονικό διάστημα, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες (Μπλούκας, 2004).

1.9. Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Προϊόντων Τομάτας

Το μεγαλύτερο μέρος των επεξεργασμένων καρπών τομάτας καταλήγει να γίνεται συμπυκνωμένος τοματοπολτός. Αυτό συμβαίνει ακριβώς επειδή ο τοματοπολτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ενδιάμεσο προϊόν, μαζί με προσθήκη νερού και άλλων συστατικών για την παραγωγή άλλων τελικών προϊόντων όπως διάφορες σάλτσες και κέτσαπ (Zhang *et al.*, 2014). Δεδομένου ότι ο τοματοπολτός είναι το βασικό συστατικό για την παραγωγή των διάφορων τελικών προϊόντων, η διατήρηση της ποιότητάς του είναι ζωτικής σημασίας για τις βιομηχανίες επεξεργασίας τομάτας (Γερασόπουλος, 2020). Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τοματοπολτού εξαρτώνται άμεσα από τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης (ποικιλία, στάδιο ωριμότητας κ.α.), τις συνθήκες επεξεργασίας (θερμοκρασία επεξεργασίας κ.α.) αλλά και το χρόνο και τις συνθήκες αποθήκευσης. Αυτοί οι παράγοντες δημιουργούν μεγάλες διακυμάνσεις στην επίτευξη σταθερής ποιότητας τοματοπολτού κατά την παραγωγή. Γι' αυτό ακριβώς το λόγο έχουν καθιερωθεί κάποιες αναλύσεις που συμβάλουν στον έλεγχο των ποιοτικών παραμέτρων και περιλαμβάνουν τον έλεγχο του χρώματος, των ολικών διαλυτών στερεών (°brix), pH, οξύτητα και συνεκτικότητα του τελικού προϊόντος (Shatta *et al.*, 2017). Ακριβώς επειδή ο βασικός διαχωρισμός των προϊόντων τομάτας σε τοματοπολτό, χυμό τομάτας, πουρέ κ.α., γίνεται με βάση την περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά, αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να θεωρηθεί ως το κλειδί της κατηγοριοποίησης των προϊόντων τομάτας αλλά και ως ένα βασικό ποιοτικό γνώρισμά τους (Zhang *et al.*, 2014). Κατά τη συμπύκνωση, η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των διαλυτών στερεών συμβάλλει στο να καθοριστεί το τελικό σημείο της επεξεργασίας (Zhang *et al.*, 2014). Επιπλέον, τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων, όπως για παράδειγμα η γεύση, συνδέονται στενά με τα ολικά διαλυτά στερεά και την οξύτητα (Zhang *et al.*, 2014). Μια άλλη σημαντική ποιοτική παράμετρο, αποτελούν και τα ρεολογικά χαρακτηριστικά των προϊόντων τομάτας, που συχνά αναφέρονται ως συνεκτικότητα ή συνοχή. Η εκτίμηση των ρεολογικών αυτών χαρακτηριστικών πραγματοποιείται με τη

μέθοδο κατά Bostwick, με την οποία υπολογίζεται η εξάπλωση του τοματοπολλτού / τοματοχυμού σε ειδικό όργανο σε 10 ή 30 sec ανάλογα με το προϊόν (Anthon *et al.*, 2008).

Ένας ακόμα σημαντικός ποιοτικός παράγοντας είναι και το χρώμα του τελικού προϊόντος. Το χρώμα αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές ποιοτικές παραμέτρους καθώς επηρεάζει άμεσα την αποδοχή του καταναλωτή (Shatta *et al.*, 2017). Το να διατηρηθεί το χρώμα στα επεξεργασμένα και διατηρημένα τρόφιμα είναι ιδιαίτερα σημαντικό και αποτελεί πρόκληση για τη βιομηχανία τροφίμων. Στην περίπτωση των προϊόντων τομάτας, μια σημαντική αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι η υποβάθμιση της κόκκινης χρωστικής του λυκοπενίου, όπου από την trans μορφή στη συνέχεια ισομερίζεται σε cis δομή κατά τη διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας με αποτέλεσμα την υποβάθμιση του τελικού χρώματος (Shatta *et al.*, 2017). Ο προσδιορισμός του χρώματος γίνεται με χρήση ειδικού φασματοφωτομέτρου, όπου προσδιορίζονται οι παράμετροι : L (lightness- φωτεινότητα), a (redness) ένδειξη για το κόκκινο χρώμα και b (yellowness) ένδειξη για το κίτρινο χρώμα. Τελικά, ο λόγος a/b είναι αυτή η παράμετρος που υποδηλώνει το πόσο κόκκινο είναι το τελικό προϊόν (Barrett *et al.*, 1998).

1.10. Μικροβιολογία Προϊόντων Τομάτας

Η μικροχλωρίδα των προϊόντων τομάτας περιλαμβάνει το πολύπλοκο οικοσύστημα των μικροοργανισμών που κατοικούν, αλληλοεπιδρούν αλλά και αναπτύσσονται σε αυτά τα τρόφιμα (Kotzekidou, 1997). Τα προϊόντα τομάτας, εξαιτίας της πληθώρας θρεπτικών συστατικών που διαθέτουν, του επιπέδου υγρασίας αλλά και των τιμών pH, αποτελούν γόνιμο έδαφος για την ανάπτυξη ποικίλων μικροοργανισμών, όπως είναι τα βακτήρια, οι μύκητες και οι ζύμες (Obeng *et al.*, 2018).

Τόσο οι φρέσκιες όσο και οι επεξεργασμένες τομάτες, έχουν εμπλακεί σε αρκετές υποθέσεις τροφικών δηλητηριάσεων παγκοσμίως (Abadias *et al.*, 2021). Μάλιστα, από το 1998 μέχρι το 2017, στις ΗΠΑ, καταγράφηκαν 170 περιπτώσεις εξάρσεων που συνδέονταν με τομάτες και τα προϊόντα τους, προκαλώντας ασθένεια σε 8379 άτομα, νοσηλεία σε 853 άτομα και θάνατο σε 9, μετά από κατανάλωση νωπής ή επεξεργασμένης τομάτας (CDC, 2019).

Στα όξινα κονσερβοποιημένα τρόφιμα, δηλαδή αυτά που έχουν τιμές pH μεταξύ 4,0-4,5, αλλοιώσεις προκαλούν κυρίως τα μεσόφιλα σπορογόνα βακτήρια (Μπλούκας, 2004). Όσον αφορά στους βακτηριακούς πληθυσμούς, τα γαλακτικά βακτήρια αλλά και τα σπορογόνα βακτήρια είναι οι κύριοι μικροοργανισμοί που συμβάλλουν στην αλλοίωση των κονσερβοποιημένων προϊόντων τομάτας (Mallidis *et al.*, 1990). Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα βακτήρια των γενών *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Bacillus* και

Pediococcus (Obeng *et al.*, 2018). Σύμφωνα με τους Efiunwewere & Atirike (1998), φαίνεται ότι οι αναερόβιοι μικροβιακοί πληθυσμοί απαντώνται συχνότερα στα προϊόντα τομάτας απ' ότι οι αερόβιοι. Μάλιστα, σε μελέτη διογκωμένων κυτίων τοματοπολτού, που διενήργησαν οι παραπάνω, βρέθηκε ότι στα μη διογκωμένα κυτία η κυρίαρχη μικροχλωρίδα αποτελούνταν από βακτήρια του γένους *Lactobacillus*, ενώ στα διογκωμένα κυτία από βακτήρια του γένους *Bacillus* και *Clostridium*. Επιπλέον, σπορογόνα βακτήρια που μπορούν να εντοπιστούν σε προϊόντα τομάτας είναι τα *Clostridium pasteurianum* και *Clostridium butyricum* (Mallidis *et al.*, 1990). Το βακτήριο *Clostridium pasteurianum* είναι σακχαρολυτικό και παράγει αέρια με αποτέλεσμα τη διόγκωση των κονσερβών (Μπλούκας, 2004).

Σημαντικό επίσης αλλοιογόνο μικροοργανισμό αποτελεί και το βακτήριο *Bacillus coagulans*, που σχετίζεται με δυσάρεστες μεταβολές στο προϊόν (επίπεδη οξίνιση) (Misiou *et al.*, 2021). Το συγκεκριμένο βακτήριο, έχει ιδιαίτερη σημασία για τη βιομηχανία τομάτας, καθώς παρουσιάζει σημαντική αντοχή στη θερμική επεξεργασία (Mallidis *et al.*, 1990). Ο μικροοργανισμός αυτός είναι προαιρετικά αναερόβιος, θερμοφίλος, σπορογόνος και μπορεί να αναπτυχθεί σε χαμηλές τιμές pH, σε θερμοκρασία δωματίου (Simoes, 2009). Ο μικροοργανισμός αυτός, παρουσιάζει βέλτιστη ανάπτυξη σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 33-45°C, ενώ αναπτύσσεται με καλό ρυθμό και σε θερμοκρασίες ως 60°C (Vercammen *et al.*, 2012). Μάλιστα, ενώ το βακτήριο *Bacillus coagulans* δεν είναι παθογόνο, δυνητικά μπορεί να προκαλέσει ζήτημα ασφάλειας, καθώς η ανάπτυξή του μπορεί να επιφέρει άνοδο των τιμών pH και να δημιουργήσει γόνιμο έδαφος στα σπόρια του *Clostridium botulinum* (Simoes, 2009). Αντίστοιχο φαινόμενο μπορεί να παρατηρηθεί και κατά την ανάπτυξη μυκήτων, όπου δημιουργούν ιδανικά μικροπεριβάλλοντα για την άνθιση των σπορίων του *Clostridium botulinum* (Simoes, 2009). Ακόμα, σύμφωνα με μελέτη των Rocelle & Clavero (2001), φάνηκε πως η ικανότητα του *Bacillus coagulans* να αναπτυχθεί και να προκαλέσει αλλοίωση σε προϊόντα τομάτας συνδέεται με την περιεκτικότητα του προϊόντος σε διαλυτά στερεά αλλά και με τη θερμοκρασία αποθήκευσής του.

Επιπροσθέτως, σύμφωνα με μελέτη των Olaniran *et al.* (2015), μετά από δοκιμές ταυτοποίησης σε δείγματα τοματοπολτού φάνηκε ότι τα γένη βακτηρίων που απομονώθηκαν ήταν τα *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus delbrueckii*, *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacilli acidophilus* και *Lactobacillus mesenteroides*. Ακόμα, σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη, όσον αφορά στις ζύμες, απομονώθηκαν τα εξής στελέχη: *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces lactis*, *Hansenula anomala*, *Rhodotorula flava* και *Rhodotorula rubra*. Όσον αφορά στους μύκητες, μετά από πειράματα, έχουν απομονωθεί 7 γένη μυκήτων,

τα *Aspergillus fumigatus*, *A. parasiticus*, *A. terreus*, *Penicillium sp.*, *P. duclauxii*, *P. roseo-purpureum* και *Trichoderma viride* (Kalyoncu *et al.*, 2005).

Ένας ακόμα μικροοργανισμός που έχει συσχετιστεί με αλλοιώσεις σε κονσερβοποιημένα προϊόντα τομάτας είναι και το βακτήριο *Alicyclobacillus acidoterrestris*. Το βακτήριο αυτό είναι οξεόφιλο, αναπτύσσεται σε ένα εύρος pH 2,5-5,5, έχοντας ως βέλτιστο pH για την ανάπτυξή του περίπου 3,5-4,0 (Vercammen *et al.*, 2012). Το *Alicyclobacillus acidoterrestris* είναι σπορογόνο, θερμόφιλο και η ανάπτυξή του συνδέεται με την εμφάνιση χαρακτηριστικών οσμών που παραπέμπουν σε φαρμακευτικά προϊόντα ή απολυμαντικά, κυρίως εξαιτίας της γουαϊακαόλης (ο-διυδροξυβενζόλιο) που παράγεται (Maldonado *et al.*, 2007). Μάλιστα, σύμφωνα με μελέτη των Bevilacqua & Corbo (2011), η ιδιαίτερη θερμική αντοχή που παρουσιάζει το *Alicyclobacillus acidoterrestris*, συνδυαστικά με την αυξανόμενη απομόνωσή του από προϊόντα τομάτας, υποδηλώνει πως θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως νέος στόχος για τον αναπροσδιορισμό της θερμικής επεξεργασίας των προϊόντων τομάτας.

Αναφορικά με τους μύκητες και με γνώμονα την ασφάλεια του καταναλωτή, το ενδιαφέρον στρέφεται στην παραγωγή τοξινών όπως η πατουλίνη και η ωχρατοξίνη A, που έχουν βρεθεί σε προϊόντα κηπευτικών (Paramithiotis *et al.*, 2017). Ακόμα, αναφορικά με έρευνα του Nizamlioglu (2022), τοξίνες από *Alternaria* μπορούν να βρεθούν σε τοματοπολτό και τοματοχυμό. Συγκεκριμένα, η παραπάνω μελέτη επισημαίνει τη σχέση μεταξύ εντοπισμού εργοστερόλης στα προϊόντα τομάτας ως δυνητικό δείκτη ύπαρξης τοξινών από *Alternaria*.

Σύμφωνα με μελέτη της Kotzekidou (1997), οι θερμοανθεκτικοί μύκητες, αν και εμφανίζονται σποραδικά, συνιστούν ένα έντονο πρόβλημα για τη βιομηχανία τροφίμων. Αυτό συμβαίνει ακριβώς επειδή τα ασκοσπόρια και τα βλαστικά σκληρώτια, ορισμένων ανθεκτικών στη θερμότητα μυκήτων, μπορούν να επιβιώσουν παρά την έκθεση του προϊόντος σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως συνηθίζεται να συμβαίνει στα κονσερβοποιημένα φρούτα και λαχανικά. Πολλά στελέχη μυκήτων, που μπορούν να προκαλέσουν αλλοίωση σε κονσερβοποιημένα τρόφιμα έχουν απομονωθεί και μελετηθεί. Ασκοσπόρια των *Byssochlamys fulva*, *Byssochlamys nivea*, *Neosartorya fischeri* και *Talaromyces fulva* είναι εξαιρετικά θερμοάντοχα και αποτελούν συνήθη αιτία αλλοίωσης θερμικά επεξεργασμένων φρούτων και λαχανικών. Σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη, ασκοσπόρια των *B.nivea* και *B.fulva* φαίνεται να αδρανοποιήθηκαν πιο γρήγορα, μετά από θέρμανση στους 90°C, στο θρεπτικό μέσο απ' ότι στον τοματοπολτό. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί καθώς ορισμένα συστατικά του τοματοπολτού φαίνεται να έχουν προστατευτικό ρόλο για τα ασκοσπόρια έναντι της θερμότητας (π.χ. σάκχαρα). Η προστατευτική αυτή δράση, οφείλεται στη διαφορά οσμωτικής πίεσης που δημιουργείται

μεταξύ του θερμαντικού μέσου και των ασκοσπορίων και που τελικά ευνοεί την αντίσταση στη θερμότητα.

Τελικά, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η μικροχλωρίδα των κονσερβοποιημένων προϊόντων τομάτας ποικίλει ανάλογα με την ποιότητα της πρώτης ύλης που χρησιμοποιήθηκε, τις τακτικές επεξεργασίας, τις συνθήκες αποθήκευσης αλλά και τις συνθήκες υγιεινής κατά την επεξεργασία (Obeng *et al.*, 2018). Η κατάσταση υγιεινής του περιβάλλοντος επεξεργασίας και του εξοπλισμού διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη μικροβιακή ποιότητα και στην ασφάλεια των προϊόντων (Gounadaki *et al.*, 2008). Η υιοθέτηση ορθών πρακτικών επεξεργασίας (GMP), πρακτικών υγιεινής (GHP) και τυποποιημένων διαδικασιών λειτουργίας (SOPs), κρίνεται απαραίτητη για την πρόληψη των αρνητικών επιπτώσεων, την ελαχιστοποίηση της μικροβιακής επιμόλυνσης, τη διατήρηση της ποιότητας και της ασφάλειας, αποτελώντας τη βάση για την αποτελεσματική εφαρμογή του συστήματος HACCP (Gounadaki *et al.*, 2008).

1.11. Σύγχρονες Προκλήσεις

1.11.1 Κλιματική Αλλαγή

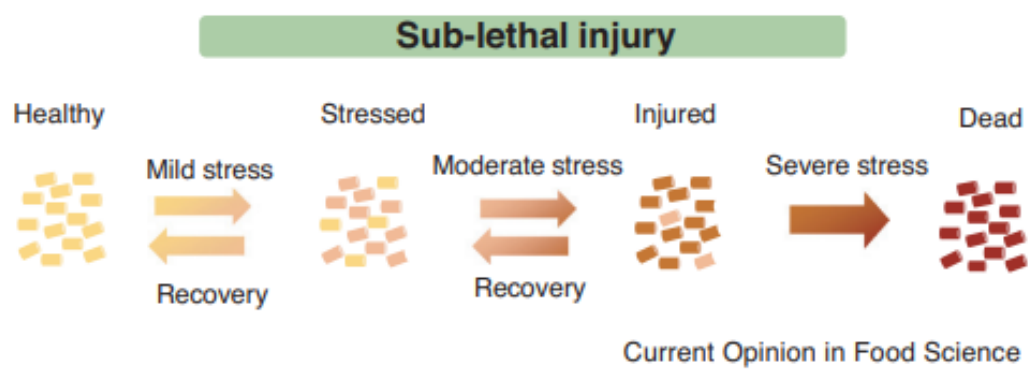
Τα προϊόντα τομάτας, όπως είναι η ketchup, ο τοματοπολτός, οι σάλτσες τομάτας κ.α., είναι προϊόντα που χαρακτηρίζονται από τη σταθερότητά τους στο ράφι και έχουν τουλάχιστον 1 με 2 χρόνια ζωής, από τη μέρα παραγωγής τους (Γερασόπουλος, 2020). Τα μικροβιολογικά σταθερά τρόφιμα ή τρόφιμα σταθερά στο ράφι, περιλαμβάνουν τα προϊόντα εκείνα που δεν αλλοιώνονται και δεν προκαλούν ασθένεια, μετά από κατανάλωσή τους, όταν διατηρούνται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (Rajchl *et al.*, 2010). Τα τρόφιμα αυτά δεν είναι μικροβιολογικά στείρα, ωστόσο οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν σε αυτά δεν μπορούν κάτω από αυτές τις συνθήκες συντήρησης να αναπτυχθούν και να προκαλέσουν αλλοίωση (Rajchl *et al.*, 2010). Ωστόσο και σύμφωνα με μελέτη των Koutsoumanis *et al.* (2022), παρά τη θερμική επεξεργασία (π.χ. στην περίπτωση της κονσερβοποίησης), υπάρχουν θερμοφιλοι μικροοργανισμοί που μπορούν τελικά να επιβιώσουν και όταν βρεθούν σε ιδανικές συνθήκες μπορούν δυνητικά να αναπτυχθούν. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη, αυτή η επιβίωση των θερμοφίλων μικροοργανισμών σε τέτοιου είδους προϊόντα έχει ιδιαίτερη σημασία και χρειάζεται να ληφθεί υπόψιν, καθώς η κλιματική αλλαγή έχει επιφέρει σημαντική, ανοδική μεταβολή στη μέση θερμοκρασία επιφάνειας του πλανήτη, γεγονός που συνεπάγεται και αύξηση της μέσης θερμοκρασίας στα ράφια των σπιτιών, καταστημάτων, αποθηκών κ.α. Οι παραπάνω επιστήμονες, καταλήγουν πως τα συμπεράσματα αυτής της μελέτης, μπορούν να λειτουργήσουν ως προειδοποίηση για τις αναμενόμενες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής

στη μικροβιολογική σταθερότητα των διατηρημένων στο ράφι τροφίμων και να θέσουν την ανάγκη υψηλού επιπέδου ετοιμότητας τόσο από τη βιομηχανία τροφίμων όσο και από τους αρμόδιους φορείς προστασίας. Τέλος, είναι εξίσου σημαντικό να τονιστεί πως κάθε συσκευασία που παράγεται σε μια βιομηχανία τροφίμων ακολουθεί δυνητικά μια διαφορετική χωροχρονική πορεία μέχρι να φτάσει στην αγορά και στον καταναλωτή, με αποτέλεσμα να έχει εκτεθεί πιθανά σε διαφορετικές χρονοθερμοκρασιακές συνθήκες και να είναι τελικά λιγότερο ή περισσότερο ευαίσθητη (Σκανδάμης, 2023).

1.11.2 Διασταλεχιακή Παραλλακτικότητα

Όπως έχει τονιστεί κατά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση της παρούσας διατριβής, η παραγωγή μικροβιολογικώς σταθερών και υψηλής ποιότητας προϊόντων, απαιτεί τον έλεγχο πολλών και διαφορετικών παραγόντων, όπως είναι η ποιότητα της πρώτης ύλης, οι συνθήκες επεξεργασίας και υγιεινής κ.α. Η μικροβιακή σταθερότητα των τροφίμων μπορεί να επιτευχθεί με την αδρανοποίηση ή την απομάκρυνση των ανεπιθύμητων μικροοργανισμών, την πρόληψη της ανάπτυξής τους, αλλά και την αποφυγή επαναμόλυνσής τους (Besten *et al.*, 2018). Η θερμική επεξεργασία των τροφίμων, είναι μια κοινή μέθοδος, που μπορεί να οδηγήσει στην αδρανοποίηση μικροοργανισμών που θέτουν σε ρίσκο την υγεία του καταναλωτή ή την ποιότητα του προϊόντος (Besten *et al.*, 2018). Ωστόσο, σημαντικό τροχοπέδη στον παραπάνω στόχο αποτελούν ορισμένοι μικροοργανισμοί που μπορούν να παραμείνουν τελικά στο προϊόν και να μην ανιχνευθούν, οδηγώντας έτσι στην μη ορθολογική εκτίμηση του μικροβιολογικού φορτίου (Garre *et al.*, 2022). Παραδειγματικά, τα βακτηριακά κύτταρα, μετά από έκθεση σε ακραίες για την επιβίωσή τους συνθήκες, διέρχονται μεταξύ διαφορετικών φυσιολογικών καταστάσεων, από ζώντες μικροοργανισμοί ως και μικροοργανισμοί σε λήθαργο ή θάνατο (Arvaniti & Skandamis, 2022). Σύμφωνα με τους Arvaniti & Skandamis (2022), ο λήθαργος αντιπροσωπεύει μια κατάσταση, όπου τα κύτταρα του μικροοργανισμού έχουν μειωμένη μεταβολική δραστηριότητα σε σχέση με κύτταρα που βρίσκονται στην εκθετική ή στατική φάση της ανάπτυξής τους. Επιπλέον, δύο παρόμοιες με τον λήθαργο καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρεθούν τα κύτταρα των μικροοργανισμών είναι και η κατάσταση κατά την οποία τα κύτταρα είναι βιώσιμα αλλά μη καλλιεργήσιμα (VBNC state) και η κατάσταση κατά την οποία είναι εμμένοντα. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους παραπάνω επιστήμονες, η κατάσταση VBNC αντιπροσωπεύει την κατάσταση εκείνη κατά την οποία ένας πληθυσμός καλλιεργήσιμων κυττάρων έχει χάσει την ικανότητα του για πολλαπλασιασμό στο θρεπτικό μέσο αλλά παραμένει βιώσιμος, ενώ κατά την εμμένουσα κατάσταση, τα κύτταρα έχουν ένα φαινότυπο με ιδιαίτερη ανθεκτικότητα έναντι των αντιβιοτικών. Από τα παραπάνω, γίνεται

αντιληπτό, ότι ακόμα και ανάμεσα σε γενετικά όμοιους πληθυσμούς, μπορούν να υπάρξουν υποπληθυσμοί με διαφορετικά χαρακτηριστικά και διαφορετική ικανότητα επιβίωσης (Arvanti & Skandamis, 2022). Μάλιστα, όσον αφορά στη θερμική αντοχή των μικροοργανισμών, παρατηρείται διαφορετική αντίδραση στη θερμότητα όχι μόνο μεταξύ διαφορετικών ειδών αλλά και μεταξύ στελεχών του ίδιου είδους (Besten *et al.*, 2018). Εν κατακλείδι, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να ληφθεί υπόψη η διασταλεχιακή παραλλακτικότητα, καθώς μπορεί να συσχετισθεί με την αντίσταση των μικροοργανισμών σε συνθήκες στρες και τελικά στην επιβίωσή τους, καθώς και να δοθεί έμφαση στην ανάγκη μελέτης της συμπεριφοράς των κυττάρων μεμονωμένα (Arvanti & Skandamis, 2022).



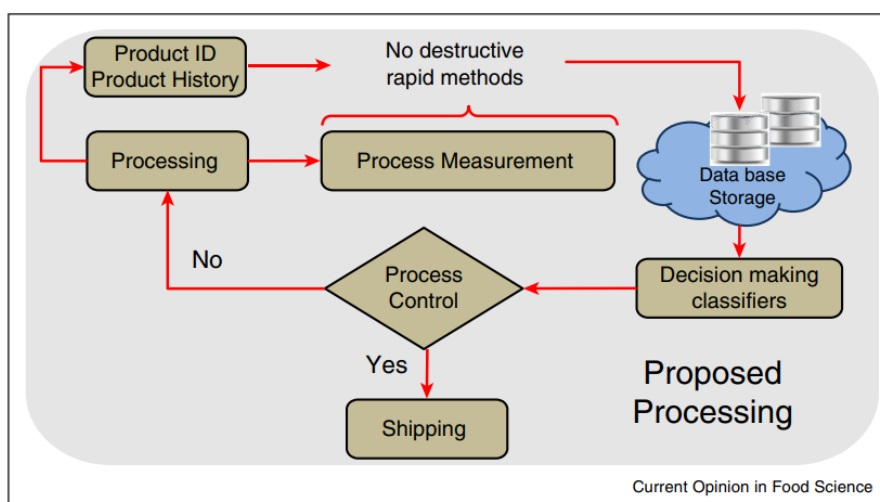
Εικόνα 1.6: Συσχέτιση μεταξύ της έντασης του στρες, της φυσιολογικής κατάστασης και της ικανότητας αναγέννησης των κυττάρων (Arvaniti & Skandamis, 2022)

1.12. Σύγχρονες Μέθοδοι Ανάλυσης

Η βιομηχανία τροφίμων ακολουθεί τους καταναλωτές. Η ευαισθητοποίηση των καταναλωτών σχετικά με θέματα υγείας έχει αυξηθεί θεαματικά, όπως και οι απαιτήσεις για πλέον υψηλής ποιότητας προϊόντα. Μέχρι πρόσφατα, οι οργανοληπτικές δοκιμές, οι χημικές αναλύσεις και οι μικροβιολογικές αναλύσεις αποτελούσαν τις κύριες τακτικές για την εκτίμηση της ποιότητας των τροφίμων. Πάραυτα, αυτές οι τεχνικές απαιτούσαν συχνά επεμβατική αξιολόγηση, ενώ το κόστος τους ήταν αυξημένο. Νέες, οικονομικές, ταχύτατες και φιλικές προς το περιβάλλον τεχνικές, έχουν αναπτυχθεί με στόχο να ξεπεραστούν τα μειονεκτήματα και τα εμπόδια των προαναφερόμενων τακτικών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι οπτικές τεχνολογίες, που είναι από τις πιο πρόσφατες στρατηγικές από τεχνική άποψη (Ngoc *et al.*, 2023).

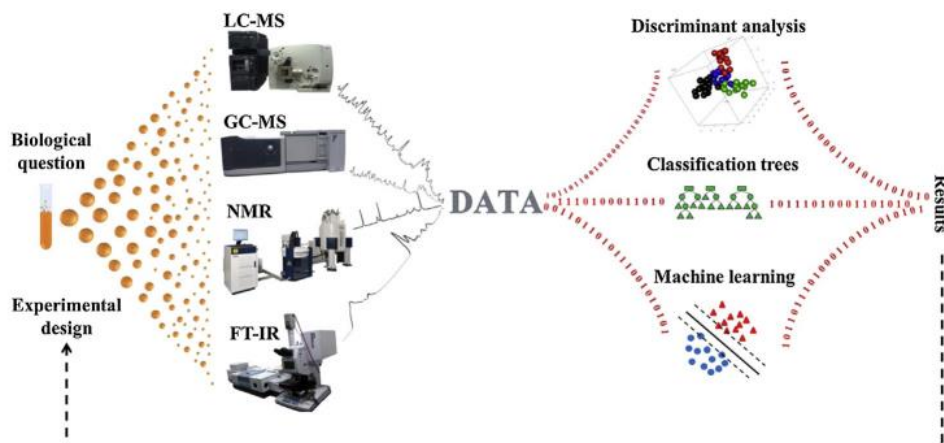
Στις μέρες μας, έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες για τη δημιουργία ενός συστήματος διεργασιών αναλυτικής τεχνολογίας (Process Analytical Technology, PAT), που στοχεύει στη διασφάλιση της ποιότητας, χωρίς να βασίζεται μόνο σε αναλύσεις του τελικού προϊόντος

(Nychas *et al.*, 2016). Πιο συγκεκριμένα και σύμφωνα με τη μελέτη των Nychas *et al.* (2016), το δίκτυο PAT μέσω αλγορίθμων αλλά και δεδομένων (χημικές, μικροβιολογικές αναλύσεις κ.α.) και παρακολουθώντας το τρόφιμο στα διαδοχικά σημεία της επεξεργασίας του (από την πρώτη ύλη ως το τελικό προϊόν) θα μπορεί να εξάγει αποτελέσματα που θα έχουν την ικανότητα να προβλέπουν δυνητικούς κινδύνους, να μειώνουν την “καραντίνα” των τελικών προϊόντων, να αυξάνουν τα κέρδη της επιχείρησης αλλά και να διασφαλίζουν την υγεία των καταναλωτών.



Εικόνα 1.7: Διάγραμμα δικτύου PAT (Nychas *et al.*, 2016)

Υπάρχουν πολλές κατηγορίες μοντέλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται, ωστόσο η επιλογή του κατάλληλου αλγορίθμου γίνεται με βάση την ορθή αξιολόγηση των δεδομένων, την τάση τους αλλά και τις περιττές πληροφορίες που αυτά μπορεί να περιέχουν (MathWorks, 2019). Ανάλογα με τα δεδομένα και τις πληροφορίες που συλλέγονται, κατασκευάζονται αλγόριθμοι που τελικώς εκπαιδεύουν το όργανο που χρησιμοποιείται, ώστε να οδηγείται στην ορθή λήψη απόφασης (συμμορφούμενο προϊόν/ μη συμμορφούμενο προϊόν), όπως διατυπώνεται παρακάτω (Εικόνα 1.8) (Gromski *et al.*, 2015).



Εικόνα 1.8: Εκπαίδευση οργάνων για λήψη αποφάσεων (Machine Learning), (Gromski *et al.*, 2015)

Τελικώς, κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική η συνεισφορά που μπορεί να έχει η μικροβιολογία πρόρρησης στην ασφάλεια των τροφίμων. Μεγάλη πρόκληση στην μεταβολομική, αποτελεί η επιλογή της κατάλληλης πλατφόρμας για την επεξεργασία των δεδομένων και την ανάλυσή τους προκειμένου να μετατραπούν τα δεδομένα σε βιολογικά σημαντικές πληροφορίες (Skandamis & Panagou, 2017).

1.12.1. Μέθοδος Πολυφασματοσκοπικής Ανάλυσης Εικόνας

Στις μέρες μας το ενδιαφέρον για τις οπτικές τεχνολογίες, που προσφέρουν τη δυνατότητα για αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο αυξάνεται ραγδαία. Μάλιστα, οι γρήγορες, μη επεμβατικές, αναλυτικές μέθοδοι, που βασίζονται στη φασματοσκοπία δόνησης και στην υπερ/πολυφασματοσκοπική απεικόνιση κερδίζουν ολοένα και περισσότερο χώρο στην επιστήμη των τροφίμων (Manthou *et al.*, 2020). Η ταχύτατα αναπτυσσόμενη βιομηχανία τροφίμων, πέρα από την προσπάθεια για αποφυγή των απωλειών και της σπατάλης τροφίμων, χρειάζεται να στραφεί στην ανάπτυξη άμεσων τεχνικών που θα δίνουν σαφή αποτελέσματα για την ποιότητα και την ασφάλεια του προϊόντος. Η επιστημονική κοινότητα, έχει καταβάλει τεράστια προσπάθεια για την εύρεση νέων, εναλλακτικών μεθόδων, που στοχεύουν στη λήψη τέτοιων αποτελεσμάτων (Lytou *et al.*, 2023). Χαρακτηριστικό παράδειγμα, αποτελεί η τεχνολογία πολυφασματοσκοπικής απεικόνισης. Η τεχνολογία αυτή, εξασφαλίζει την ανάλυση δειγμάτων με γρήγορο, μη επεμβατικό, χαμηλού κόστους τρόπο, που συνδυάζει την ακρίβεια με την ευχρηστία (Panagou *et al.*, 2014). Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος της πολυφασματοσκοπικής απεικόνισης πλεονεκτεί έναντι των κλασικών μικροβιολογικών αναλύσεων, ακριβώς επειδή είναι ταχύτατη, μη καταστρεπτική, έχει μεγάλης κλίμακας

εφαρμογές, ενώ μπορεί να εφαρμοστεί απευθείας στη γραμμή παραγωγής, οδηγώντας σε ασφαλή αποτελέσματα για την ποιότητα και τη διάρκεια ζωής του τροφίμου (Ropodi *et al.*, 2016). Η μέθοδος αυτή, αποτελεί το συνδυασμό των πλεονεκτημάτων και των δυνατοτήτων των H/Y και της φασματοσκοπίας (Panagou *et al.*, 2014). Πρόκειται για ένα είδος απεικόνισης, που ενέχει την καταγραφή δύο ή περισσότερων μονοχρωματικών εικόνων σε διαφορετικά μήκη κύματος στο φάσμα (Panagou *et al.*, 2014). Συνήθως, αυτή η τεχνική περιλαμβάνει την καταγραφή του φωτός σε διάφορα μήκη κύματος, τα οποία αντιστοιχούν σε διαφορετικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Κάθε μήκος κύματος αντιστοιχεί σε μια διαφορετική πληροφορία για το αντικείμενο που απεικονίζεται. Στη συνέχεια, αυτές οι πληροφορίες συνδυάζονται ή επεξεργάζονται για να δημιουργηθεί μια συνολική εικόνα που μπορεί να παρουσιάζει πολλαπλές πτυχές του αντικειμένου που μελετάται (Manthou *et al.*, 2020).

Το Videometer Lab 4 είναι ένα φασματικό εργαλείο απεικόνισης, σχεδιασμένο για το γρήγορο και ακριβή προσδιορισμό του χρώματος, της υφής και της χημικής σύνθεσης σε επιφάνειες έως 90×123 χιλιοστά αν εικόνα. Το όργανο, είναι ένα εύκολο ως προς τη χρήση σύστημα, που ενσωματώνει την τεχνολογία φωτισμού, φωτογραφίας, καθώς και την τεχνολογία H/Y, με προηγμένη ψηφιακή ανάλυση εικόνας και στατιστική. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία LED (Light Emitting Diode), με στροβοσκοπική λειτουργία (ανίχνευση περιοδικής κίνησης), το Videometer Lab 4 συνδυάζει μετρήσεις σε έως και 20 διαφορετικά μήκη κύματος σε μια μόνο υψηλής ανάλυσης φασματική εικόνα. Κάθε pixel στην εικόνα, αντιπροσωπεύει ένα φάσμα αντανάκλασης και το όργανο μπορεί να περιλαμβάνει μήκη κύματος στο υπεριώδες, το ορατό και το εγγύς υπέρυθρο φάσμα (<https://videometer.com/videometerlab-software/>).

Πρόσφατα, αυτή η τεχνολογία έχει εφαρμοστεί ως ένα ισχυρό εργαλείο ανάλυσης διεργασιών, για τον έλεγχο εσωτερικών και εξωτερικών χαρακτηριστικών σε διάφορα φρούτα και λαχανικά, όπως το μήλο και η τομάτα (Liu *et al.*, 2015).

Η εφαρμογή της πολυφασματοσκοπικής απεικόνισης σε φρούτα και λαχανικά, έχει ένα ευρύ φάσμα και σχετίζεται με την ταυτοποίηση της ποικιλίας, την ποιοτική ανάλυση των καρπών, την κατάταξη των φρούτων, τη διάγνωση ασθενειών, την άντληση πληροφοριών σχετικά με τα ενδογενή χαρακτηριστικά των καρπών, την εκτίμηση της ωριμότητας αλλά και την απόδοση των φυτών (Gaikwad & Tidke, 2022). Μάλιστα, η μελέτη των παραπάνω επιστημόνων, συσχετίζει τη χρήση της τεχνικής MSI με την αναγνώριση παθογόνων μικροοργανισμών σε σπόρους βρώμης, τον εντοπισμό ξένων υλών στο λάχανο αλλά και τον προσδιορισμό του τρόπου δράσης μελισσών και βομβίνων στα άνθη των φυτών.



Εικόνα 1.9: Όργανο Videometer Lab 4 (Πηγή: <https://pro-lite.co.uk/products-services-index/spectroscopy/plant-science-tools/videometerlab4/>)

Στο ευρύ φάσμα εφαρμογής της τεχνικής MSI, συγκαταλέγεται και η χρήση της για τη διάκριση των καρπών ελιάς με βάση τη σύνθεσή τους (Martinez Gila *et al.*, 2021). Άλλο επίπεδο εφαρμογής της πολυφασματοσκοπίας MSI είναι και η χρήση της για τον έλεγχο της νοθείας, ένα φαινόμενο που παρατηρείται ιδιαίτερα στον τομέα των τροφίμων. Παραδειγματικά, αναφέρεται η χρήση της για τον έλεγχο νοθείας σε κόκκους καφέ αλλά και για τη διάκριση των κόκκων καφέ της ποικιλίας Arabica και Robusta (Mihailova *et al.*, 2022).

Σε ότι αφορά στον καρπό της τομάτας, η πολυφασματοσκοπική απεικόνιση έχει εφαρμοστεί για την πρόβλεψη του βαθμού ωριμότητας των καρπών, επιτυγχάνοντας ακρίβεια άνω του 85% (Hahn, 2002). Μάλιστα, σύμφωνα με έρευνες, έχει φανεί πως η μέθοδος πολυφασματοσκοπικής ανάλυσης εικόνας, μπορεί να λειτουργήσει ως μια ισχυρή προσέγγιση για την αναγνώριση ποικιλιών τομάτας (Liu *et al.*, 2015). Παρόμοια μελέτη είναι και αυτή των Shrestha *et al.* (2015), που αφορά στον προσδιορισμό των ποικιλιών τομάτας αλλά και της μελέτης ποικιλότητας του γενετικού υλικού των φυτών της με τη βοήθεια της πολυφασματοσκοπικής απεικόνισης. Επιπλέον, σημαντική είναι και η μελέτη των Galleti *et al.* (2020), που καταλήγει πως ο συνδυασμός πολυφασματοσκοπικής απεικόνισης και πολυπαραγοντικών χημειομετρικών αναλύσεων, έχει σημαντική ακρίβεια στη διάκριση σπόρων τομάτας με υψηλότερη ευρωστία από σπόρους με χαμηλότερη αντοχή, πριν ακόμη αυτό να είναι ορατό στο ανθρώπινο μάτι.

Σε ότι αφορά στα κτηνοτροφικά προϊόντα, υπάρχει μια πληθώρα επιστημονικών μελετών που σχετίζονται με τη χρήση της πολυφασματοσκοπικής ανάλυσης εικόνας με στόχο την εκτίμηση ποιοτικών παραμέτρων αλλά και χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την ασφάλεια του καταναλωτή. Χαρακτηριστικά, η τεχνική MSI έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των

διαφόρων φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του κρέατος που σχετίζονται άμεσα με την ποιότητά του (π.χ. ικανότητα συγκράτησης νερού, περιεκτικότητα σε λίπος, κ.α.), την τρυφερότητά του, αλλά και το μικροβιολογικό του προφίλ (Feng *et al.*, 2018). Μια ακόμη μελέτη, που αφορά στον προσδιορισμό της ποιότητας σε πουλερικά είναι και αυτή των Spyrelli *et al.* (2020), που κάνει χρήση της μεθόδου πολυφασματοσκοπικής απεικόνισης σε φιλέτο από στήθος κοτόπουλου, μαριναρισμένο σουβλάκι κοτόπουλου και μπέργκερ από μπιφτέκι κοτόπουλου. Σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη, παρατηρήθηκαν οι βιοχημικές αλλαγές και τα μεταβολικά προϊόντα που παρήχθησαν κατά την αλλοίωση των παραπάνω τροφίμων, οδηγώντας σε συμπεράσματα για τις διαφορετικές εκδοχές με τις οποίες μπορεί να καταναλωθεί το κρέας πουλερικών. Η μέθοδος MSI, εφαρμόζεται και για τον εντοπισμό περιπτώσεων νοθείας και σε κτηνοτροφικά προϊόντα. Σύμφωνα με τους Ropodi *et al.* (2017), η εφαρμογή της παραπάνω τεχνικής μπορεί να δώσει σαφή αποτελέσματα σχετικά με τη νοθεία μοσχαρίσιου κιμά με κρέας αλόγου.

Μια άλλη εφαρμογή της μεθόδου πολυφασματοσκοπικής ανάλυσης εικόνας είναι και η χρήση της σε αλιεύματα, που αποτελεί ένα σημαντικό τρόπο για τη βελτίωση της διαχείρισης και της ποιότητας των αλιευμάτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μελέτη των Khoshnoudi & Nasab (2019), που αφορά στον προσδιορισμό της αλλοίωσης σε φιλέτα ιχθύος κατά την αποθήκευσή τους σε συνθήκες ψύξης για 12 ημέρες.

Η χρήση της πολυφασματοσκοπικής απεικόνισης είναι μια ολοένα και περισσότερο εφαρμοζόμενη τεχνολογία, που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση ποικίλων ποιοτικών παραμέτρων στην επιστήμη των τροφίμων, καταφέροντας να ανοίξει νέες προοπτικές για την ποιότητα, την ασφάλεια και την αυθεντικότητα των τροφίμων που καταναλώνονται καθημερινά (Lytou *et al.*, 2023). Η δυνατότητα ανίχνευσης ακόμα και της πιο μικρής αλλοίωσης, ποιοτικής υποβάθμισης ή νοθείας στα τρόφιμα, αναδεικνύει την τεχνολογία αυτή ως ένα πολύτιμο σύμμαχο για τη διασφάλιση της υγείας και της ευημερίας του καταναλωτή. Επιπλέον, αξιοσημείωτο είναι πως η τεχνική MSI καταφέρνει να συνδυάσει πληθώρα θετικών τόσο για τον καταναλωτή, τη βιομηχανία τροφίμων αλλά και το περιβάλλον. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η τεχνολογία πολυφασματικής απεικόνισης συμβάλλει στην επίτευξη υψηλών προδιαγραφών στη βιομηχανία τροφίμων, βοηθώντας έτσι στην προστασία της επιχειρηματικής φήμης αλλά και την προώθηση της εμπορίας τροφίμων σε ένα διεθνές, ασφαλές επίπεδο. Τέλος, είναι μια μέθοδος φιλική προς το περιβάλλον, έχοντας μάλιστα μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα σε σχέση με τις κλασικές μεθόδους ποιοτικού ελέγχου, συνδυάζοντας την αποφυγή δημιουργίας αποβλήτων, τη μειωμένη ανάγκη δειγματοληψίας και τελικά την εξοικονόμηση πόρων (Siche *et al.*, 2015).

2. Σκοπός

Στην παρούσα διπλωματική μελέτη γίνεται μια προσπάθεια συσχέτισης των ποιοτικών παραμέτρων των προϊόντων τομάτας και των φασματικών δεδομένων που αποκτήθηκαν με τη σύγχρονη μέθοδο πολυφασματικής απεικόνισης, με τη θερμική επεξεργασία που υφίστανται τα προϊόντα. Κύριος στόχος της διατριβής είναι η εκτίμηση του χρόνου θερμικής καταστροφής (F-value) των οξυγαλακτικών βακτηρίων και των θερμόφιλων σπορογόνων μικροοργανισμών, απευθείας με φασματοσκοπική ανάλυση των τελικών προϊόντων, χωρίς υπολογισμούς, έλεγχο καραντίνας (εσπευσμένη αλλοίωση στους 37°C και 55°C για 7 ημέρες) και μικροβιακό έλεγχο, μέσω πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης.

3. Υλικά και Μέθοδοι

3.1 Πειραματικός Σχεδιασμός

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε δείγματα προϊόντων τομάτας διαφορετικής συμπύκνωσης. Τα δείγματα, αμέσως μετά την παραγωγή τους, μεταφέρονταν στο εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου όπου και αναλύονταν ως προς τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά, ενώ δείγματα πρώτης ύλης μεταφέρονταν στο εργαστήριο μικροβιολογικών αναλύσεων του εργοστασίου και γίνονταν οι απαραίτητες αναλύσεις. Στη συνέχεια, δείγματα από κάθε κωδικό που μελετήθηκε, τοποθετούνταν στους 37°C και 55°C για 7 ημέρες. Μετά την πάροδο αυτού του διαστήματος, τα δείγματα ελέγχονταν μικροβιολογικά και ποιοτικά. Συνοπτικά, η πειραματική προσέγγιση που ακολουθήθηκε στην παρούσα διατριβή περιγράφεται παρακάτω:

1. Εκτίμηση μικροβιακού φορτίου της α' ύλης της τομάτας.
2. Καταγραφή χρόνου-θερμοκρασιακών δεδομένων κατά τη θερμική επεξεργασία των προϊόντων τομάτας.
3. Δοκιμή σταθερότητας των παραγόμενων προϊόντων. Αναλυτικά, τα προϊόντα αμέσως μετά την παραγωγή τους επώαζονταν στους 37°C και 55°C για 7 ημέρες. Στο τέλος της επώασης τα δείγματα αναλύονταν ως προς τα φυσικοχημικά και μικροβιολογικά χαρακτηριστικά τους.
4. Εφαρμογή πολυφασματοσκοπικής ανάλυσης εικόνας (Multispectral Imaging), με τη χρήση του οργάνου Videometer Lab 4, για την εκτίμηση ποιοτικών και μικροβιολογικών παραμέτρων στα προϊόντα τομάτας.

3.1.1. Αποτίμηση του μικροβιακού φορτίου των πρώτων (Α') υλών

Πριν την έναρξη κάθε κύκλου πειράματος (data logger, δοκιμή επώασης, MSI), γινόταν δειγματοληψία από την πρώτη ύλη που χρησιμοποιούνταν κάθε φορά για την παραγωγή του τελικού προϊόντος. Πιο αναλυτικά, λαμβάνονταν δείγμα πρώτης ύλης, από το σημείο που βρισκόταν ο τοματοχυμός αμέσως πριν ξεκινήσει η παστερίωσή του. Το δείγμα ελεγχόταν ως προς το μικροβιακό του φορτίο σύμφωνα με τις μεθόδους που θα αναλυθούν παρακάτω. Η ποσοτικοποίηση του μικροβιακού φορτίου της α' ύλης, κρίθηκε ιδιαίτερα σημαντική για τη συσχέτιση της α' ύλης με το τελικό προϊόν αλλά και για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας της θερμικής επεξεργασίας.

3.1.2. Καταγραφή χρόνου-θερμοκρασιακών δεδομένων

Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιήθηκε καταγραφή θερμοκρασιών σε συνάρτηση με το χρόνο, με τη βοήθεια ασύρματων θερμοκρασιακών καταγραφικών θερμοκρασίας/χρόνου (data loggers, EBRO) κατά τη διάρκεια των διαδικασιών θερμικής επεξεργασίας, για κάθε προϊόν που μελετήθηκε. Το στάδιο αυτό κρίθηκε σημαντικό για την εκτίμηση του χρόνου θερμικής καταστροφής (F-value) των οξυγαλακτικών βακτηρίων και των θερμοφίλων σπορογόνων μικροοργανισμών, που προέκυπταν από τις θερμοκρασιακές καταγραφές. Πιο συγκεκριμένα, πριν την πλήρωση του κάθε περιέκτη, τοποθετούνταν στο κέντρο του και σε ειδική βάση, ένα καταγραφικό θερμοκρασίας/χρόνου (data logger, EBRO) που προηγουμένως είχε ρυθμιστεί ως προς την ημερομηνία, ώρα έναρξης και ώρα λήξης της καταγραφικής του δραστηριότητας. Αφού ολοκληρωνόταν η διαδικασία της πλήρωσης, παραμονής σε ορισμένο χρόνο στη θερμοκρασία στόχο και έπειτα ψύξης της κονσέρβας, το τεμάχιο παραλαμβάνονταν και εξάγονταν τα δεδομένα του καταγραφικού μέσω της εφαρμογής winlog pro της Ebro και σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή για κάθε προϊόν.



Εικόνα 3.1: Καταγραφικά χρόνου/θερμοκρασίας (Πηγή: <https://shop.ebro.com>)

3.1.3. Μικροβιολογική Ανάλυση

Η μικροβιολογική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της μετασποράς σε τρυβλία. Πιο αναλυτικά, 10 g από κάθε δείγμα τοματοπολτού συμπύκνωσης 28% ζυγίζονταν ασηπτικά και μεταφέρονταν σε σακούλα ομογενοποίησης (BagPage, Interscience) και προστίθεντο 90 ml ρυθμιστικού διαλύματος Ringer's (Millipore). Η σακούλα με το αραιωμένο δείγμα τοποθετούνταν στη συσκευή ομογενοποίησης (Homogenizer Stomacher, Lab Blender400, Seward Medical), προκειμένου να πραγματοποιηθεί η ομογενοποίηση του δείγματος (230 RPM για 1 λεπτό), σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στα δείγματα τοματοπολτού χαμηλής συμπύκνωσης (6-8° Brix), λαμβάνονταν ποσότητα 1 ml απευθείας από το δείγμα. Στη

συνέχεια, πραγματοποιούνται διαδοχικές αραιώσεις με μεταφορά 1 ml δείγματος προηγούμενης αραιώσης σε 9 ml ορού Ringer. Μετά την παρασκευή των διαδοχικών δεκαδικών αραιώσεων, η κατάλληλη ποσότητα δείγματος 0,1 ή 1 ml από την κατάλληλη διαδοχική αραιώση ενοφθαλμίζονται με τη μέθοδο της επίστρωσης ή της ενσωμάτωσης αντίστοιχα, για την απαρίθμηση των ακόλουθων μικροοργανισμών στα κατάλληλα υποστρώματα.

Τα υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- **Ολική Μεσόφιλη Χλωρίδα (OMX)**: σε Plate Count Agar (PCA, Merck, Millipore, Germany) το οποίο επώαστηκε στους 30°C για 3 ημέρες.
- **Ζύμες & Μύκητες**: σε Wort Agar (Merck, Millipore, Germany), το οποίο επώαστηκε στους 30°C για 3 ημέρες.
- **Οξύγαλακτικά Βακτήρια**: σε den Man, Rogosa and Sharpe agar, MRS (Merck, Millipore, Germany) το οποίο επώαστηκε στους 30°C για 3 ημέρες.

Στο τέλος της επώασης, πραγματοποιούνταν η καταμέτρηση των αποικιών που είχαν αναπτυχθεί στα τρυβλία και πιο συγκεκριμένα σε τρυβλία που περιείχαν 30-300 αποικίες. Ο αριθμός που πρόκυπτε πολλαπλασιαζόταν με το αντίστροφο της κάθε αραιώσης και έδινε τελικά τον αριθμό των μικροοργανισμών σε cfu/g ή cfu/ml ανάλογα με το αν ήταν υγρό ή στερεό το τρόφιμο

3.1.4 Φυσικοχημικές Αναλύσεις

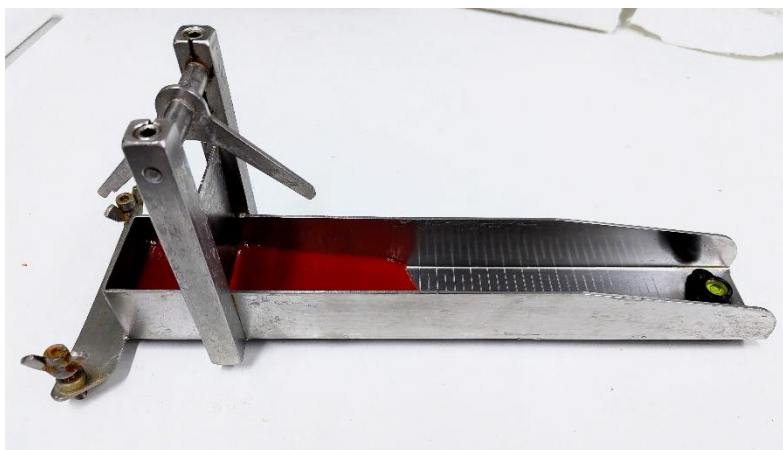
- *Προσδιορισμός pH*

10 g από κάθε δείγμα ομογενοποιούνταν με 90 ml απεσταγμένο νερό. Ακολουθούσε προσδιορισμός του pH με χρήση pHmeter (pHmeter Orion StarTM). Για τα υγρά τρόφιμα (π.χ. τομάτα τριμμένη, passata κτλπ.), γινόταν απευθείας προσδιορισμός του pH χωρίς παραπάνω αραιώση. Η διαδικασία πραγματοποιούνταν τόσο πριν όσο και μετά την επώαση των δειγμάτων που υποβάλλονταν σε δοκιμή σταθερότητας. Επιπλέον, πριν από κάθε μέτρηση το όργανο είχε βαθμονομηθεί σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

- *Προσδιορισμός ιζώδους*

Το ιζώδες των προϊόντων τομάτας μετρήθηκε με τη μέθοδο Bostwick και το όργανο Bostwick consistometer. Η μέθοδος αυτή, αποτελεί την πλέον διαδεδομένη μέθοδο για τον προσδιορισμό

της συνεκτικότητας στα προϊόντα βιομηχανικής τομάτας (USDA, 1971). Με τη μέθοδο αυτή, υπολογίζεται η απόσταση (cm) που διανύει το ρευστό (τοματοπολτός αραιωμένος στους 12-13° Brix) σε θερμοκρασία δωματίου και σε χρόνο 10 ή 30 sec, ανάλογα με το προϊόν. Το Bostwick consistometer είναι ένα μακρύ «κανάλι» μήκους 24 cm, φτιαγμένο από ανοξείδωτο χάλυβα και βαθμονομημένο σε κλάσματα 0,5 cm. Στο ένα άκρο του υπάρχει κατάλληλα διαμορφωμένος χώρος με χωρητικότητα περίπου 100 mL, που χωρίζεται από το υπόλοιπο τμήμα με ειδικό έλασμα. Σε αυτό το τμήμα, αφού το όργανο βαθμονομηθεί, τοποθετείται το προϊόν και το έλασμα ανυψώνεται στιγμιαία, αφήνοντας το ρευστό να κινηθεί. Με αυτό τον τρόπο υπολογίζεται η εξάπλωση του προϊόντος-ρευστού σε cm (Côté *et al.*, 2019). Στα προϊόντα χαμηλής συμπύκνωσης, δηλαδή στα προϊόντα με 6-8° Brix, ο προσδιορισμός του ιξώδους γινόταν απευθείας, χωρίς περαιτέρω αραιώση. Αντιθέτως, στα προϊόντα υψηλής συμπύκνωσης, 28-30° Brix, προηγούνταν αραιώση ώσπου να έχουν περίπου 12,5° Brix.



Εικόνα 3.2: Bostwick consistometer (Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου ΚΥΚΝΟΣ)

➤ Προσδιορισμός χρώματος

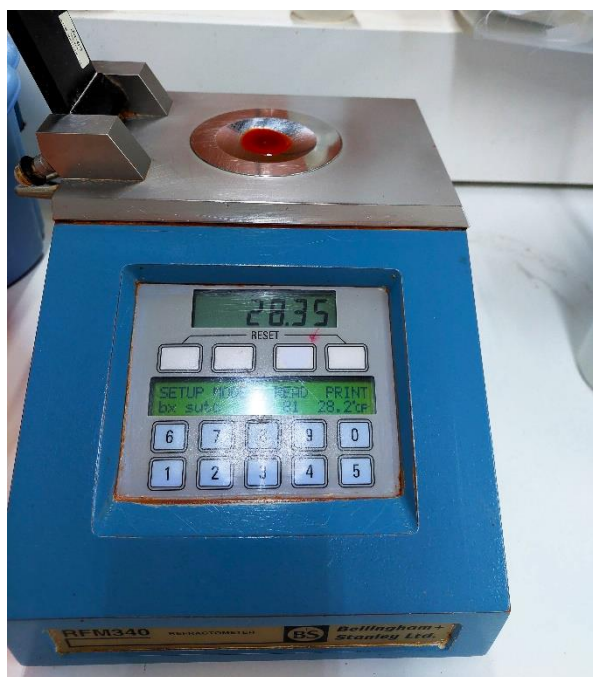
Για την αξιολόγηση του χρώματος των δειγμάτων προϊόντων τομάτας, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Hunter και το όργανο HunterLab Colorflex. Με τη μέθοδο αυτή, ο τοματοπολτός/τοματοχυμός αραιώνεται ώστε να έχει 12-13 ° Brix. Πριν από κάθε μέτρηση, το όργανο βαθμονομούνταν με βάση τις πρότυπες πλάκες BCR (άσπρη, μαύρη και κόκκινη). Στη συνέχεια, το δείγμα τοποθετούνταν με προσοχή σε ειδικό κρυστάλλινο, διάφανο δοχείο και καλυπτόταν με σκουρόχρωμα κάλυμμα. Το όργανο δίνει αποτελέσματα με τρεις συντεταγμένες L (light), a (redness) και b (yellowness) (Δροσινός, 2020). Τελικά, ο λόγος a/b είναι η παράμετρος εκείνη που υποδηλώνει το πόσο κόκκινο είναι το τελικό προϊόν (Shatta *et al.*, 2017).



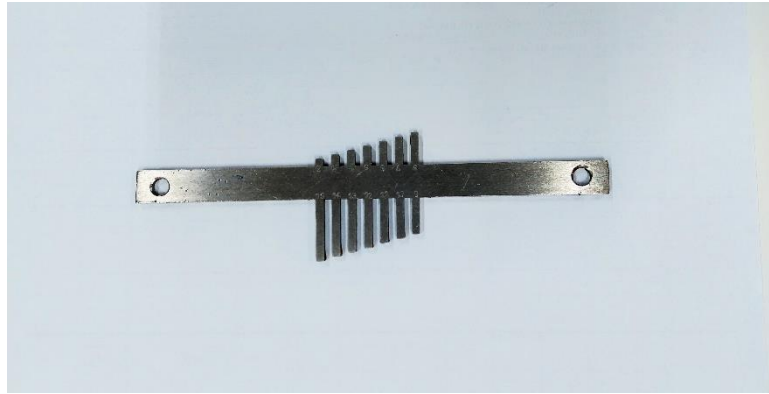
Εικόνα 3.3: Προσδιορισμός χρώματος με HunterLab Colorflex (Πηγή : <https://www.hunterlab.com>)

➤ Προσδιορισμός διαλυτών στερεών (° Brix)

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό κριτήριο ποιότητας για τα προϊόντα τομάτας αποτελεί και η μέτρηση των διαλυτών στερεών (Silveira Munhoz & Schimdt, 2019). Για τη μέτρηση των διαλυτών στερεών χρησιμοποιήθηκε το διαθλασίμετρο RFM340. Πριν από κάθε μέτρηση, το διαθλασίμετρο βαθμονομούνταν σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, χρησιμοποιώντας απιονισμένο νερό και πρότυπο σακχαροδιάλυμα.



Εικόνα 3.4: Διαθλασίμετρο RFM340 (Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου ΚΥΚΝΟΣ)



Εικόνα 3.5: Headspace meter (Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου ΚΥΚΝΟΣ)

➤ Προσδιορισμός άλατος (NaCl)

Ο προσδιορισμός άλατος πραγματοποιήθηκε σε συγκεκριμένα προϊόντα (ketchup), με βάση τη μέθοδο Mohr. Για τον προσδιορισμό του, ζυγίζονταν 5 g του δείγματος σε ζυγό ακριβείας και στη συνέχεια προστίθεντο 30 ml απιονισμένου νερού. Αφού το διάλυμα μεταφέρονταν σε κωνική φιάλη των 250 ml, προστίθεντο σταγόνες (περίπου 20) διαλύματος χρωμικού καλίου (K_2CrO_4). Στη συνέχεια, το διάλυμα που πρόκυπτε ογκομετρούνταν με νιτρικό άργυρο ($AgNO_3$) μέχρι την εμφάνιση κεραμέρυθρου χρώματος. Το τελικό αποτέλεσμα πρόκυπτε σύμφωνα με την εξίσωση: $\%NaCl = 0,585 \times (ml AgNO_3) / (g \text{ προϊόντος})$.

➤ Προσδιορισμός κενού διαστήματος (headspace)

Ο ελεύθερος χώρος που υπάρχει στον περιέκτη υπολογίζεται με τη βοήθεια ειδικού οργάνου, headspace meter σε inch. Το ελεύθερο διάστημα : α) επιτρέπει το σχηματισμό κενού στο εσωτερικό του περιέκτη κατά την απαέρωση, β) διευκολύνει την ανάμειξη των υγρών τροφίμων κατά την ανακίνησή τους και συνεπώς επιταχύνει το ρυθμό μετάδοσης της θερμότητας και γ) αποτρέπει την παραμόρφωση του περιέκτη κατά την θερμική επεξεργασία. Στους γυάλινους περιέκτες πρέπει να αποτελεί το 6% του ωφέλιμου όγκου, ενώ στους υπόλοιπους δεν πρέπει να υπερβαίνει το 10% (Μπλούκας, 2004).

➤ Προσδιορισμός κενού αέρος

Ο προσδιορισμός του περιεχόμενου αέρα που υπάρχει στο ελεύθερο διάστημα του περιέκτη γίνεται με τη βοήθεια ειδικού οργάνου, του κenoμέτρου και δίνει αποτελέσματα σε bar. Το κενό που δημιουργείται στο ελεύθερο διάστημα της κονσέρβας προκύπτει από την εν θερμώ

πλήρωση του περιέκτη (hot filling). Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται υψηλή τάση υδρατμών στο ελεύθερο διάστημα και με το επακόλουθο ερμητικό κλείσιμο του περιέκτη, οι υδρατμοί συμπυκνώνονται και δημιουργείται κενό στο ελεύθερο διάστημα (Μπλούκας, 2004).

3.1.5 Εφαρμογή πολυφασματικής απεικόνισης (Multispectral Imaging, MSI)

Η εφαρμογή της μεθόδου πολυφασματοσκοπικής ανάλυσης εικόνας πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του οργάνου Videometer Lab 4 (Videometer A/S, Denmark). Αυτό το όργανο επιτρέπει τη λήψη πολυφασματοσκοπικών εικόνων των υπο εξέταση δειγμάτων σε 19 διαφορετικά μήκη κύματος. Συγκεκριμένα, τα μήκη κύματος που αναλύθηκαν είναι τα εξής : 365,405,430,450,470,490,515,540,570,590,630,645,660,690,780,850,880,940,970 nm. Πριν τη λήψη της εικόνας προηγείται η διαδικασία του “light set up”, κατά την οποία προσαρμόζονται οι πηγές φωτός ώστε να φωτίζουν κατάλληλα το δείγμα που πρόκειται να απεικονίσουν. Αυτή η προσαρμογή γίνεται με τη λήψη της πρώτης εικόνας του δείγματος με την εντολή “autolight” και το αποτέλεσμα αποθηκεύεται σε αρχείο ώστε να χρησιμοποιηθεί στις μελλοντικές λήψεις. Εν συνεχεία, το σύστημα χρειάζεται να υποστεί γεωμετρική και ραδιομετρική βαθμονόμηση, χρησιμοποιώντας τρεις πρότυπους στόχους βαθμονόμησης. Με αυτές τις διαδικασίες, περιορίζονται ανεπιθύμητα φαινόμενα όπως αυτά των σκιάσεων αλλά και παραμορφώσεων των εικόνων (Panagou *et al.*, 2014). Αναλυτικά, πρώτα τοποθετείται στο όργανο ο λευκός δίσκος βαθμονόμησης, έπειτα ο σκούρος δίσκος και τέλος ο δίσκος με τις χαρακτηριστικές κουκκίδες. Μετά τη βαθμονόμηση του οργάνου, ακολουθεί η προετοιμασία του προς εξέταση δείγματος. Το δείγμα τοποθετείται σε τρυβλίο (petri dish) διαστάσεων 94×16 mm, καλύπτοντας ομοιόμορφα την επιφάνειά του, χωρίς κενά και προεξοχές. Μετά από αυτή τη διαδικασία, το δείγμα είναι έτοιμο και η λήψη της εικόνας μπορεί να πραγματοποιηθεί. Μετά τη λήψη της εικόνας, το δείγμα εμφανίζεται στην οθόνη του H/Y και έτσι δίνεται η δυνατότητα εντοπισμού αστοχιών κατά τη λήψη και η επανάληψή της εάν κρίνεται απαραίτητο. Αφού έχουν ληφθεί και αποθηκευτεί οι εικόνες, ακολουθεί η επεξεργασία τους μέσω του προγράμματος Videometer Lab 4. Κατά την επεξεργασία των απεικονίσεων αφαιρούνται οι περιοχές του τρυβλίου και ο περιφερειακός χώρος, ώστε να προκύψουν οι περιοχές ενδιαφέροντος (main region of interest ROI). Από την επιφάνεια των περιοχών ROI θα αντληθούν οι τιμές ανακλάσεων. Η διαφοροποίηση των περιοχών γίνεται με τη σήμανσή τους με διαφορετικό χρώμα. Πιο συγκεκριμένα, οι περιοχές που δεν συμπεριλαμβάνονται στα φασματικά δεδομένα (μέρος του τρυβλίου, περιφερειακός χώρος) χρωματίζονται κόκκινες ενώ οι περιοχές ROI πράσινες. Η επεξεργασία των τελικών απεικονίσεων με βάση της επισημάνσεις βασίζεται στην αρχή της κανονικής διακριτικής ανάλυσης (CDA) (Daugaard *et al.*, 2010).



Εικόνα 3.6: Επισήμανση περιοχών ROI με τη χρήση layers μέσω Videometer Lab 4.

Τα πλήρη δεδομένα που προκύπτουν από το λογισμικό περιλαμβάνουν τις τιμές ανακλάσεων σε 19 διαφορετικά μήκη κύματος για κάθε δείγμα, καθώς και τους μέσους όρους αυτών των τιμών, μαζί με τις αντίστοιχες 19 τυπικές αποκλίσεις των ανακλάσεων. Στη συνέχεια, αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη μοντέλων μηχανικής μάθησης με σκοπό την εξαγωγή προβλέψεων ή αναλύσεων.

4. Στατιστική Επεξεργασία & Ανάλυση Δεδομένων

Τα δεδομένα που προέκυψαν από την εφαρμογή της πολυφασματοσκοπικής ανάλυσης εικόνας, με τη βοήθεια του οργάνου Videometer Lab 4, αλλά και τα δεδομένα από τις φυσικοχημικές αναλύσεις, χρησιμοποιήθηκαν για τη μηχανική εκμάθηση του οργάνου με στόχο να μπορεί μελλοντικά από τις απεικονίσεις να προσδιοριστεί αν το τελικό προϊόν είναι συμμορφούμενο ή όχι. Δηλαδή, να μπορεί να εντοπίσει δυνητική αστοχία κατά τη θερμική επεξεργασία.

4.1. Μοντέλο για την εκτίμηση του χρόνου θερμικής καταστροφής (F value) των οξυγαλακτικών βακτηρίων και των θερμοφίλων σπορογόνων μικροοργανισμών, με τη μέθοδο μερικών ελαχίστων τετραγώνων (Partial Least Square Regression, PLS-R).

Για την εκτίμηση των τιμών F-value που επιτυγχάνονται κατά τη θερμική επεξεργασία των προϊόντων τομάτας, κατασκευάστηκαν μοντέλα βάσει της γραμμικής παλινδρόμησης με τη μέθοδο των μερικών ελαχίστων τετραγώνων (PLS-R). Η μέθοδος PLS-R, συσχετίζει δύο σύνολα δεδομένων X (ανεξάρτητη μεταβλητή) και Y (εξαρτημένη μεταβλητή) γραμμικώς, οδηγώντας σε ένα νέο σύνολο ανεξάρτητων (X -scores) και εξαρτημένων μεταβλητών (Y -scores), με ορθογώνια διάταξη (Panagou *et al.*, 2014). Επιπλέον, η PLS-R ορίζει έναν αριθμό κύριων συνιστωσών (Latent Variables, LVs) για αυτό το νέο χώρο που προκύπτει (Wold *et al.*, 2001). Σκοπός της μεθόδου είναι να εντοπίσει τις λανθάνουσες αυτές μεταβλητές (LVs), που περιγράφουν τη μέγιστη διασπορά των αρχικών δεδομένων (Wold *et al.*, 2001). Στοχεύοντας στο σαφή προσδιορισμό της πολυπλοκότητας του μοντέλου και προσπαθώντας να αποφευχθεί ο κίνδυνος του overfitting εξαιτίας του όγκου των ανεξάρτητων μεταβλητών X , η τεχνική PLS-R δίνει τη δυνατότητα εκπαίδευσης του μοντέλου, αλλά και πρόβλεψης της σημαντικότητας κάθε παράγοντα (Cross Validation, CV) (Wold *et al.*, 2001). Η διασταυρούμενη επικύρωση (CV), είναι μια τεχνική κατά την οποία ένα μέρος των δεδομένων χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση του μοντέλου, ενώ τα υπόλοιπα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του αλγορίθμου (Arlot & Celisse, 2010). Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιείται χωρίζοντας τα δεδομένα σε ομάδες και στη συνέχεια αναπτύσσοντας ταυτόχρονα μοντέλα από τα δεδομένα που έμειναν με μια από τις ομάδες που διαγράφηκαν, στοχεύοντας στην αύξηση της πιστότητας του μοντέλου (Wold *et al.*, 2001). Στη παρούσα μελέτη, ακριβώς επειδή τα δείγματα δεν επαρκούσαν για τη δημιουργία ενός σετ δεδομένων επικύρωσης, εφαρμόστηκε η μέθοδος που αναλύθηκε, Leave One Out (LOO). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί από ένα σύνολο δεδομένων n , τα $n-1$ με σκοπό να εκπαιδεύσει το μοντέλο και το 1 που μένει για την επικύρωση του μοντέλου (Arlot & Celisse, 2010).

Παρά το γεγονός ότι η εφαρμογή της μεθόδου PLS-R για το σύνολο των προϊόντων τομάτας οδήγησε σε ικανοποιητική ερμηνεία της συνολικής διακύμανσης, η κατηγοριοποίηση των προϊόντων κρίθηκε αναγκαία με στόχο την καλύτερη προσαρμογή των δεδομένων. Η κατηγοριοποίηση των προϊόντων βασίστηκε στα εξής: 1) στη θερμική επεξεργασία που υφίσταται το προϊόν (παστερίωση ή εμπορική αποστείρωση), 2) στις καταγραφόμενες από το σύστημα παρακολούθησης της εταιρίας, τιμές F-value ($0 < F < 3$ και $F > 3$) και 3) στο είδος του προϊόντος. Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα προϊόντα κατατάχθηκαν σε 4 κατηγορίες: Passata, Ketchup, Tomato Paste και Crushed tomatoes. Για τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό The Unscrambler©ver.10.5 (Camo Software AS, Norway) και κατασκευάστηκαν μοντέλα για τις προαναφερόμενες 4 κατηγορίες προϊόντων. Όσον αφορά στη δομή των μοντέλων, ως εξαρτημένη μεταβλητή (Y) ορίστηκε η τιμή F-value και ως ανεξάρτητες μεταβλητές (X) ορίστηκαν οι τιμές ιζώδους κατά Bostwick, οι βαθμοί Brix, το pH και οι 19 παρατηρήσεις από τις λήψεις από το Videometer (Reflectances, nm). Χρησιμοποιήθηκαν δηλαδή, 22 ανεξάρτητες μεταβλητές (X). Τα φασματικά δεδομένα που προέκυψαν από το όργανο Videometer, αποτελούνταν από 19 μέσες τιμές (Mean) και 19 αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις (SD) της έντασης σε pixels της κάθε παρατήρησης/μέτρησης. Τα δεδομένα των (n=19) φασμάτων που ορίστηκαν ως ανεξάρτητες μεταβλητές (X) εισήχθησαν στο μοντέλο αφού πρώτα μετατράπηκαν σε διορθωμένες τιμές Single Normal Variate (SNV) (Εξίσωση 1). Ο μετασχηματισμός τυπικής κανονικής διακύμανσης (SNV) χρησιμοποιήθηκε για τη μείωση της αλληλοεπικάλυψης πληροφοριών μεταξύ των φασμάτων και τελικά τη μείωση των θορυβωδών και περιττών πληροφοριών στα δεδομένα (Spyrelli *et al.*, 2022). Ακόμη, το σύνολο των δεδομένων που εισήχθησαν στο μοντέλο υποβλήθηκαν σε διαδικασία κανονικοποίησης (autoscale ή rangescale), ώστε να τεθούν σε μια κοινή κλίμακα και να εξισορροπιστούν οι διαφορές (Geladi & Kowalski, 1986).

$$\text{Εξίσωση 1: } S_i^{\text{SNV}} = \frac{S_i - \text{mean}(s)}{\text{stdev}(s)}$$

Όπου:

S_i^{SNV} : η πληροφορία του μετασχηματισμένου φάσματος

S_i : η πληροφορία του συγκεκριμένου φάσματος

$\text{mean}(s)$: ο μέσος όρος τιμών των ανακλάσεων του συνολικού φάσματος

$\text{stdev}(s)$: ο μέσος όρος των τυπικών αποκλίσεων του συνολικού φάσματος

4.2. Δοκιμή προσαρμογής δεδομένων με τη βοήθεια μηχανών διανυσματικής υποστήριξης (Supporting Vector Machines, SVM).

Οι μηχανές διανυσματικής υποστήριξης (SVM), είναι ένα αποτελεσματικό μοντέλο μηχανικής μάθησης για την επίλυση προβλημάτων ταξινόμησης και παλινδρόμησης (Lou & Xie, 2023). Το εργαλείο SVM έχει τη δυνατότητα να βελτιστοποιεί την προβλεπτική ακρίβεια, αποφεύγοντας ταυτόχρονα την υπερβολική προσαρμογή στα δεδομένα (Kaisar *et al.*, 2023). Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για την εισαγωγή των δεδομένων των ανακλάσεων στο μοντέλο SVM, προηγήθηκε η κανονικοποίηση των δεδομένων και ο μετασχηματισμός τυπικής κανονικής διακύμανσης (SNV). Η διαδικασία που ακολουθήθηκε συνοψίζεται στα εξής :

1. Συλλογή δεδομένων
2. Προεπεξεργασία δεδομένων: κανονικοποίηση (range-scaling), μετασχηματισμός SNV
3. Καθορισμός μοντέλου: Linear/Non-linear fitting
4. Εκπαίδευση μοντέλου
5. Εκτίμηση επίδοσης

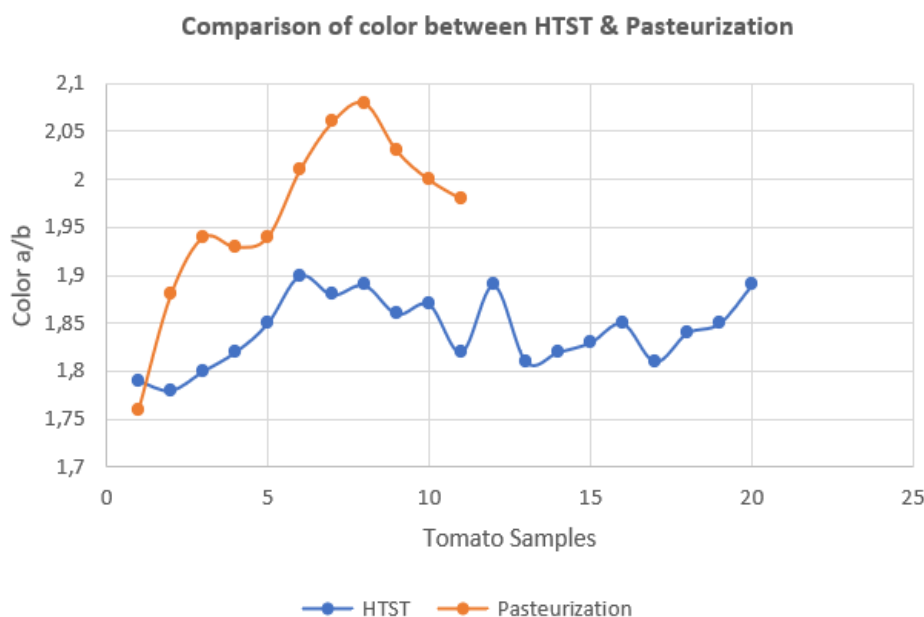
4.3. Αξιολόγηση Δεικτών

Για τα μοντέλα προσδιορισμού του χρόνου θερμικής καταστροφής (F-value) των οξυγαλακτικών βακτηρίων και των θερμοφίλων σπορογόνων μικροοργανισμών, λήφθηκαν υπόψιν η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος πρόβλεψης (RMSEP), καθώς και ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 (Panagou *et al.*, 2014), με στόχο την ερμηνεία των ελαχίστων σημαντικών components (LVs). Όσον αφορά στο δείκτη RMSEP (Root Mean Squared Error of Prediction), δηλαδή την ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος πρόβλεψης, αποτελεί ένα σημαντικό μέτρο αξιολόγησης της ακρίβειας των προβλέψεων (Leardi, 2000). Το RMSEP μετρά τη διαφορά μεταξύ των προβλεπόμενων τιμών από το μοντέλο και των πραγματικών τιμών, εκφράζοντας το σφάλμα πρόβλεψης με τη μορφή τυπικής απόκλισης (Leardi, 2000). Μια χαμηλή τιμή RMSEP, υποδηλώνει ότι το μοντέλο έχει υψηλή ακρίβεια και καλή ικανότητα γενίκευσης σε νέα δεδομένα (Arendse *et al.*, 2017). Ο συντελεστής προσδιορισμού (Coefficient of Determination), που συμβολίζεται ως R^2 , αποτελεί δείκτη στα πλαίσια της αξιολόγησης της προσαρμογής ενός στατιστικού μοντέλου. Στην ουσία μετρά το ποσοστό της διακύμανσης στις εξαρτώμενες μεταβλητές που εξηγείται από το μοντέλο (Arendse *et al.*, 2017). Στόχος είναι να μπορέσει το μοντέλο να εξάγει το μικρότερο αριθμό LVs, που οδηγούν σε μέγιστη τιμή R^2 και μικρότερη τιμή RMSEP (Arendse *et al.*, 2017).

5. Αποτελέσματα & Συζήτηση

5.1. Σύγκριση ποιοτικών παραμέτρων (χρώματος και ιξώδους) μεταξύ HTST επεξεργασίας και παστερίωσης στο προϊόν Τομάτες Τριμμένες (Crushed Tomatoes)

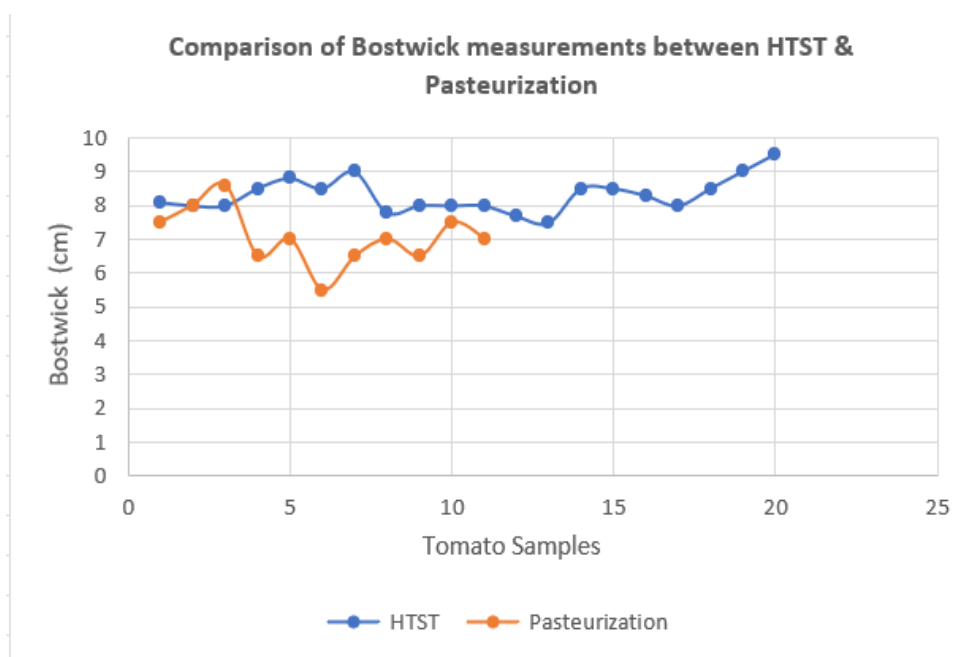
Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 5.1), είναι εμφανής η διαφορά μεταξύ χρώματος στο προϊόν που έχει υποστεί εμπορική αποστείρωση (HTST) και στο προϊόν που έχει υποστεί παστερίωση. Συγκεκριμένα, στο παρακάτω σχήμα φαίνεται πως τα δείγματα που έχουν υποστεί παστερίωση φτάνουν τιμές χρώματος a/b μέχρι και περίπου 2,10, ενώ τα δείγματα που έχουν υποστεί εμπορική αποστείρωση φτάνουν τιμές a/b έως 1,90. Αυτό συμβαίνει ακριβώς επειδή κατά την εμπορική αποστείρωση το προϊόν εκτίθεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες (>100°C), με αποτέλεσμα να υφίσταται εντονότερη οργανοληπτική υποβάθμιση σε σχέση με το προϊόν που έχει υποστεί παστερίωση (<100°C) (Awuah *et al.*, 2007). Η βασική αιτία αυτής της διαφοράς, είναι η υποβάθμιση της χρωστικής, που είναι πιο έντονη όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία επεξεργασίας (Al-Kafraway *et al.*, 2023).



Σχήμα 5.1: Συγκριτική απεικόνιση της διαφοράς χρώματος που παρατηρείται μεταξύ HTST και παστερίωσης.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5.2) αποτυπώνεται η διαφορά στις τιμές ιξώδους κατά Bostwick, μεταξύ προϊόντων που έχουν υποστεί HTST (εμπορική αποστείρωση) και παστερίωση. Όπως φαίνεται παρακάτω, τα προϊόντα που έχουν υποστεί εμπορική αποστείρωση (HTST), έχουν τιμές ιξώδους κατά Bostwick μεταξύ 8-10 cm, ενώ τα προϊόντα που έχουν υποστεί παστερίωση έχουν τιμές μεταξύ 6-8 cm. Η διαφορά αυτή οφείλεται τόσο στη διαφορετική επεξεργασία που

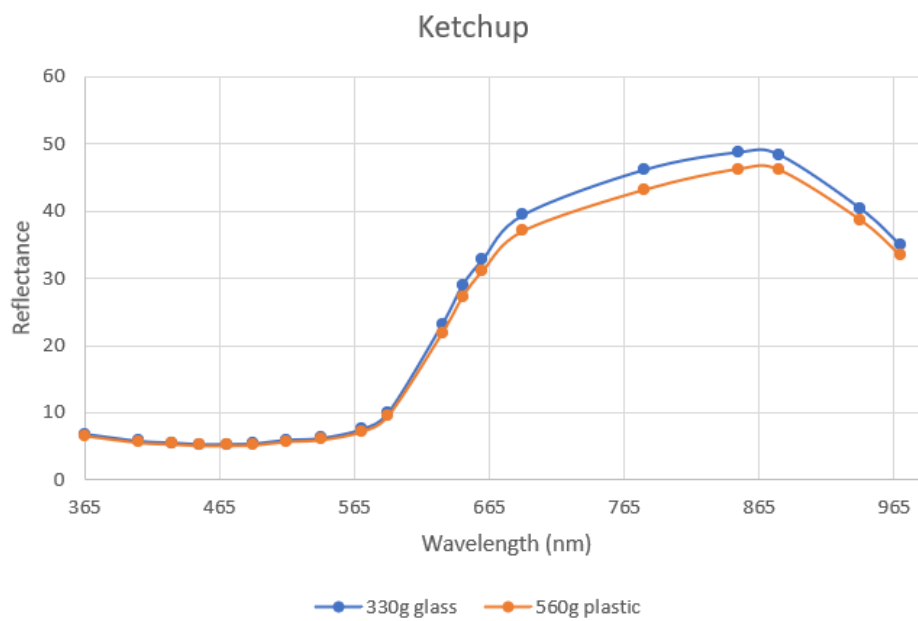
ακολουθείται σε κάθε περίπτωση, όσο και στη δράση των πηκτινολυτικών ενζύμων. Πιο συγκεκριμένα, το προϊόν που υφίσταται παστερίωση, οδηγείται στη συνέχεια σε τούνελ θέρμανσης για περίπου 45 min, με στόχο την επιμήκυνση του χρόνου θερμικής επεξεργασίας. Αντίθετα, οι τριμμένες τομάτες που υφίστανται εμπορική αποστείρωση, εκτίθενται σε θερμοκρασίες περίπου 121°C και για περίπου 3 min. Όσον αφορά στα πηκτινολυτικά ένζυμα (PME & PG), που επηρεάζουν τη δομική ακεραιότητα του προϊόντος (Andreou *et al.*, 2016), η αδρανοποίησή τους εξαρτάται από το χρόνο παραμονής σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες (Laratta *et al.*, 1995).



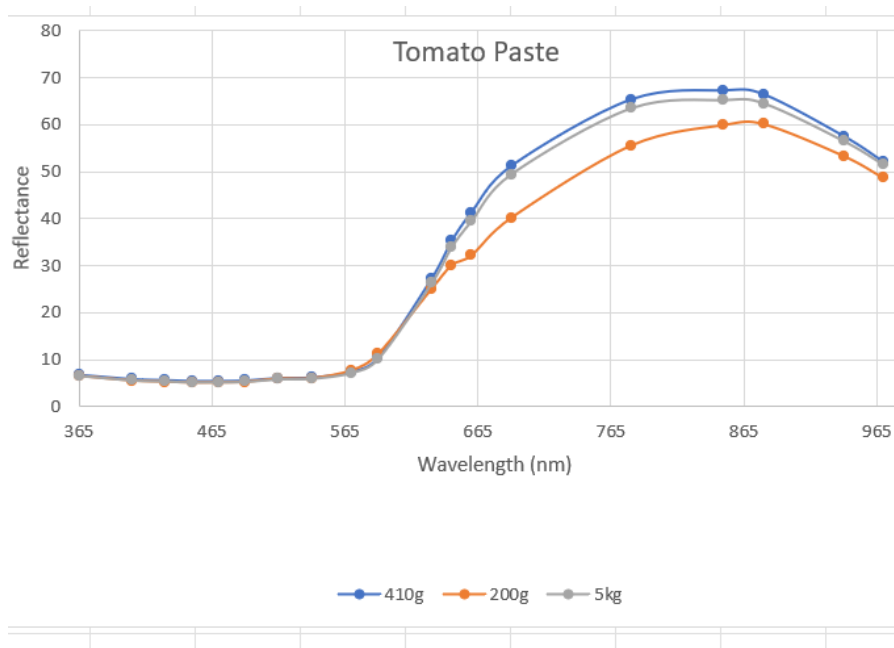
Σχήμα 5.2: Συγκριτική απεικόνιση της διαφοράς ιξώδους που παρατηρείται μεταξύ HTST και παστερίωσης.

5.2 Αποτελέσματα δεδομένων πολυφασματικής απεικόνισης

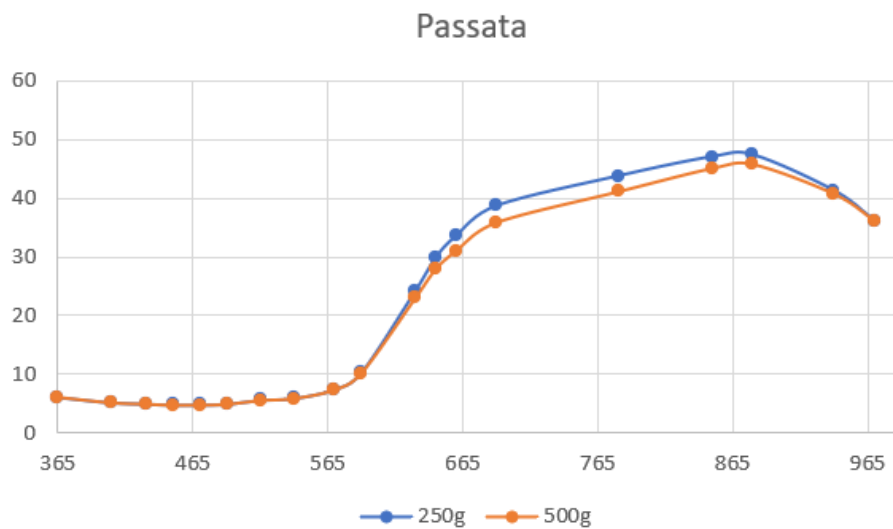
Στα παρακάτω διαγράμματα (Σχήματα 5.3-5.6), απεικονίζονται τα φάσματα στα 19 μήκη κύματος του Videometer Lab, δειγμάτων ketchup, tomato paste, passata και crushed tomatoes. Όπως φαίνεται, παρατηρούνται διαφοροποιήσεις από τα 630 nm και μετά. Οι διαφοροποιήσεις των ανακλάσεων στα 630, 645, 660, 690, 780, 850, 880, 940 και 970 nm, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οφείλονται στις μεταβολές που υφίστανται βασικές ουσίες των προϊόντων τομάτας, όπως είναι το λυκοπένιο και το β-καροτένιο, αλλά και σε διαφορές των ολικών διαλυτών στερεών και της περιεκτικότητας σε νερό (Popescu & Iordan, 2012).



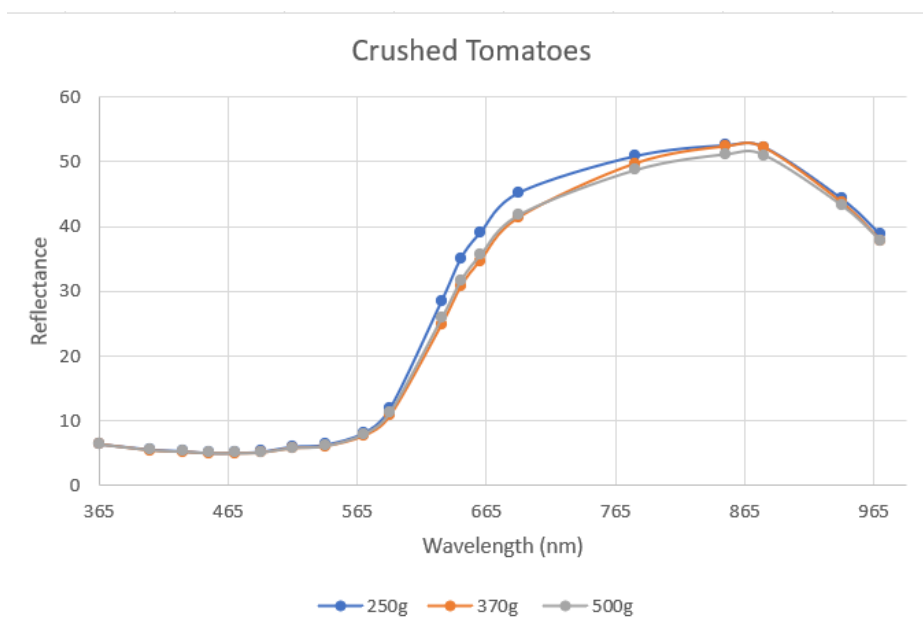
Σχήμα 5.3: Φάσματα δειγμάτων κέτσαπ.



Σχήμα 5.4: Φάσματα δειγμάτων τοματοπολτού διπλής συμπύκνωσης.



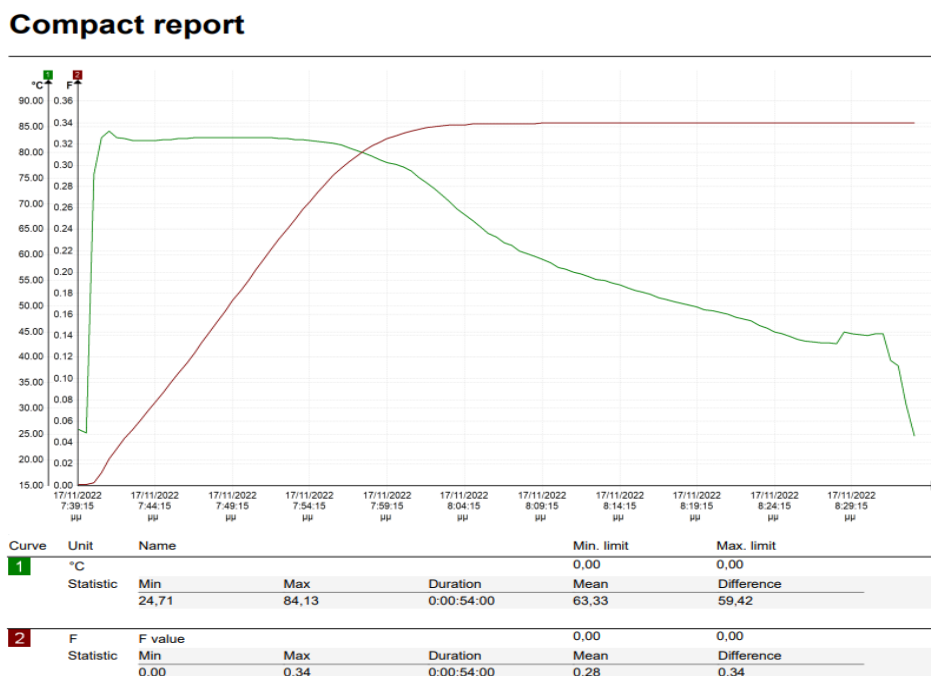
Σχήμα 5.5: Φάσματα δειγμάτων passata (ελαφρά συμπυκνωμένος τοματοχυμός).



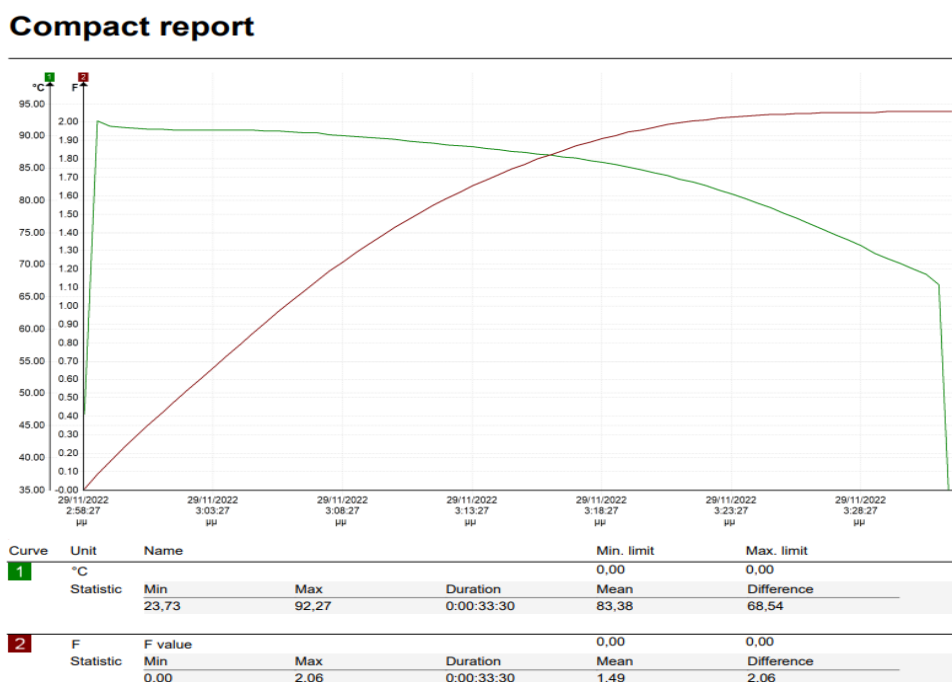
Σχήμα 5.6: Φάσματα δειγμάτων crushed tomatoes.

5.3 Υπολογισμός τιμής F-value με χρήση data logger και εφαρμογής Ebro

Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά διαγράμματα (F-curves) για κάθε κατηγορία προϊόντος, όπως προκύπτουν από τις χρόνο-θερμοκρασιακές καταγραφές με τη βοήθεια data logger και μέσω της εφαρμογής Ebro.



Σχήμα 5.7: F-curve, όπως προκύπτει από τις χρόνο-θερμοκρασιακές μετρήσεις σε δείγμα ketchup.

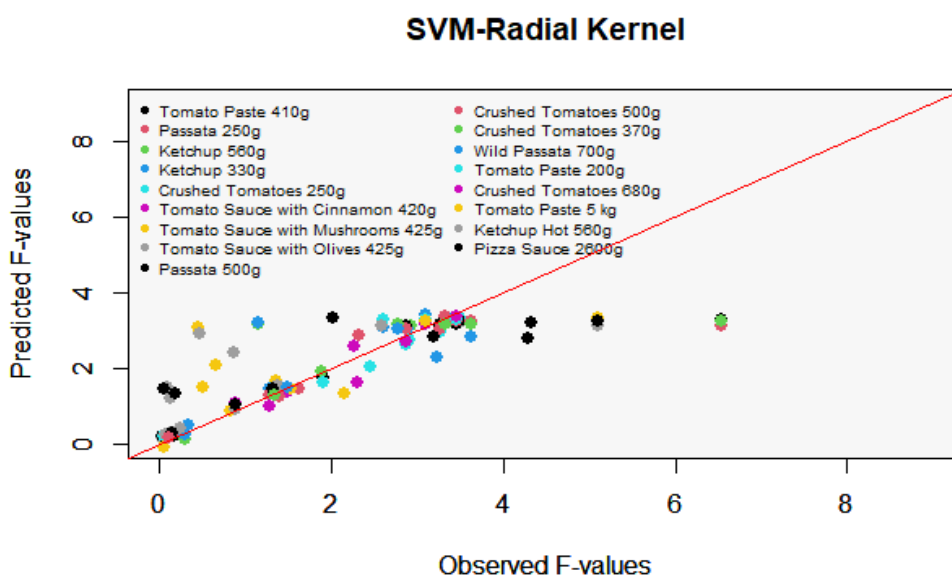


Σχήμα 5.8: F-curve, όπως προκύπτει από τις χρόνο-θερμοκρασιακές μετρήσεις σε δείγμα tomato paste.

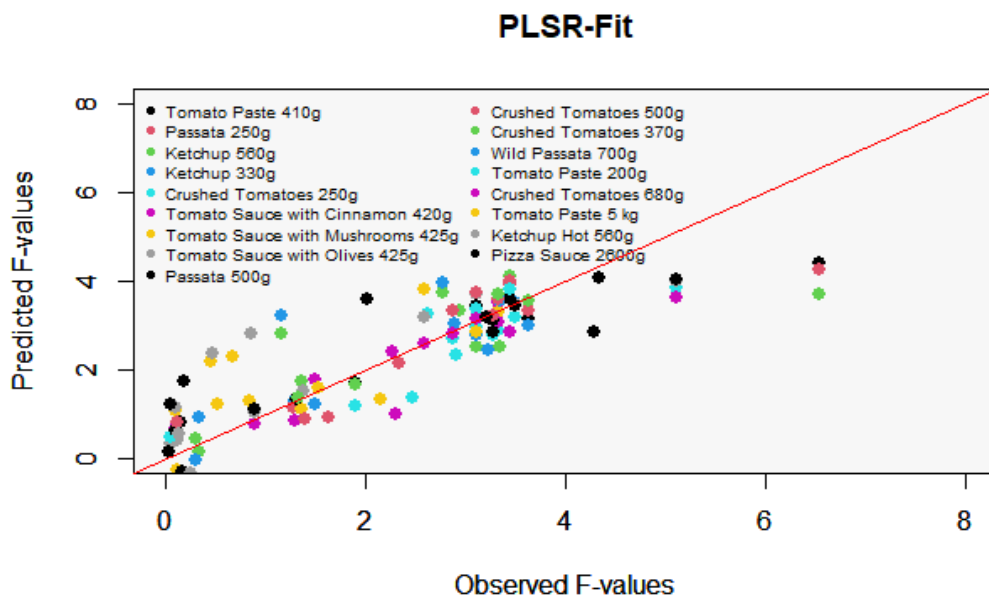
5.4 Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης με τη μέθοδο μερικών ελαχίστων τετραγώνων (Partial Least Square Regression, PLS-R)

Η ανάλυση των δεδομένων, οδήγησε σε έναν αριθμό κύριων συνιστωσών με ορθογώνια διάταξη (Latent Variables, LVs), για τον νέο χώρο που προέκυψε. Η πρώτη LV μεταφέρει το μεγαλύτερο όγκο πληροφοριών, ακολουθούμενη από τη δεύτερη λανθάνουσα συνιστώσα και ούτω καθεξής, επιτρέποντας έτσι την πρόβλεψη των Y εξαρτημένων μεταβλητών (Ballabio & Todeschini, 2009). Ο αριθμός των LVs που προέκυψε από την ανάλυση ήταν 10.

Μελετώντας συνολικά τα προϊόντα τομάτας, μετά από κανονικοποίηση (auto-scale/ range-scale) των τιμών, μετασχηματισμό SNV των δεδομένων των ανακλάσεων και εισαγωγή τους στο μοντέλο, προέκυψε μια καλή συσχέτιση με το 72,2% της συνολικής διακύμανσης να μπορεί να εξηγηθεί από το μοντέλο. Πιο συγκεκριμένα, οι ανεξάρτητες μεταβλητές ιξώδες κατά Bostwick, Brix, και pH, συνέβαλαν στο μεγαλύτερο ποσοστό, περίπου 65%, ενώ στο υπόλοιπο 9% συνέβαλαν τα δεδομένα των ανακλάσεων από το Videometer. Ωστόσο, ο μετασχηματισμός τυπικής κανονικής διακύμανσης SNV, δεν φάνηκε να βελτιώνει ιδιαίτερα την προσαρμογή των δεδομένων στο μοντέλο (global fitting). Ακόμη, κατά τη δοκιμή προσαρμογής του μοντέλου στα δεδομένα χρησιμοποιήθηκε τόσο η τεχνική PLS-R όσο και η τεχνική SVM. Τελικά, όπως φαίνεται και παρακάτω (Σχήματα 5.9-5.10), για το σύνολο των προϊόντων τομάτας, η επιλογή της μη γραμμικής SVM τεχνικής (Radial Kernel) οδηγεί σε καλύτερη προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα σε σχέση με την τεχνική PLS-R.



Σχήμα 5.9: Διάγραμμα συσχέτισης των προβλεπόμενων με τις παρατηρούμενες τιμές F-value, με τη μέθοδο SVM.



Σχήμα 5.10: Διάγραμμα συσχέτισης των προβλεπόμενων με τις παρατηρούμενες τιμές F-value, με τη μέθοδο PLS-R.

Πίνακας 5.1: Δείκτες καλής προσαρμογής μοντέλου για το σύνολο των προϊόντων τομάτας.

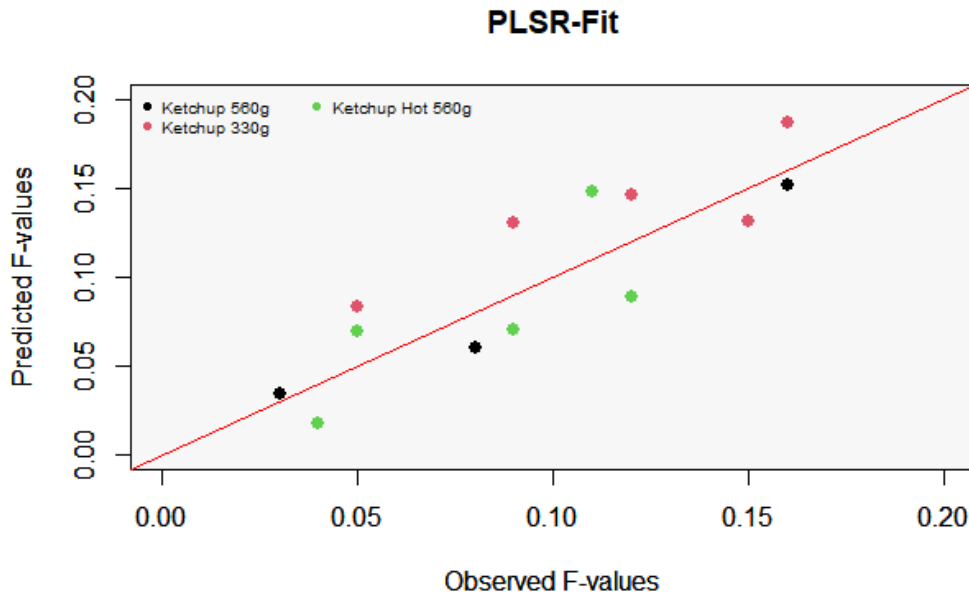
Components	RMSEP	R ²
1	1,282	35,38
2	0,9693	63,80
3	0,9761	65,56
4	0,9710	65,69
5	0,9707	65,75
6	0,9719	65,88
7	0,9733	66,13
8	0,9771	66,18
9	0,9720	67,06
10	0,9822	67,8
11	0,9873	68,19
12	0,9855	69,56
13	0,9945	70,08
14	0,9888	71,66
15	1,001	71,81
16	0,9824	72,18
17	0,9787	72,21
18	0,9877	72,23
19	0,9917	72,23
20	0,9948	72,23
21	0,9951	72,23
22	0,9951	72,23

Εν συνεχεία, προσπαθώντας να αυξηθεί το ποσοστό της διακύμανσης που εξηγείται από το μοντέλο και να υπάρξει μεγαλύτερη προβλεπτική ικανότητα, τα προϊόντα κατηγοριοποιήθηκαν σύμφωνα με τα κριτήρια που έχουν προαναφερθεί και προέκυψαν 4 κατηγορίες προϊόντων: Ketchup, Passata, Tomato Paste και Crushed Tomatoes. Για κάθε κατηγορία προϊόντων, χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο τεχνικές (PLS-R & SVM) με στόχο τον εντοπισμό του μοντέλου που οδηγεί σε καλύτερη συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών με την τιμή F-value. Ωστόσο, η SVM τεχνική δεν μπόρεσε να εφαρμοστεί με επιτυχία στα επιμέρους προϊόντα λόγω των μειωμένων βαθμών ελευθερίας.

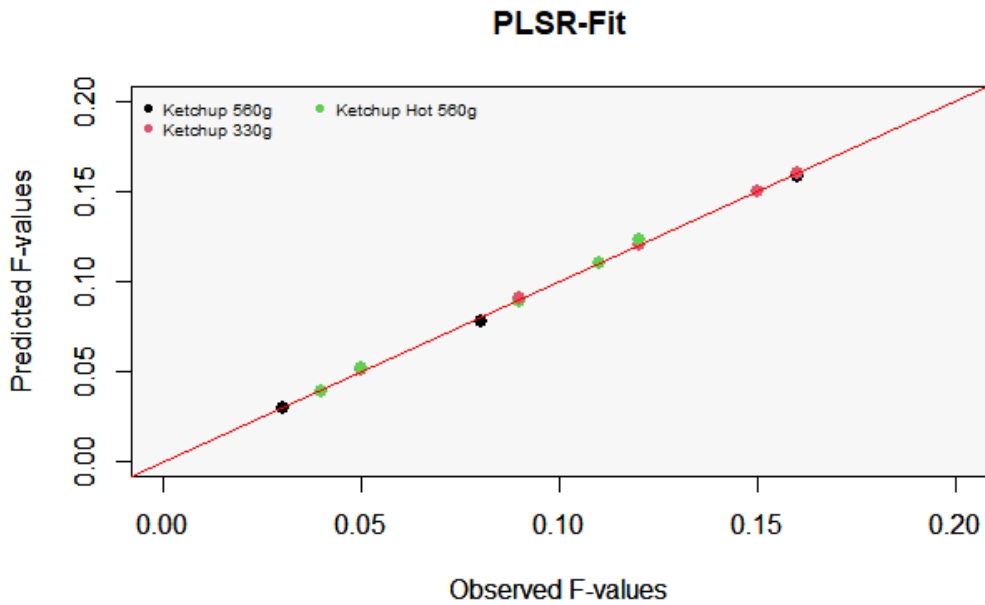
Ketchup

Για την αξιολόγηση του μοντέλου εκτίμησης του χρόνου θερμικής καταστροφής (F-value) των οξυγαλακτικών βακτηρίων και των θερμοφίλων σπορογόνων μικροοργανισμών, σε δείγματα σάλτσας κέτσαπ, με χρήση των δεδομένων που αποκτήθηκαν από την πολυφασματική απεικόνιση και των ποιοτικών δεδομένων, χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση τα αποτελέσματα από 18 δείγματα κέτσαπ και τα δεδομένα παρατίθενται στον Πίνακα 5.2. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι δείκτες απόδοσης του μοντέλου. Η μέση τετραγωνική ρίζα σφάλματος πρόβλεψης (Root Mean Squared Error of prediction) RMSEp ήταν 0,0711, όπου όσο πιο μικρές είναι οι τιμές, τόσο υψηλότερη είναι και η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου (Feng *et al.*, 2018). Επιπλέον, η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (Coefficient of Determination) R^2 έφτασε το 0,999, δείχνοντας ότι υπάρχει καλή προσαρμογή των δεδομένων στο μοντέλο αφού πλησιάζουν τη μονάδα, ενώ για την πρόβλεψη υποδεικνύουν την ύπαρξη γραμμικής σχέσης μεταξύ X και Y μεταβλητών (Karoui *et al.*, 2006). Μάλιστα, μόλις οι 8 πρώτες μεταβλητές (από τις 15 που εισήχθησαν στο μοντέλο) οδηγούν σε ερμηνεία περίπου του 91% της συνολικής διακύμανσης των μεταβλητών και με την μέγιστη προβλεπτική ικανότητα, ενώ το ποσοστό αυξάνεται φτάνοντας το 99% με τις 15 συνολικά ανεξάρτητες μεταβλητές. Ο κατάλληλος αριθμός λανθανουσών συνιστωσών (LVs) που προσδιορίζουν τη μέγιστη διακύμανση των δεδομένων και με την μέγιστη προβλεπτική ικανότητα ήταν 8.

Επιπλέον, η επίδοση του μοντέλου αναπαραστάθηκε γραφικά μέσω της κατασκευής της ευθείας παλινδρόμησης για τις τιμές F-value, παρουσιάζοντας την κατανομή των δεδομένων πρόβλεψης γύρω από την ευθεία $y=x$ (Σχήματα 5.11 & 5.12).



Σχήμα 5.11: Διάγραμμα συσχέτισης των προβλεπόμενων με τις παρατηρούμενες τιμές F-value για τα προϊόντα Ketchup, συμπεριλαμβάνοντας 9 ανεξάρτητες μεταβλητές.



Σχήμα 5.12: Διάγραμμα συσχέτισης των προβλεπόμενων με τις παρατηρούμενες τιμές F-value για τα προϊόντα Ketchup, συμπεριλαμβάνοντας 15 ανεξάρτητες μεταβλητές.

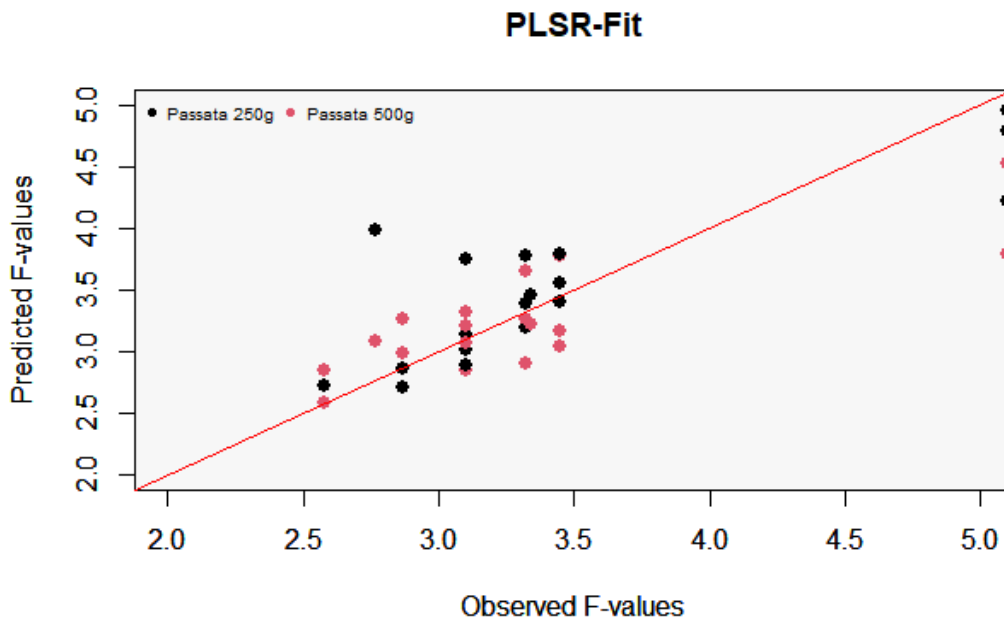
Πίνακας 5.2: Δείκτες καλής προσαρμογής μοντέλου για τα προϊόντα κατηγορίας ketchup.

Components	RMSEP	R ²
1	0,1063	8,257
2	0,09632	46,45
3	0,09612	64,92
4	0,09495	70,78
5	0,00931	73,26
6	0,08968	74,30
7	0,07330	84,05
8	0,07113	91,34
9	0,07926	93,57
10	0,08847	96,02
11	0,08784	98,38
12	0,07918	99,23
13	0,07587	99,51
14	0,07571	99,8
15	0,07382	99,98

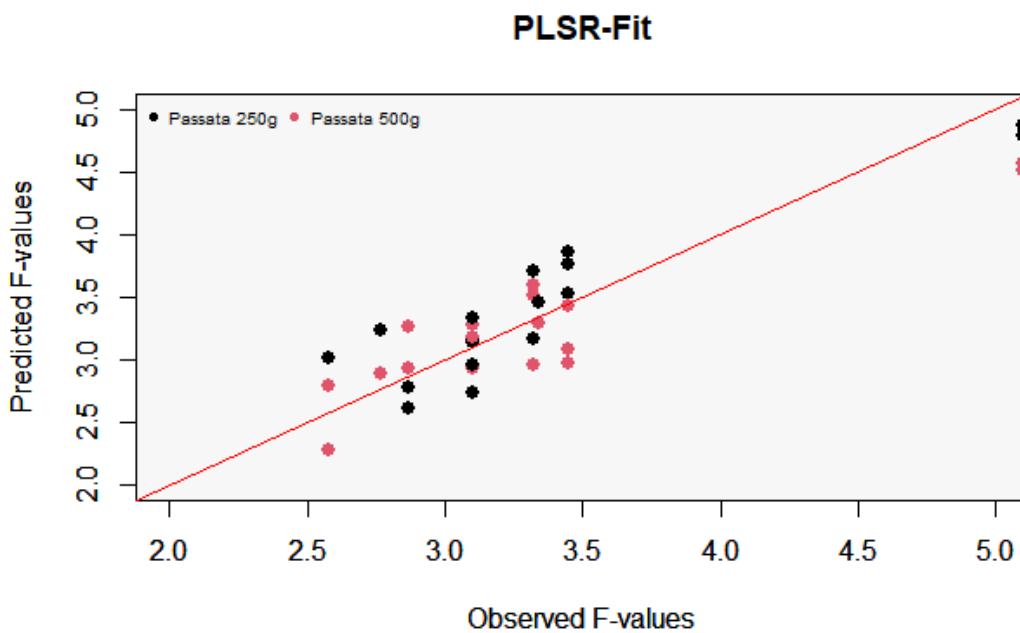
Passata

Για την αξιολόγηση του μοντέλου εκτίμησης του χρόνου θερμικής καταστροφής (F-value) των οξυγαλακτικών βακτηρίων και των θερμόφιλων σπορογόνων μικροοργανισμών, σε 38 δείγματα ελαφρώς συμπυκνωμένου χυμού τομάτας (Passata), με χρήση των δεδομένων που αποκτήθηκαν από την πολυφασματική απεικόνιση και των ποιοτικών αναλύσεων, τα δεδομένα παρατίθενται στον Πίνακα 5.3. Η μέση τετραγωνική ρίζα σφάλματος πρόβλεψης (Root Mean Squared Error of prediction) RMSEp ήταν 0,555. Ακόμη, η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (Coefficient of Determination) R² ήταν 0,863 όταν εισάγονται στο μοντέλο και οι 22 ανεξάρτητες μεταβλητές. Ο κατάλληλος αριθμός λανθανουσών συνιστωσών (LVs) που προσδιορίζουν τη μέγιστη διακύμανση των δεδομένων και με την μέγιστη προβλεπτική ικανότητα (PMSEp=0,555) ήταν 9.

Επιπλέον, η επίδοση του μοντέλου αναπαραστάθηκε γραφικά μέσω της κατασκευής της ευθείας παλινδρόμησης για τις τιμές F-value, παρουσιάζοντας την κατανομή των δεδομένων πρόβλεψης γύρω από την ευθεία $y=x$ (Σχήματα 5.13 & 5.14).



Σχήμα 5.13: Διάγραμμα συσχέτισης των προβλεπόμενων με τις παρατηρούμενες τιμές F-value για τα προϊόντα Passata, συμπεριλαμβάνοντας 10 ανεξάρτητες μεταβλητές.



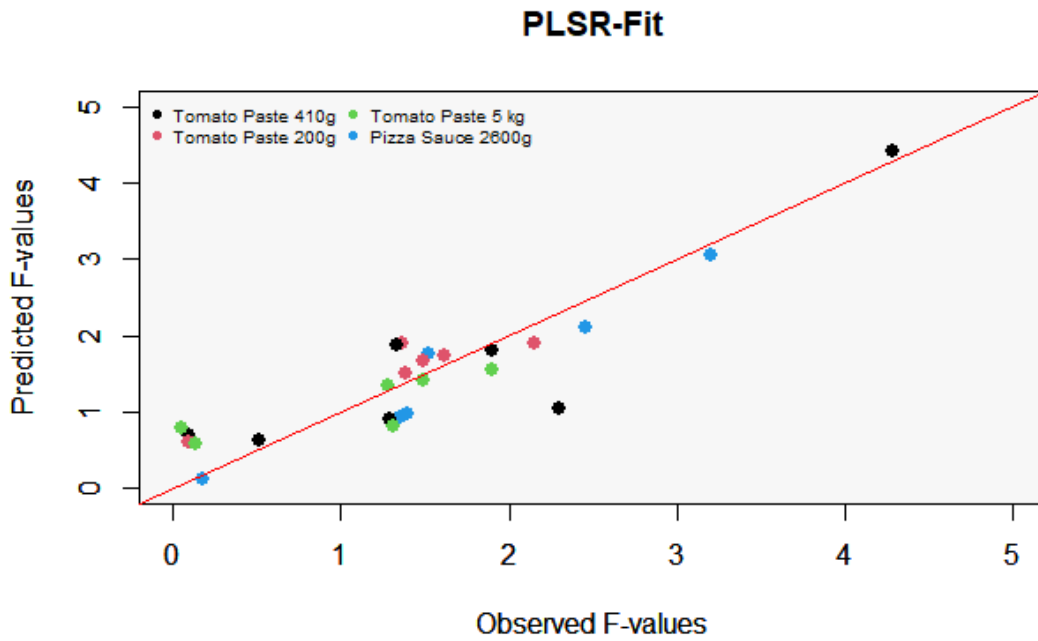
Σχήμα 5.14: Διάγραμμα συσχέτισης των προβλεπόμενων με τις παρατηρούμενες τιμές F-value για τα προϊόντα Passata, συμπεριλαμβάνοντας 22 ανεξάρτητες μεταβλητές

Πίνακας 5.3: Δείκτες καλής προσαρμογής μοντέλου για τα προϊόντα κατηγορίας passata.

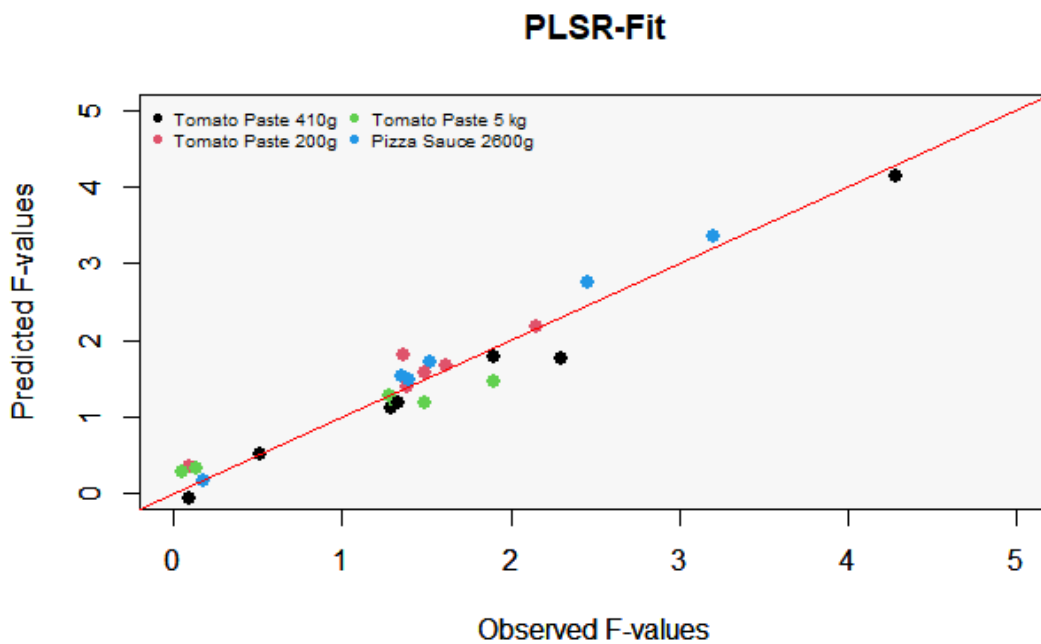
Components	RMSEP	R ²
1	0,7764	7,838
2	0,7530	28,74
3	0,7071	31,98
4	0,7003	36,19
5	0,7036	39,79
6	0,6609	48,71
7	0,6354	52,85
8	0,5465	66,14
9	0,5550	68,89
10	0,5567	70,6
11	0,5742	77,23
12	0,5711	80,92
13	0,5900	83,63
14	0,5891	84,04
15	0,5880	85,46
16	0,6409	85,9
17	0,6584	86,27
18	0,6894	86,29
19	0,7028	86,3
20	0,7058	86,3
21	0,7071	86,3
22	0,7071	86,3

Tomato Paste

Για την αξιολόγηση του μοντέλου εκτίμησης του χρόνου θερμικής καταστροφής (F-value) των οξυγαλακτικών βακτηρίων και των θερμόφιλων σπορογόνων μικροοργανισμών, σε 25 δείγματα τοματοπολτού διπλής συμπύκνωσης 28-30% (Tomato Paste), με χρήση των δεδομένων που αποκτήθηκαν από την πολυφασματική απεικόνιση και των ποιοτικών αναλύσεων, τα δεδομένα παρατίθενται στον Πίνακα 5.4. Η μέση τετραγωνική ρίζα σφάλματος πρόβλεψης (Root Mean Squared Error of prediction) RMSEP ήταν 0,920, με το μοντέλο να παρουσιάζει μέγιστη προβλεπτική ικανότητα και μέγιστη ερμηνεία της συνολικής διακύμανσης των X και Y, με τις 7 πρώτες συνιστώσες. Τελικά, το 94,66% της συνολικής διακύμανσης των μεταβλητών μπορεί να ερμηνευτεί από το μοντέλο. Η επίδοση του μοντέλου αναπαραστάθηκε γραφικά μέσω της κατασκευής της ευθείας παλινδρόμησης για τις τιμές F-value, παρουσιάζοντας την κατανομή των δεδομένων πρόβλεψης γύρω από την ευθεία $y=x$ (Σχήματα 5.15&5.16).



Σχήμα 5.15: Διάγραμμα συσχέτισης των προβλεπόμενων με τις παρατηρούμενες τιμές F-value για τα προϊόντα Tomato Paste, συμπεριλαμβάνοντας 8 ανεξάρτητες μεταβλητές.



Σχήμα 5.16: Διάγραμμα συσχέτισης των προβλεπόμενων με τις παρατηρούμενες τιμές F-value για τα προϊόντα Tomato Paste, συμπεριλαμβάνοντας 21 ανεξάρτητες μεταβλητές

Πίνακας 5.4: Δείκτες καλής προσαρμογής μοντέλου για τα προϊόντα κατηγορίας tomato paste.

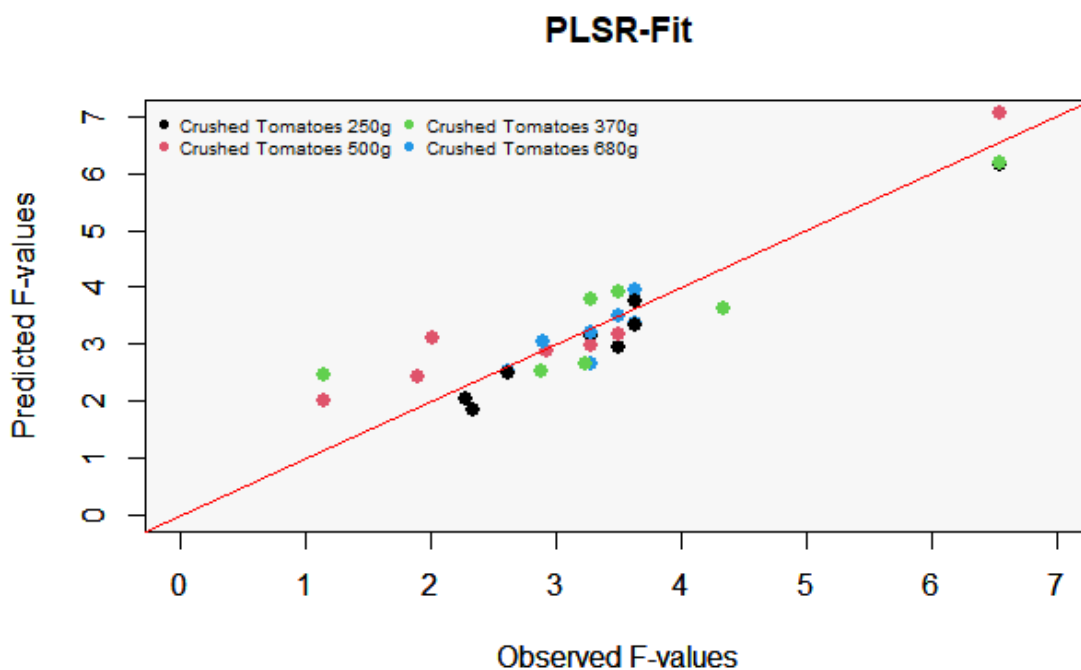
Components	RMSEP	R ²
1	1,194	11,72
2	0,9630	53,99
3	0,7406	62,40
4	0,6998	63,02
5	0,7704	63,82
6	0,8091	64,98
7	0,9204	67,04
8	1,210	68,29
9	1,595	77,22
10	2,117	79,83
11	3,839	81,09
12	5,100	82,28
13	4,805	86,58
14	6,611	89,19
15	6,513	90,26
16	6,578	91,47
17	5,245	92,02
18	7,306	93,37
19	7,650	94,58
20	9,180	94,65
21	10,38	94,66

Crushed Tomatoes

Για την αξιολόγηση του μοντέλου εκτίμησης του χρόνου θερμικής καταστροφής (F-value) των οξυγαλακτικών βακτηρίων και των θερμόφιλων σπορογόνων μικροοργανισμών, σε 29 δείγματα τριμμένης τομάτας (Crushed Tomatoes), με χρήση των δεδομένων που αποκτήθηκαν από την πολυφασματική απεικόνιση και των δεδομένων ποιοτικής ανάλυσης, τα δεδομένα παρατίθενται στον Πίνακα 5.5. Η ανάλυση οδήγησε σε 88% ερμηνεία της συνολικής διακύμανσης των X και Y, με τις 8 πρώτες συνιστώσες να αποδίδουν την μέγιστη προβλεπτική ικανότητα (RMSEP= 1,005).

Ωστόσο, για τη συγκεκριμένη κατηγορία προϊόντων χρειάζονται παραπάνω δείγματα προκειμένου να οδηγηθούμε σε μια καλύτερη συσχέτιση των προβλεπόμενων με τις παρατηρούμενες τιμές F-value.

Η επίδοση του μοντέλου αναπαραστάθηκε γραφικά μέσω της κατασκευής της ευθείας παλινδρόμησης για τις τιμές F-value, παρουσιάζοντας την κατανομή των δεδομένων πρόβλεψης γύρω από την ευθεία $y=x$ (Σχήμα 5.17).

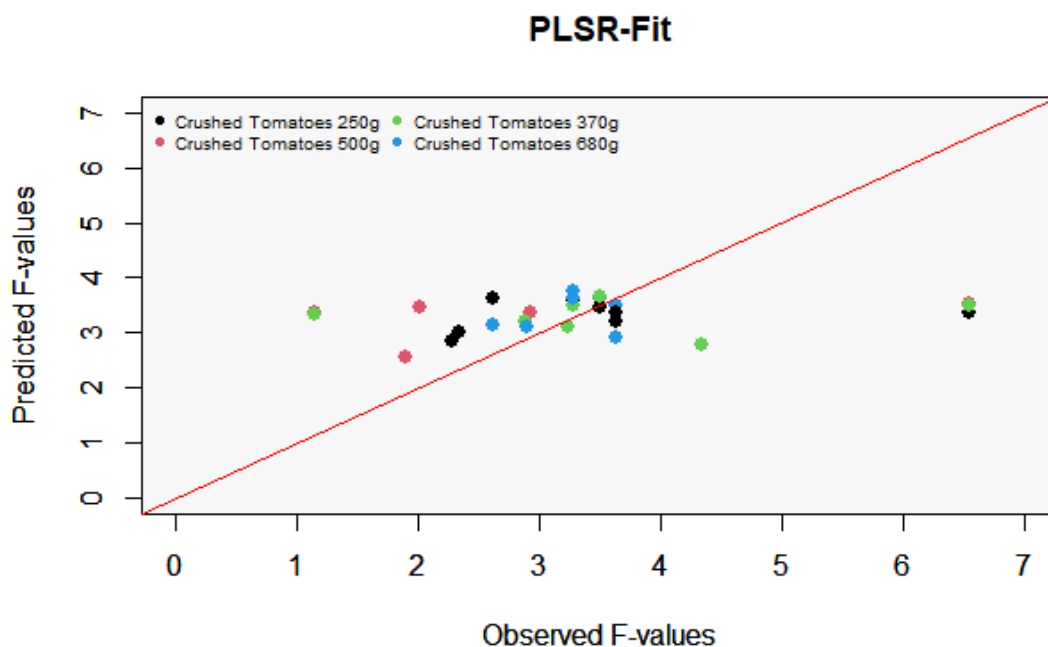


Σχήμα 5.17: Διάγραμμα συσχέτισης των προβλεπόμενων με τις παρατηρούμενες τιμές F-value, για τα προϊόντα της κατηγορίας Crushed Tomatoes, συμπεριλαμβάνοντας 11 ανεξάρτητες μεταβλητές.

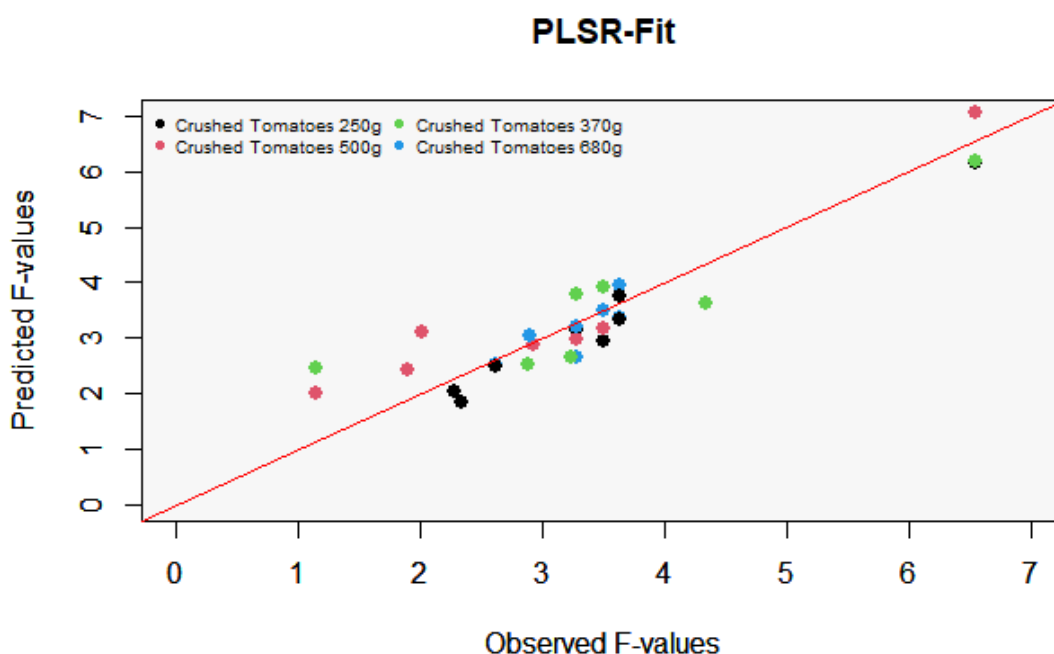
Πίνακας 5.5: Δείκτες καλής προσαρμογής μοντέλου για τα προϊόντα κατηγορίας crushed tomatoes.

Components	RMSEP	R ²
1	1,328	11,57
2	1,234	26,27
3	1,236	42,62
4	1,315	45,85
5	1,258	46,97
6	1,268	57,26
7	1,183	62,24
8	1,005	70,70
9	1,022	78,84
10	1,129	81,37
11	1,111	85,09
12	1,230	85,79
13	1,497	86,61
14	1,526	87,1
15	1,582	87,32
16	1,576	87,79
17	1,761	87,85
18	1,868	88,06
19	1,981	88,33
20	2,089	88,5
21	2,496	88,52
22	2,496	88,52

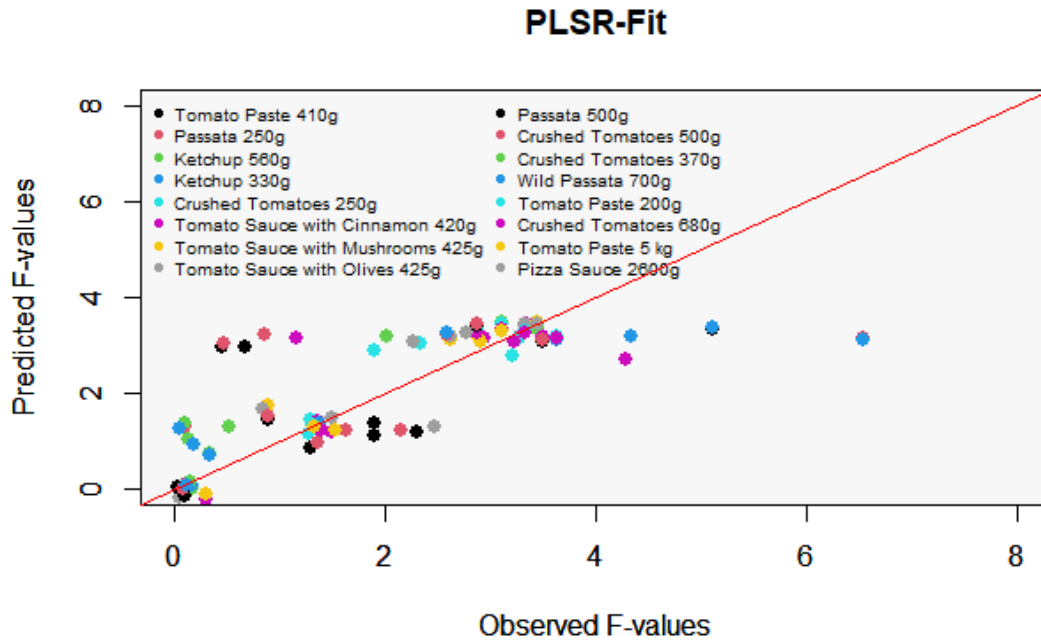
Επιπλέον, στη συγκεκριμένη κατηγορία προϊόντων (Crushed Tomatoes), επιχειρήθηκε η χρήση ως ανεξάρτητων μεταβλητών μόνο των τιμών ιξώδους κατά Bostwick, βαθμών brix και pH, με σκοπό την σύγκριση των αποτελεσμάτων με την περίπτωση που εισάγονται στο μοντέλο και τα πολυφασματικά δεδομένα. (Σχήματα 5.18&5.19). Το ίδιο επιχειρήθηκε και για το σύνολο των προϊόντων, όπως φαίνεται παρακάτω (Σχήματα 5.20 &5.21).



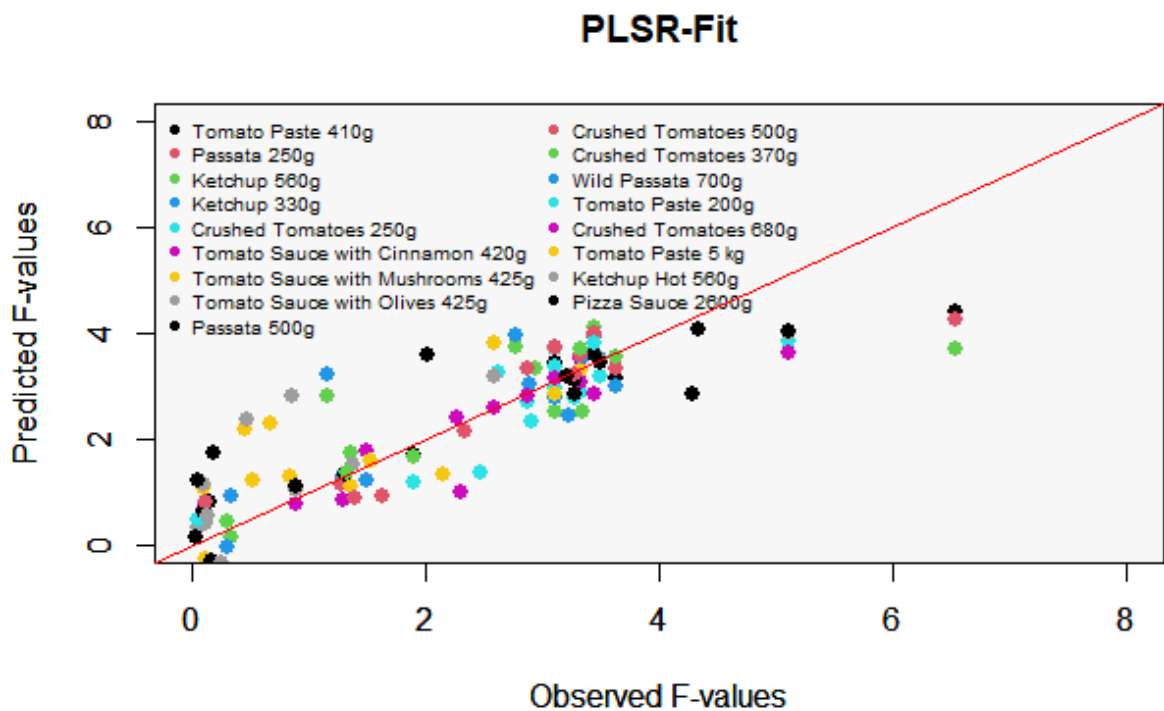
Σχήμα 5.18: Διάγραμμα συσχέτισης των προβλεπόμενων με τις παρατηρούμενες τιμές F-value, για τα προϊόντα της κατηγορίας Crushed Tomatoes, χωρίς τα πολυφασματικά δεδομένα.



Σχήμα 5.19: Διάγραμμα συσχέτισης των προβλεπόμενων με τις παρατηρούμενες τιμές F-value, για τα προϊόντα της κατηγορίας Crushed Tomatoes, συμπεριλαμβάνοντας τα πολυφασματικά δεδομένα.



Σχήμα 5.20: Διάγραμμα συσχέτισης των προβλεπόμενων με τις παρατηρούμενες τιμές F-value, για το σύνολο των προϊόντων, χωρίς τα πολυφασματικά δεδομένα



Σχήμα 5.21: Διάγραμμα συσχέτισης των προβλεπόμενων με τις παρατηρούμενες τιμές F-value, για το σύνολο των προϊόντων, συμπεριλαμβάνοντας τα πολυφασματικά δεδομένα.

Πίνακας 5.6: Συγκεντρικά στοιχεία της παλινδρόμησης για την τιμή F-value με τη μέθοδο μερικών ελαχίστων τετραγώνων (PLS-R) για τα προϊόντα τομάτας.

Προϊόν	Εφαρμογή Πρόβλεψης	Εύρος μήκους κύματος (nm)	Αλγόριθμος	Πλήθος Δειγμάτων (N)	LVs	RMSEP	R ²	SNV
Ketchup	F-value	365-970	PLS-R	18	8	0,0711	0,999	✓
Tomato Paste	F-value	365-970	PLS-R	25	7	0,9204	0,9466	-
Passata	F-value	365-970	PLS-R	38	9	0,5550	0,8630	-
Crushed Tomatoes (low F-value)	F-value	365-970	PLS-R	20			0,999	✓
Crushed Tomatoes (all data)	F-value	365-970	PLS-R	29	8	1,005	0,8852	✓
Global Fitting	F-value	365-970	PLS-R	118	10	0,9822	0,7223	✓

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω, η συνεισφορά των πολυφασματικών δεδομένων είναι ιδιαίτερα σημαντική τόσο για τον αλγόριθμο που αφορά στο σύνολο των προϊόντων τομάτας (global fitting), όσο και για τους αλγόριθμους που κατασκευάστηκαν για τις επιμέρους κατηγορίες προϊόντων (product specific fitting), καθώς δεν αρκούν μόνο οι ποιοτικοί παράμετροι ιξώδες κατά Bostwick, βαθμοί Brix και pH για την ερμηνεία της συνολικής διακύμανσης των τιμών F-value που προκύπτουν κατά τη θερμική επεξεργασία.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης αποτελούν μια πρώτη προσπάθεια συσχέτισης των δεδομένων πολυφασματικής απεικόνισης με το χρόνο θερμικής καταστροφής (F-value) των οξυγαλακτικών βακτηρίων και των θερμόφιλων σπορογόνων μικροοργανισμών, για προϊόντα τομάτας. Μετά από βιβλιογραφική αναζήτηση, δεν βρέθηκε κάποια αντίστοιχη εργασία που να επικεντρώνεται σε αυτή τη συσχέτιση για κονσερβοποιημένα προϊόντα τομάτας και να οδηγεί σε συμπεράσματα για την ορθότητα της υφιστάμενης θερμικής επεξεργασίας. Ωστόσο, υπάρχει πληθώρα εργασιών που αναδεικνύουν τη συνεισφορά της πολυφασματικής ανάλυσης εικόνας στην επιστήμη των τροφίμων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εργασία των Liu & Huang (2023) που πραγματεύεται τη συμβολή της πολυφασματικής απεικόνισης τόσο στον έλεγχο ποιότητας των τροφίμων, όσο και στην ασφάλεια. Συγκεκριμένα, στην παραπάνω εργασία δίνονται παραδείγματα για τη χρήση της πολυφασματικής ανάλυσης εικόνας σε φρούτα και λαχανικά, με σκοπό την ανίχνευση της ωριμότητάς τους, καθώς και την ανίχνευση

υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων και χημικών. Μάλιστα, η ιδιαίτερη ανάγκη για εκσυγχρονισμό και αμεσότητα των διαδικασιών ελέγχου σε προϊόντα τομάτας αντικατοπτρίζεται και από την εργασία του Su (2021), που αναδεικνύει την ανάγκη για ποιοτική και μικροβιολογικά σταθερή πρώτη ύλη με στόχο την παραγωγή ασφαλών τροφίμων. Ακόμη, μια ενδιαφέρουσα εργασία είναι και αυτή των Manthou *et al.* (2022), που συγκρίνει αισθητήρες και μεθόδους μηχανικής μάθησης για την αξιολόγηση της μικροβιακής αλλοίωσης σε φυλλώδη λαχανικά.

6. Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, διαπιστώθηκε ότι είναι εφικτή η συσχέτιση των ποιοτικών παραμέτρων και των πολυφασματικών δεδομένων των τελικών προϊόντων τομάτας με την εκτίμηση του χρόνου θερμικής καταστροφής (F-value) των οξυγαλακτικών βακτηρίων και των θερμοφίλων σπορογόνων μικροοργανισμών, που μπορούν δυνητικά να εντοπιστούν σε αυτά τα προϊόντα. Πιο αναλυτικά, φάνηκε ότι οι τιμές F-value των επεξεργασμένων προϊόντων τομάτας μπορούν να προβλεφθούν με αξιοπιστία με βάση τις μετρήσεις ιξώδους κατά Bostwick, τους βαθμούς Brix, το pH και τις 19 ανακλάσεις από το Videometer, χρησιμοποιώντας μοντέλα PLS-R και SVM τόσο για το σύνολο των προϊόντων όσο και για κάθε κατηγορία προϊόντος ξεχωριστά. Μάλιστα, για το σύνολο των προϊόντων, η χρήση Μηχανών Υποστήριξης Διανυσμάτων (Supporting Vector Machines, SVMs), οδηγεί σε καλύτερη προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα σε σχέση με τη μέθοδο μερικών ελαχίστων τετραγώνων (Partial Least Squares Regression, PLS-R). Ωστόσο, αναφορικά με τις επιμέρους κατηγορίες προϊόντων, η εφαρμογή του εργαλείου SVM δεν ήταν ικανοποιητική, λόγω μειωμένων βαθμών ελευθερίας. Αν και η απόδοση του PLS-R για το σύνολο των προϊόντων ήταν αποδεκτή ($R^2 \sim 73\%$), τα κριτήρια καλής προσαρμογής υποδείκνυαν ότι ήταν πιο αξιόπιστη η κατηγοριοποίηση των προϊόντων και η εφαρμογή αλγορίθμων για κάθε κατηγορία ξεχωριστά.

Όσον αφορά στον μετασχηματισμό τυπικής κανονικής διακύμανσης SNV (Standard Normal Variate) δεν φάνηκε να βελτιώνει σημαντικά την προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα. Η απόδοση (αξιοπιστία) των μοντέλων για κάθε κατηγορία προϊόντων ήταν σύμφωνα με την παρακάτω φθίνουσα σειρά: Ketchup \geq Tomato Paste (& Pizza Sauce) $>$ Crushed Tomatoes $>>$ Passata.

Τελικά, παρά το γεγονός ότι τα μοντέλα εκτίμησης της τιμής F-value οδήγησαν σε καλή επίδοση, η συλλογή περισσότερων δεδομένων δύναται να συμβάλει στη βελτίωση της ακρίβειας της εκτίμησης των τιμών F-value που προκύπτουν κατά τη θερμική επεξεργασία των προϊόντων τομάτας και τον εντοπισμό πιθανών αστοχιών.

Εν κατακλείδι, τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο πλαίσιο του HACCP, για έλεγχο της θερμικής επεξεργασίας των προϊόντων τομάτας, ως ένα γρήγορο, μη επεμβατικό και βασισμένο στο τελικό προϊόν, εργαλείο αξιολόγησης της υφιστάμενης θερμικής επεξεργασίας και εντοπισμού περιπτώσεων πιθανής αστοχίας. Στην τελευταία περίπτωση, χρειάζεται να γίνει επικύρωση της πραγματικής τιμής F-value με την τιμή F-value που προκύπτει από τις χρόνο-θερμοκρασιακές καταγραφές που πραγματοποιούνται σε πραγματικό χρόνο, πριν ληφθεί οποιαδήποτε διορθωτική ενέργεια.

7. Βιβλιογραφία

- A. Shatta, Youssef, K., Sanabani, A. and Salah (2017). Impact of Processing Steps on Physicochemical and Rheological Properties of Tomato Paste (Cold-Break). *MOJ Food Processing & Technology*, [online] 5(2). doi:<https://doi.org/10.15406/mojfpt.2017.05.00122>.
- Abadías, M., Colás-Medà, P., Viñas, I., Bobo, G. and Aguiló-Aguayo, I. (2021). Application of an innovative water-assisted ultraviolet C light technology for the inactivation of microorganisms in tomato processing industries. *Food Microbiology*, [online] 94, pp.103631–103631. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103631>.
- Al-Kafrawy, A.A., El-Razik Heikal, Y.A., S Ashoush, I. and Mahdy , S.M. (2022). EFFECT OF PROCESSING ON THE CHARACTERIZATION OF HOT-BREAK TRIPLE-CONCENTRATED TOMATO PASTE. *Egyptian Journal of Chemistry*, [online] 66(4), pp.245–252. doi:<https://doi.org/10.21608/ejchem.2022.144780.6339>.
- Andreou, V., Dimopoulos, G., Katsaros, G. and Taoukis, P. (2016). Comparison of the application of high pressure and pulsed electric fields technologies on the selective inactivation of endogenous enzymes in tomato products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, [online] 38, pp.349–355. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.07.026>.
- Anthon, G.E., Diaz, J. and Barrett, D.M. (2008). Changes in Pectins and Product Consistency during the Concentration of Tomato Juice to Paste. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, [online] 56(16), pp.7100–7105. doi:<https://doi.org/10.1021/jf8008525>.
- Arballo, J., Amengual, J. and Erdman, J.W. (2021). Lycopene: A Critical Review of Digestion, Absorption, Metabolism, and Excretion. *Antioxidants*, [online] 10(3), pp.342–342. doi:<https://doi.org/10.3390/antiox10030342>.
- Arendse, E., Fawole, O.A., Magwaza, L.S., Nieuwoudt, H. and Opara, U.L. (2017). Development of calibration models for the evaluation of pomegranate aril quality by Fourier-transform near infrared spectroscopy combined with chemometrics. *Biosystems Engineering*, [online] 159, pp.22–32. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.04.004>.
- Arlot, S. and Célisse, A. (2010). A survey of cross-validation procedures for model selection. *Statistics Surveys*, [online] 4. doi:<https://doi.org/10.1214/09-ss054>.
- Arvaniti, M. and Skandamis, P.N. (2022). Defining bacterial heterogeneity and dormancy with the parallel use of single-cell and population level approaches. *Current Opinion in Food Science*, 44, p.100808. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100808>.
- Awuah, G.B., Ramaswamy, H.S. and Economides, A. (2007). Thermal processing and quality: Principles and overview. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, [online] 46(6), pp.584–602. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.08.004>.
- Ballabio, D. and Todeschini, R. (2009). Multivariate Classification for Qualitative Analysis. *Elsevier eBooks*, [online] pp.83–104. doi:<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374136-3.00004-3>.
- Barrett, D.M., Fernandez, E. and Ellen, J. (1998). Textural Modification of Processing Tomatoes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, [online] 38(3), pp.173–258. doi:<https://doi.org/10.1080/10408699891274192>.

- Basaran, A., Yılmaz, T. and Çivi, C. (2018). Application of inductive forced heating as a new approach to food industry heat exchangers. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 134(3), pp.2265–2274. doi:<https://doi.org/10.1007/s10973-018-7250-7>.
- Bergougnoux V. (2014). The history of tomato: From domestication to biopharming. *Biotechnology Advances*, [online] 32(1), pp.170–189. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.11.003>.
- Besten, H.M.W., Wells-Bennik, M.H.J. and Zwietering, M.H. (2018). Natural Diversity in Heat Resistance of Bacteria and Bacterial Spores: Impact on Food Safety and Quality. *Annual Review of Food Science and Technology*, 9(1), pp.383–410. doi:<https://doi.org/10.1146/annurev-food-030117-012808>.
- Bevilacqua, A. and Maria Rosaria Corbo (2011). Characterization of a Wild Strain of *Alicyclobacillus acidoterrestris*: Heat Resistance and Implications for Tomato Juice. *Journal of Food Science*, [online] 76(2). doi:<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.02032.x>.
- Bona, E., Cantamessa, S., Massa, N., Manassero, P., Marsano, F., Copetta, A., Lingua, G., D'Agostino, G., Gamalero, E. and Berta, G. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads improve yield, quality and nutritional value of tomato: a field study. *Mycorrhiza*, [online] 27(1), pp.1–11. doi:<https://doi.org/10.1007/s00572-016-0727-y>.
- Côté, C., Germain, I., Dufresne, T. and Gagnon, C. (2019). Comparison of two methods to categorize thickened liquids for dysphagia management in a clinical care setting context: The Bostwick consistometer and the IDDSI Flow Test. Are we talking about the same concept? *Journal of Texture Studies*, [online] 50(2), pp.95–103. doi:<https://doi.org/10.1111/jtxs.12377>.
- Daugaard, S.B., Adler-Nissen, J. and Carstensen, J.M. (2010). New vision technology for multidimensional quality monitoring of continuous frying of meat. *Food Control*, [online] 21(5), pp.626–632. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2009.09.007>.
- Diaz, J.V., Anthon, G.E. and Barrett, D.M. (2009). Conformational Changes in Serum Pectins during Industrial Tomato Paste Production. *ACS Publications*, [online] pp.8453–8458. doi:<https://doi.org/10.1021/jf901207w>.
- Efiuwewewere, B.J.O. and Atirike, O.I.E. (1998). Microbiological profile and potential hazards associated with imported and local brands of tomato paste in Nigeria. *Journal of Applied Microbiology*, [online] 84(3), pp.409–416. doi:<https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.1998.00355.x>.
- Featherstone, S. (2015). Microbiology of canned foods. *Elsevier eBooks*, [online] 2, pp.3–25. doi:<https://doi.org/10.1016/b978-0-85709-678-4.00001-4>.
- Feng, C., Makino, Y., Oshita, S. and García-Martín, J.F. (2018). Hyperspectral imaging and multispectral imaging as the novel techniques for detecting defects in raw and processed meat products: Current state-of-the-art research advances. *Food Control*, [online] 84, pp.165–176. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.07.013>.
- Feng, Y. and Sun, D. (2013). Near-infrared hyperspectral imaging in tandem with partial least squares regression and genetic algorithm for non-destructive determination and visualization of *Pseudomonas* loads in chicken fillets. *Talanta*, [online] 109, pp.74–83. doi:<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2013.01.057>.

- Fentik, D.A. (2017). Review on Genetics and Breeding of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Advances in crop science and technology*, [online] 05(05). doi:<https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000306>.
- Fraser, G.E., Jacobsen, B.K., Knutsen, S.F., Mashchak, A. and Lloren, J.I. (2020). Tomato consumption and intake of lycopene as predictors of the incidence of prostate cancer: the Adventist Health Study-2. *Cancer Causes & Control*, [online] 31(4), pp.341–351. doi:<https://doi.org/10.1007/s10552-020-01279-z>.
- Gaikwad, S. and Tidke, S. (2022). Multi-Spectral Imaging for Fruits and Vegetables. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(2), pp.743–760.
- Galletti, P.A., Eugenia, M., Hirai, W.Y., Brancaglioni, V.A., Arthur, V. and Silva (2020). Integrating Optical Imaging Tools for Rapid and Non-invasive Characterization of Seed Quality: Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and Carrot (*Daucus carota* L.) as Study Cases. *Frontiers in Plant Science*, [online] 11. doi:<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.577851>.
- Garre, A., Pielaat, A., Zwietering, M.H., Besten, H.M.W. and Smid, J. (2022). Critical comparison of statistical methods for quantifying variability and uncertainty of microbial responses from experimental data. *International Journal of Food Microbiology*, [online] 383, pp.109935–109935. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109935>.
- Geladi, P. and Kowalski, B.R. (1986). Partial least-squares regression: a tutorial. *Analytica Chimica Acta*, [online] 185, pp.1–17. doi:[https://doi.org/10.1016/0003-2670\(86\)80028-9](https://doi.org/10.1016/0003-2670(86)80028-9).
- Gentilcore, D. (2010). *Pomodoro!* [online] Columbia University Press. Available at: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.7312/gent15206/html> [Accessed 12 Dec. 2023].
- Goodman, C.L., Fawcett, S.L. and Barringer, S.A. (2002). Flavor, Viscosity, and Color Analyses of Hot and Cold Break Tomato Juices. *Journal of Food Science*, [online] 67(1), pp.404–408. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb11418.x>.
- Gounadaki, A.S., Panagiotis Skandamis, Drosinos, E.H. and Nychas, G.E. (2008). Microbial ecology of food contact surfaces and products of small-scale facilities producing traditional sausages. *Food Microbiology*, [online] 25(2), pp.313–323. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fm.2007.10.001>.
- Gromski, P.S., Muhamadali, H., Ellis, D.I., Xu, Y., Correa, E., Turner, M.L. and Goodacre, R. (2015). A tutorial review: Metabolomics and partial least squares-discriminant analysis – a marriage of convenience or a shotgun wedding. *Analytica Chimica Acta*, 879, pp.10–23. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.02.012>.
- Hahn, F. (2002). AE—Automation and Emerging Technologies. *Biosystems Engineering*, [online] 81(2), pp.147–155. doi:<https://doi.org/10.1006/bioe.2001.0035>.
- Hayes, W.A., Smith, P.G. and Morris, A.E. (1998). The production and quality of tomato concentrates. *Critical reviews in food science and nutrition*, [online] 38(7), pp.557–564. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9813734/> [Accessed 21 Nov. 2023].
- Hazra, P., Samsul, H., Sikder, D. and Peter, K. (2007). Breeding Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Resistant to High Temperature Stress. *International Journal of Plant Breeding*, 1(1), pp.31–40.
- Hsu, K.-C. (2008). Evaluation of processing qualities of tomato juice induced by thermal and

pressure processing. *LWT - Food Science and Technology*, 41(3), pp.450–459.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.03.022>.

Kaisar, T.I., Zaman, K. and Khasawneh, M.T. (2023). A New Approach to Probabilistic Classification Based on Gaussian Process and Support Vector Machine. *Computers & Industrial Engineering*, [online] 186, pp.109719–109719.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109719>.

Kalyoncu, F., Tamer, A.U. and Oskay, M. (2005). Determination of Fungi Associated with Tomatoes (*Lycopersicon esculentum* M.) and Tomato Pastes. *Plant Pathology Journal*, [online] 4(2), pp.146–149. Available at: <https://scialert.net/fulltext/?doi=ppj.2005.146.149> [Accessed 22 Nov. 2023].

Karoui, R., Mouazen, A.M., Dufour, É., Pillonel, L., Schaller, E., De Baerdemaeker, J. and Bosset, J.O. (2006). Chemical characterisation of European Emmental cheeses by near infrared spectroscopy using chemometric tools. *International Dairy Journal*, [online] 16(10), pp.1211–1217. doi:<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.10.002>.

Kasampalis, D., Tsouvaltzis, P. and Siomos, A. (2020). Tomato fruit quality in relation to growing season, harvest period, ripening stage and postharvest storage. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, [online] 33(2), p.130.
doi:<https://doi.org/10.9755/ejfa.2021.v33.i2.2176>.

Kelebek H., Serkan Selli, Pınar Kadiroğlu, Kola, O., Songül Kesen, Burçak Uçar and Başak Çetiner (2017). Bioactive compounds and antioxidant potential in tomato pastes as affected by hot and cold break process. *Food Chemistry*, [online] 220, pp.31–41.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.190>.

Khoshnoudi-Nia, S. and Moosavi-Nasab, M. (2019). Prediction of various freshness indicators in fish fillets by one multispectral imaging system. *Scientific Reports*, [online] 9(1). doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-019-51264-z>.

Kirse-Ozolina, A., Raits, E. and Ciprovica, I. (2019). DESIGNING OF THERMAL TREATMENT PARAMETERS FOR TOMATO SAUCES. In: *ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT: Proceedings of the 18th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development*. Jelgava: Latvia University of Life Sciences and Technologies, pp.1140–1146.

Knapp, S. and Peralta, I. (2016). The Tomato (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae) and Its Botanical Relatives. In: *The Tomato Genome*. [online] Springer, pp.7–21.
doi:<https://doi.org/9783662533895>.

Kotzekidou, P. (1997). Heat resistance of *Byssoschlamys nivea*, *Byssoschlamys fulva* and *Neosartorya fischeri* isolated from canned tomato paste. *Journal of Food Science*, [online] 62(2), pp.410–412. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb04014.x>.

Koutsoumanis, K., Misiou, O. and Kakagianni, M. (2022). Climate change threatens the microbiological stability of non-refrigerated foods. *Food Research International*, [online] 162. doi:<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1638762/v1>.

Laratta, B., Fasanaro, G., De Sio, F., Castaldo, D., Palmieri, A., Giovane, A. and Servillo, L.

- (1995). Thermal inactivation of pectin methylesterase in tomato puree: implications on cloud stability. *Process Biochemistry*, [online] 30(3), pp.251–259. doi:[https://doi.org/10.1016/0032-9592\(95\)85006-6](https://doi.org/10.1016/0032-9592(95)85006-6).
- Leardi, R. (2000). Application of genetic algorithm-PLS for feature selection in spectral data sets. *Journal of Chemometrics*, [online] 14(5-6), pp.643–655. doi:[https://doi.org/10.1002/1099-128x\(200009/12\)14:5/6%3C643::aid-cem621%3E3.0.co;2-e](https://doi.org/10.1002/1099-128x(200009/12)14:5/6%3C643::aid-cem621%3E3.0.co;2-e).
- Li, X., Zeng, X., Song, H., X, Y., Li, Y., Hui, B., Li, H. and Li, J. (2023). Characterization of the aroma profiles of cold and hot break tomato pastes by GC-O-MS, GC × GC-O-TOF-MS, and GC-IMS. *Food Chemistry*, [online] 405, pp.134823–134823. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134823>.
- Liadakis, G., Katsouli, M., Chanioti, S., Giannou, V. and Constantina Tzia (2022). Identification, quantification, and characterization of tomato processing by-products. In: *Tomato processing by-products*. [online] Academic Press, pp.1–32. doi:<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822866-1.00004-1>.
- Lippi, G. and Targher, G. (2011). Tomatoes, lycopene-containing foods and cancer risk. *British Journal of Cancer*, [online] 104(7), pp.1234–1235. doi:<https://doi.org/10.1038/bjc.2011.59>.
- Liu, C., Liu, W., Chen, W., Yang, J. and Zheng, L. (2015). Feasibility in multispectral imaging for predicting the content of bioactive compounds in intact tomato fruit. *Food Chemistry*, [online] 173, pp.482–488. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.052>.
- Liu, Y. and Huang, X. (2023). Application of Multispectral Imaging Technology in Food Quality and Safety Inspection-International Journal of Food Science and Agriculture-Hill Publishing Group. *International Journal of Food Science and Agriculture*, [online] 7(3), pp.396–400. doi:<https://doi.org/10.26855/ijfsa.2023.09.009>.
- Lou, C. and Xie, X. (2023). Multi-view intuitionistic fuzzy support vector machines with insensitive pinball loss for classification of noisy data. *Neurocomputing*, [online] 549, pp.126458–126458. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neucom.2023.126458>.
- Lytou, A., Fengou, L.-C., Schultz, N., Carstensen, J.M., Zhang, Y., Mohareb, F. and Nychas, G.-J. (2023). An overview of implementing Multispectral Imaging coupled with machine learning for the assessment of microbiological quality and authenticity in foods. In: *n OCM 2023-Optical Characterization of Materials: Conference Proceedings*. pp.87–96.
- Mahdy, S., Ashoush, I., Al-Kafrawy, A. and Heikal, Y. (2022). EFFECT OF PROCESSING ON THE CHARACTERIZATION OF HOT-BREAK TRIPLE-CONCENTRATED TOMATO PASTE. *Egyptian Journal of Chemistry*, 66(4), pp.245–252. doi:<https://doi.org/10.21608/ejchem.2022.144780.6339>.
- Maldonado, M.C., Belfiore, C. and Navarro, A.R. (2007). Temperature, soluble solids and pH effect on Alicyclobacillus acidoterrestris viability in lemon juice concentrate. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 35(2), pp.141–144. doi:<https://doi.org/10.1007/s10295-007-0276-7>.
- Mallidis, C.G., Frantzeskakis, P., Balatsouras, G. and Katsaboxakis, C.Z. (1990). Thermal treatment of aseptically processed tomato paste. *International Journal of Food Science &*

Technology, [online] 25(4), pp.442–448. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb01101.x>.

Manthou, E., Karnavas, A., Fengou, L.-C., Bakali, A. and Lianou, A. (2022). Spectroscopy and imaging technologies coupled with machine learning for the assessment of the microbiological spoilage associated to ready-to-eat leafy vegetables. *International Journal of Food Microbiology*, [online] 361, p.109458. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109458>.

Manthou, E., Lago, S.-L., Dages, E., Lianou, A., Panagou, E.Z., Anastasiadi, M. and Mohareb, F. (2020). Application of spectroscopic and multispectral imaging technologies on the assessment of ready-to-eat pineapple quality: A performance evaluation study of machine learning models generated from two commercial data analytics tools. *Computers and Electronics in Agriculture*, [online] 175. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105529>.

Manzo, N., Santini, A., Pizzolongo, F., Aiello, A. and Romano, R. (2018). Degradation kinetic (D_{100}) of lycopene during the thermal treatment of concentrated tomato paste. *Natural Product Research*, 33(13), pp.1835–1841. doi:<https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1477147>.

Marković, K., Hruškar, M. and Vahčić, N. (2006). Lycopene content of tomato products and their contribution to the lycopene intake of Croatians. *Nutrition Research*, [online] 26(11), pp.556–560. doi:<https://doi.org/10.1016/j.nutres.2006.09.010>.

Martinez Gila, D.M., Soto, J.P.N., Martínez, S.S., Ortega, J.G. and García, J.G. (2021). The Advantage of Multispectral Images in Fruit Quality Control for Extra Virgin Olive Oil Production. *Food Analytical Methods*, [online] 15(1), pp.75–84. doi:<https://doi.org/10.1007/s12161-021-02099-w>.

Mihailova, A., Liebisch, B., Islam, M., Carstensen, J.M., Cannavan, A. and Kelly, S. (2022). The use of multispectral imaging for the discrimination of Arabica and Robusta coffee beans. *Food Chemistry: X*, [online] 14, pp.100325–100325. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100325>.

Mishra, D.K. and Sinha, Nirmal.K. (2011). Principles of Vegetable Canning. In: *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing*. Blackwell Publishing Ltd, pp.365–380.

Misiou, O., Zourou, C. and Koutsoumanis, K. (2021). Development and validation of a predictive model for the effect of temperature, pH and water activity on the growth kinetics of *Bacillus coagulans* in non-refrigerated ready-to-eat food products. *Food Research International*, [online] 149, pp.110705–110705. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110705>.

Ngoc, M., Nguyen, A.-T., Duong, H.T., Thi, M., Ha, Q.T., Nguyen, N.N. and Tran, T. (2023). Designing Multispectral Camera Model using VIS-NIR for non-intrusive food quality assessment. *EPiC series in engineering*, [online] 5, pp.126–134. doi:<https://doi.org/10.29007/8sqc>.

Nizamlioglu, N.M. (2022). Relationship between ergosterol and mycotoxins in tomato paste and tomato juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(11). doi:<https://doi.org/10.1111/jfpp.16937>.

Nychas, G.-J.E., Panagou, E.Z. and Mohareb, F. (2016). Novel approaches for food safety

- management and communication. *Current Opinion in Food Science*, 12, pp.13–20. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.06.005>.
- Obeng, F.A., Gyasi, P.B., Olu-Taiwo, M. and Ayeh-kumi, F.P. (2018). Microbial Assessment of Tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) Sold at Some Central Markets in Ghana. *BioMed Research International*, 2018, pp.1–7. doi:<https://doi.org/10.1155/2018/6743826>.
- Olaniran, A.F., Abiose, S.H. and Adeniran, A.H. (2015). Biopreservative Effect of Ginger (*Zingiber officinale*) and Garlic Powder (*Allium sativum*) on Tomato Paste. *Journal of Food Safety*, [online] 35(4), pp.440–452. doi:<https://doi.org/10.1111/jfs.12193>.
- Opatić, A.M., Nečemer, M., Lojen, S., Masten, J., Zlatić, E., Šircelj, H., Stopar, D. and Vidrih, R. (2018). Determination of geographical origin of commercial tomato through analysis of stable isotopes, elemental composition and chemical markers. *Food Control*, [online] 89, pp.133–141. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.11.013>.
- Panagou, E.Z., Papadopoulou, O.S., Jens Michael Carstensen and Nychas, G.E. (2014). Potential of multispectral imaging technology for rapid and non-destructive determination of the microbiological quality of beef filets during aerobic storage. *International Journal of Food Microbiology*, [online] 174, pp.1–11. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.12.026>.
- Paramithiotis, S., Drosinos, E.H. and Skandamis, P.N. (2017). Microbial ecology of fruits and fruit-based products. In: *Quantitative Microbiology in Food Processing: Modeling the Microbial Ecology*. [online] pp.358–381. doi:<https://doi.org/10.1002/9781118823071.ch18>.
- PENG, J., MAH, J.-H., SOMAVAT, R., MOHAMED, H., SASTRY, S. and TANG, J. (2012). Thermal Inactivation Kinetics of *Bacillus coagulans* Spores in Tomato Juice. *Journal of Food Protection*, 75(7), pp.1236–1242. doi:<https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-11-490>.
- Popescu, E.C. and Iordan, M. (2012). Effect of Thermal Processing of Bioactive Compounds of Tomato Paste. *Annals. Food Science and Technology*, 13(2), pp.185–189.
- Rajchl, A., Voldřich, M., Čížková, H., Hronová, M., Ševčík, R., J. Dobiáš and Pivoňka, J. (2010). Stability of nutritionally important compounds and shelf life prediction of tomato ketchup. *Journal of Food Engineering*, [online] 99(4), pp.465–470. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.035>.
- Ramaswamy, H.S. and Chen, C.R. (2003). Canning Principles. In: *Handbook of vegetable preservation and processing*. [online] Taylor & Francis, pp.98–125. doi:<https://doi.org/10.1201/9780203912911-10>.
- Rocelle, M. and Clavero, S. (2001). CONTROL OF *BACILLUS COAGULANS* AND *CLOSTRIDIUM PASTEURIANUM* IN TOMATO PRODUCTS. In: *Actahort.org*. [online] pp.75–82. Available at: https://www.actahort.org/books/542/542_6.htm [Accessed 22 Nov. 2023].
- Ropodi, A., Panagou, E.Z. and Nychas, G.E. (2016). Data mining derived from food analyses using non-invasive/non-destructive analytical techniques, determination of food authenticity, quality & safety in tandem with computer science disciplines. *Trends in Food Science and Technology*, [online] 50, pp.11–25. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.011>.

- Ropodi, A., Panagou, E.Z. and Nychas, G.E. (2017). Multispectral imaging (MSI): A promising method for the detection of minced beef adulteration with horsemeat. *Food Control*, [online] 73, pp.57–63. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.05.048>.
- Sainju, U. (2003). *Mineral nutrition of tomato*. [online] Food, Agriculture & Environment. Available at: https://www.academia.edu/25199135/Mineral_nutrition_of_tomato [Accessed 18 Nov. 2023].
- Salas-Salvadó, J., Guasch-Ferré, M., Lee, C., Ramón Estruch, Clish, C.B. and Ros, E. (2016). Protective Effects of the Mediterranean Diet on Type 2 Diabetes and Metabolic Syndrome. *Journal of Nutrition*, [online] 146(4), pp.920S927S. doi:<https://doi.org/10.3945/jn.115.218487>.
- Samuels, J. (2015). Biodiversity of Food Species of the Solanaceae Family: A Preliminary Taxonomic Inventory of Subfamily Solanoideae. *Resources*, [online] 4(2), pp.277–322. doi:<https://doi.org/10.3390/resources4020277>.
- Shrestha, S., Lise Christina Deleuran, Merete Halkjær Olesen and René Gislum (2015). Use of Multispectral Imaging in Varietal Identification of Tomato. *Sensors*, [online] 15(2), pp.4496–4512. doi:<https://doi.org/10.3390/s150204496>.
- Siché, R., Vejarano, R., Aredo, V., Velásquez, L., Saldaña, E. and Quevedo, R. (2015). Evaluation of Food Quality and Safety with Hyperspectral Imaging (HSI). *Food Engineering Reviews*, [online] 8(3), pp.306–322. doi:<https://doi.org/10.1007/s12393-015-9137-8>.
- Silveira Munhoz, K.A. and Schmidt, F.L. (2019). The tomato paste quality attributes along the industrial processing chain. *African Journal of Food Science*, [online] 13(10), pp.215–224. doi:<https://doi.org/10.5897/ajfs2019.1825>.
- Simões, C. (2009). *Bacillus coagulans as target microorganism in the sterilization of double and triple-concentrated tomato paste*. [online] Academia.edu. Available at: https://www.academia.edu/74238326/Bacillus_coagulans_as_target_microorganism_in_the_s_termination_of_double_and_triple_concentrated_tomato_paste [Accessed 22 Nov. 2023].
- Skandamis, P.N. and Panagou, E.Z. (2016). Predictive microbiology: mathematics towards understanding the fate of food-borne microorganisms in food processing. In: *Quantitative Microbiology in Food Processing: Modeling the Microbial Ecology*. pp.16–67. doi:<https://doi.org/10.1002/9781118823071.ch2>.
- Spyrelli, E.D., Doulgeraki, A.I., Argyri, A.A., Tassou, C.C., Panagou, E.Z. and Nychas, G.E. (2020). Implementation of Multispectral Imaging (MSI) for Microbiological Quality Assessment of Poultry Products. *Microorganisms*, [online] 8(4), pp.552–552. doi:<https://doi.org/10.3390/microorganisms8040552>.
- Su, W.-H. (2021). Rapid Softness Prediction and Microbial Spoilage Visualization of Whole Tomatoes by Using Hyper/Multispectral Imaging. *Challenges*, [online] 12(2), p.21. doi:<https://doi.org/10.3390/challe12020021>.
- Suárez M., Rodríguez E. and Díaz-RomeroC. (2008). Chemical composition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) from Tenerife, the Canary Islands. *Food Chemistry*, [online] 106(3), pp.1046–1056. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.025>.
- Suárez, M., Rodríguez, E. and Díaz-RomeroC. (2008). Chemical composition of tomato

- (*Lycopersicon esculentum*) from Tenerife, the Canary Islands. *Food Chemistry*, [online] 106(3), pp.1046–1056. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.025>.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M. and Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development*. 6th ed. Sunderland, U.S.A.: Sinauer Associates Inc., pp.718–720.
- US, O., Wesley, B. and GA, O. (2012). Investigation on the microbial profile of canned foods. *Journal of Biological and Food Science Research*, 1(1), pp.15–18.
- Vercammen, A., Vivijs, B., Lurquin, I. and Michiels, C.W. (2012). Germination and inactivation of *Bacillus coagulans* and *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores by high hydrostatic pressure treatment in buffer and tomato sauce. *International Journal of Food Microbiology*, [online] 152(3), pp.162–167. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.02.019>.
- Wold, S., Sjöström, M. and Eriksson, L. (2001). PLS-regression: a basic tool of chemometrics. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, [online] 58(2), pp.109–130. doi:[https://doi.org/10.1016/s0169-7439\(01\)00155-1](https://doi.org/10.1016/s0169-7439(01)00155-1).
- Wu, X., Yu, L. and Pehrsson, P.R. (2022). Are Processed Tomato Products as Nutritious as Fresh Tomatoes? Scoping Review on the Effects of Industrial Processing on Nutrients and Bioactive Compounds in Tomatoes. *Advances in Nutrition*, [online] 13(1), pp.138–151. doi:<https://doi.org/10.1093/advances/nmab109>.
- Zhang, L., Schultz, M., Cash, R., Barrett, D.M. and McCarthy, M.J. (2014). Determination of quality parameters of tomato paste using guided microwave spectroscopy. *Food Control*, [online] 40, pp.214–223. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.12.008>.
- Αγγίδης, Α.Δ. (2006). *Τομάτα Υπαίθρια*. Θεσσαλονίκη : Εκδόσεις Γαρταγάνης, pp.110–125.
- Γερασόπουλος, Δ. (2020). *Εργαστηριακές Σημειώσεις Τεχνολογίας Μεταποίησης Οπωροκηπευτικών, ΑΠΘ*. Εργαστήριο Επεξεργασίας και Συντήρησης Τροφίμων. Τομέας Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, Τμήμα Γεωπονίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη.
- Δροσινός, Ε. (2020). *Εργαστηριακές Σημειώσεις Ποιοτικού Ελέγχου Τροφίμων, ΓΠΑ*. Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου & Υγιεινής Τροφίμων. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα.
- Μπλούκας, Ι.Γ. (2004). *Επεξεργασία και Συντήρηση Τροφίμων*. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., pp.99–173, 175–183.
- Σάββας, Δ. (2016). *Γενική Λαχανοκομία*. Αθήνα : Εκδόσεις Πεδίο, pp.700–709.
- Σάββας, Δ. (2017). *Σημειώσεις Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών ΓΠΑ*. Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα.
- Σκανδάμης, Π.Ν. (2023). Σύγχρονα εργαλεία αποτίμησης της επικινδυνότητας. In: *Υγιεινή και Ασφάλεια Τροφίμων*. Ιερά Οδός 286, Αιγάλεω: Εκδόσεις ΕΜΒΡΥΟ, pp.256–257.

8. Σύνδεσμοι

<https://www.wptc.to/>

<https://www.fao.org/faostat/en/#home>

<https://www.minagric.gr/the-ministry-2/statistik-es-tekmhrioshs/8510-statistika-ekt-parag-fytikonproionton>

<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/1103276/nutrients>

<https://fdc.nal.usda.gov/>

<https://www.tomatonews.com/en/>

https://www.mou.gr/elibrary/Directive98-83_waterquality.pdf

<https://kyknoscanning.com/en/>

<https://www.cdc.gov/index.htm>

https://videometer.com/wp-content/uploads/2021/12/VideometerLab_2021_WithoutCrop.pdf

<https://www.statistics.gr/>