



Σχολή

Πρόγραμμα Σπουδών

Πτυχιακή / Διπλωματική Εργασία

«Σύγχρονες Μέθοδοι Ανάλυσης Τροφίμων Για Την Διασφάλιση της
Αυθεντικότητας Με Έμφαση Στα Γαλακτοκομικά Προϊόντα»

«Σδόγγος Χρήστος»

Επιβλέπων καθηγητής: «Τσιαφούλης Κωνσταντίνος»

Πάτρα, «Ιούνιος» «2024»

© Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2017

Η παρούσα Εργασία καθώς και τα αποτελέσματα αυτής, αποτελούν συνιδιοκτησία του ΕΑΠ και του φοιτητή, ο καθένας από τους οποίους έχει το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης, αναπαραγωγής και αναδιανομής τους (στο σύνολο ή τμηματικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, σε κάθε περίπτωση αναφέροντας τον τίτλο και το συγγραφέα της Εργασίας καθώς και το όνομα του ΕΑΠ όπου εκπονήθηκε.



Πτυχιακή / Διπλωματική Εργασία

«Σύγχρονες Μέθοδοι Ανάλυσης Τροφίμων Για Την Διασφάλιση
της Αυθεντικότητας Με Έμφαση Στα Γαλακτοκομικά Προϊόντα»

«Σδόγγος Χρήστος»

Επιβλέπων καθηγητής: «Τσιαφούλης Κωνσταντίνος»

Επιβλέπων Καθηγητής:

«Όνομα & Επώνυμο»

«Ιδιότητα & Ίδρυμα Υπαγωγής»

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

«Όνομα & Επώνυμο»

«Ιδιότητα & Ίδρυμα Υπαγωγής»

Πάτρα, «Ιούνιος» «2024»

«Σδόγγος Χρήστος», «Σύγχρονες Μέθοδοι Ανάλυσης Τροφίμων Για Την Διασφάλιση της Αυθεντικότητας Με Έμφαση Στα Γαλακτοκομικά Προϊόντα»

Θέλω να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στον κ. Κωνσταντίνο Τσιαφούλη και το Πανεπιστήμιο του ΕΑΠ για την ανεκτίμητη υποστήριξη, την καθοδήγηση που μου παρείχαν κατά την ολοκλήρωση της τελικής μου διπλωματικής εργασίας. Η αφοσίωση, η τεχνογνωσία και η ακλόνητη δέσμευσή ήταν πραγματικά καθοριστικές για να με βοηθήσουν να επιτύχω αυτό το σημαντικό ορόσημο στο ακαδημαϊκό μου ταξίδι. Είναι χαρά μου που είχα την ευκαιρία να δουλέψω με τόσο αφοσιωμένα άτομα και ιδρύματα, και θα κουβαλήσω μαζί μου τα μαθήματα που έμαθα καθώς μπαίνω στο επόμενο κεφάλαιο της ακαδημαϊκής και επαγγελματικής μου ζωής.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία ξεκινά με μια εξερεύνηση παραδοσιακών μεθόδων ανάλυσης τροφίμων, περιγράφοντας ιστορικές προσεγγίσεις και την εξέλιξή τους. Η ενότητα 1.1 εμβαθύνει στις διάφορες παραδοσιακές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη διασφάλιση της ποιότητας και της ασφάλειας των τροφίμων, ενώ η ενότητα 1.2 επισημαίνει τους περιορισμούς αυτών των μεθόδων για την επαλήθευση της γνησιότητας των προϊόντων διατροφής. Η συζήτηση υπογραμμίζει την ανάγκη για πιο προηγμένες τεχνικές για την αντιμετώπιση αυτών των ελλείψεων.

Μετά τη μετάβαση στις σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές, η Ενότητα 2.1 παρέχει μια επισκόπηση των κοινών παραδοσιακών μεθόδων που χρησιμοποιούνται ακόμη, δίνοντας έμφαση στις θεμελιώδεις αρχές και τις εφαρμογές τους. Η ενότητα 2.2 εισάγει σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές που έχουν προκύψει για να ξεπεράσουν τους περιορισμούς των παραδοσιακών μεθόδων, παρουσιάζοντας την ενισχυμένη ακρίβεια και αξιοπιστία τους. Στην Ενότητα 2.3, η εστίαση μετατοπίζεται σε φασματοσκοπικές μεθόδους, όπως το FTIR και το NIR, οι οποίες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ανάλυση τροφίμων προσδιορίζοντας με ακρίβεια τη σύνθεση των τροφίμων και ανιχνεύοντας τη νοθεία.

Η ενότητα 3 διερευνά προηγμένες αναλυτικές τεχνικές με μεγαλύτερη λεπτομέρεια. Η ενότητα 3.1 εξετάζει χρωματογραφικές τεχνικές όπως η αέρια χρωματογραφία (GC) και η υγρή χρωματογραφία (LC), οι οποίες είναι απαραίτητες για τον διαχωρισμό και την ανάλυση πολύπλοκων μιγμάτων σε προϊόντα διατροφής. Η ενότητα 3.2 εξετάζει τις μεθόδους φασματομετρίας μάζας, υπογραμμίζοντας τη σημασία τους για τον προσδιορισμό και τον ποσοτικό προσδιορισμό των συστατικών των τροφίμων. Η ενότητα 3.3 καλύπτει μεθόδους που βασίζονται στο DNA, συμπεριλαμβανομένης της PCR και της γραμμικής κωδικοποίησης DNA, οι οποίες είναι ζωτικής σημασίας για την επαλήθευση της προέλευσης των ειδών και τον εντοπισμό νοθείας τροφίμων.

Η ενότητα 4 εστιάζει στην εφαρμογή αυτών των προηγμένων αναλυτικών τεχνικών στον έλεγχο ταυτότητας των γαλακτοκομικών προϊόντων. Η ενότητα 4.1 παρέχει μια γενική

επισκόπηση του τρόπου με τον οποίο αυτές οι τεχνικές διασφαλίζουν την αυθεντικότητα διαφόρων γαλακτοκομικών προϊόντων. Στην ενότητα 4.2 αναφέρονται αναλυτικά οι συγκεκριμένες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της γνησιότητας και της ποιότητας του γάλακτος, διασφαλίζοντας την ασφάλεια των καταναλωτών και αποτρέποντας τη νόθευση. Στην Ενότητα 4.3, το έγγραφο διερευνά τεχνικές ελέγχου ταυτότητας τυριού, διασφαλίζοντας την επαλήθευση προέλευσης και ποιότητας. Η ενότητα 4.4 εξετάζει μεθόδους για τον έλεγχο της γνησιότητας του βουτύρου και της κρέμας γάλακτος, αντιμετωπίζοντας την πρόληψη της απάτης και την ακεραιότητα του προϊόντος. Η ενότητα 4.5 πραγματεύεται συγκεκριμένα τον έλεγχο ταυτότητας γιαουρτιού και γαλακτοκομικών προϊόντων που έχουν υποστεί ζύμωση, επισημαίνοντας μεθόδους για τον εντοπισμό κοινών πρακτικών νοθείας και τη διασφάλιση της ποιότητας του προϊόντος.

Η ενότητα 5 μετατοπίζεται στο ρυθμιστικό πλαίσιο και τα πρότυπα που διέπουν την αυθεντικότητα των τροφίμων. Η ενότητα 5.1 παρέχει μια επισκόπηση των διεθνών προτύπων και κανονισμών που έχουν σχεδιαστεί για τη διασφάλιση της γνησιότητας των τροφίμων και την προστασία των καταναλωτών. Η ενότητα 5.2 εστιάζει σε συγκεκριμένους κανονισμούς που διέπουν τη γνησιότητα των γαλακτοκομικών προϊόντων, διασφαλίζοντας τη συμμόρφωση και διατηρώντας την ακεραιότητα της αγοράς. Η ενότητα 5.3 εξετάζει τον ρόλο των ρυθμιστικών φορέων στην επιβολή αυτών των προτύπων και κανονισμών, τονίζοντας τη σημασία τους για τη διατήρηση της γνησιότητας των τροφίμων.

Τέλος, η Ενότητα 6 παρουσιάζει περιπτωσιολογικές μελέτες και προοπτικές του κλάδου σχετικά με την εφαρμογή σύγχρονων αναλυτικών τεχνικών στον έλεγχο ταυτότητας γαλακτοκομικών προϊόντων. Η ενότητα 6.1 παρουσιάζει επιτυχημένες περιπτωσιολογικές μελέτες όπου αυτές οι προηγμένες μέθοδοι έχουν εφαρμοστεί αποτελεσματικά. Η ενότητα 6.2 παρέχει πληροφορίες και προοπτικές από τη βιομηχανία τροφίμων σχετικά με την υιοθέτηση και τον αντίκτυπο αυτών των τεχνικών, τονίζοντας τον ρόλο τους στη διασφάλιση της αυθεντικότητας των τροφίμων και της εμπιστοσύνης των καταναλωτών.

Λέξεις – Κλειδιά

Μέθοδοι Ανάλυσης Τροφίμων, Γαλακτοκομικά Προϊόντα, Ποιότητα, Ασφάλεια, Διατροφή

Summary

This paper begins with an exploration of traditional methods of food analysis, describing historical approaches and their evolution. Section 1.1 delves into the various traditional techniques used to ensure food quality and safety, while section 1.2 highlights the limitations of these methods for verifying the authenticity of food products. The discussion highlights the need for more advanced techniques to address these deficiencies.

After moving on to modern analytical techniques, Section 2.1 provides an overview of the common traditional methods still in use, emphasizing their fundamental principles and applications. Section 2.2 introduces modern analytical techniques that have emerged to overcome the limitations of traditional methods, demonstrating their enhanced accuracy and reliability. In Section 2.3, the focus shifts to spectroscopic methods, such as FTIR and NIR, which play a critical role in food analysis by accurately determining food composition and detecting adulteration.

Section 3 explores advanced analytical techniques in greater detail. Section 3.1 discusses chromatographic techniques such as gas chromatography (GC) and liquid chromatography (LC), which are essential for the separation and analysis of complex mixtures in food products. Section 3.2 reviews mass spectrometry methods, highlighting their importance for the identification and quantification of food constituents. Section 3.3 covers DNA-based methods, including PCR and DNA barcoding, which are vital for verifying the origin of species and detecting food adulteration.

Section 4 focuses on the application of these advanced analytical techniques to the authentication of dairy products. Section 4.1 provides a general overview of how these techniques ensure the authenticity of various dairy products. Section 4.2 details the specific methods used to control the authenticity and quality of milk, ensuring consumer safety and preventing adulteration. In Section 4.3, the paper explores cheese authentication techniques, ensuring provenance and quality. Section 4.4 discusses methods for checking the authenticity of butter and cream, addressing fraud prevention and product integrity. Section 4.5 specifically addresses the authentication of yogurt and fermented milk products, highlighting methods for detecting common adulteration practices and ensuring product quality.

Section 5 shifts to the regulatory framework and standards governing food authenticity. Section 5.1 provides an overview of international standards and regulations designed to

ensure food authenticity and protect consumers. Section 5.2 focuses on specific regulations governing the authenticity of dairy products, ensuring compliance and maintaining market integrity. Section 5.3 examines the role of regulatory bodies in enforcing these standards and regulations, highlighting their importance in maintaining food authenticity.

Finally, Section 6 presents case studies and industry perspectives on the application of modern analytical techniques to dairy authentication. Section 6.1 presents successful case studies where these advanced methods have been effectively applied. Section 6.2 provides insights and perspectives from the food industry on the adoption and impact of these techniques, highlighting their role in ensuring food authenticity and consumer confidence.

Keywords

Food Analysis Methods, Dairy Products, Quality, Safety, Nutrition

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	
Εισαγωγή.....	

Ενότητα 1^η

1.1 Παραδοσιακές Μέθοδοι Ανάλυσης Τροφίμων: Εξερεύνηση ιστορικών προσεγγίσεων.....	1
1.2 Περιορισμοί των παραδοσιακών μεθόδων για τη διασφάλιση της αυθεντικότητας.....	3

Ενότητα 2^η

2.1Επισκόπηση των κοινών παραδοσιακών αναλυτικών τεχνικών που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση τροφίμων.....	6
2.2 Σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές Εισαγωγή στις σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές.....	10
2.3 Φασματοσκοπικές μέθοδοι στην ανάλυση τροφίμων.....	13

Ενότητα 3^η

3.1 Χρωματογραφικές Τεχνικές.....	19
3.2 Μέθοδοι βασισμένες στη φασματομετρία μάζας.....	23
3.3 Μέθοδοι που βασίζονται στο DNA.....	27

Ενότητα 4^η

4.1 Εφαρμογές στον έλεγχο ταυτότητας γαλακτοκομικών προϊόντων.....	32
4.2 Συγκεκριμένες μέθοδοι για τον έλεγχο γνησιότητας του γάλακτος: Διασφάλιση ποιότητας και ακεραιότητας.....	34
4.3 Τεχνικές ελέγχου ταυτότητας τυριού.....	36
4.4 Μέθοδοι ελέγχου ταυτότητας βουτύρου και κρέμας.....	37
4.5 Έλεγχος ταυτότητας γιαουρτιού και γαλακτοκομικών προϊόντων που έχουν υποστεί ζύμωση.....	39

Ενότητα 5^η

5.1 Ρυθμιστικό πλαίσιο και πρότυπα: Διασφάλιση της αυθεντικότητας των τροφίμων στη διεθνή σκηνή.....	45
5.2 Ειδικοί κανονισμοί που διέπουν την αυθεντικότητα γαλακτοκομικών προϊόντων.....	47
5.3 Ο ρόλος των ρυθμιστικών φορέων στη διασφάλιση της συμμόρφωσης με την αυθεντικότητα των τροφίμων	49

Ενότητα 6^η

6.1 Μελέτες περίπτωσης: Επιτυχείς εφαρμογές σύγχρονων αναλυτικών τεχνικών στον έλεγχο ταυτότητας γαλακτοκομικών προϊόντων.....	52
6.2 Προοπτικές του κλάδου σχετικά με την εφαρμογή μεθόδων ανάλυσης γνησιότητας τροφίμων.....	54

Συμπεράσματα

Βιβλιογραφία

Εισαγωγή

Στη σημερινή περίπλοκη αγορά τροφίμων, η διασφάλιση της αυθεντικότητας των προϊόντων διατροφής είναι πρωταρχικής σημασίας, που εκτείνεται από τους παραγωγούς έως τους καταναλωτές. Στον πυρήνα του, η αυθεντικότητα των τροφίμων ενσωματώνει τη διαβεβαίωση ότι ένα προϊόν ευθυγραμμίζεται με τους ισχυρισμούς του σχετικά με την ταυτότητα, την προέλευση, τη σύνθεση και τις μεθόδους παραγωγής. Αυτή η διασφάλιση προστατεύει από νοθεία, εσφαλμένη επισήμανση, υποκατάσταση και άλλες παραπλανητικές πρακτικές που θα μπορούσαν να θέσουν σε κίνδυνο την εμπιστοσύνη και την ασφάλεια των καταναλωτών. Η αυθεντικότητα των τροφίμων περιλαμβάνει πολλαπλές διαστάσεις: Ταυτότητα, όπου το προϊόν πρέπει να αντιπροσωπεύει με ακρίβεια το είδος, την ποικιλία ή τον τύπο του. Προέλευση, η οποία συνεπάγεται την τήρηση συγκεκριμένων γεωγραφικών ή πολιτιστικών καταβολών, τη διατήρηση των περιφερειακών παραδόσεων και των προτύπων ποιότητας. Σύνθεση, όπου τα συστατικά και τα συστατικά πρέπει να ταιριάζουν με τους ισχυρισμούς της ετικέτας, διασφαλίζοντας τη διαφάνεια και την ικανοποίηση των προσδοκιών των καταναλωτών. Παραγωγικές πρακτικές, που επεκτείνονται σε μεθόδους παραγωγής, συμπεριλαμβανομένων των γεωργικών πρακτικών και των τεχνικών μεταποίησης, που μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα και τα χαρακτηριστικά του προϊόντος· και Ποιότητα και Ασφάλεια, όπου τα αυθεντικά προϊόντα πληρούν καθιερωμένα πρότυπα ποιότητας, καθαρότητας και ασφάλειας, απαλλαγμένα από ρύπους ή επιβλαβείς ουσίες.

Η αυθεντικότητα εξυπηρετεί διάφορους κεντρικούς ρόλους. Πρώτον, καλλιεργεί την εμπιστοσύνη των καταναλωτών, ενισχύοντας την πίστη και τη φήμη της επωνυμίας. Διαβεβαιώνει τους καταναλωτές ότι τα προϊόντα που αγοράζουν είναι γνήσια, ανταποκρίνονται στις προσδοκίες και τις διατροφικές προτιμήσεις τους. Δεύτερον, διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη δημόσια υγεία και ασφάλεια, μετριάζοντας τους κινδύνους

που συνδέονται με την απάτη στα τρόφιμα, όπως η μόλυνση από αλλεργιογόνα ή η εισαγωγή επιβλαβών ουσιών. Τρίτον, η αυθεντικότητα προωθεί τις πρακτικές θεμιτού εμπορίου προστατεύοντας τους παραγωγούς από τον αθέμιτο ανταγωνισμό που προκαλείται από παραποιημένα ή νοθευμένα προϊόντα, διατηρώντας έτσι την οικονομική ακεραιότητα των γεωργικών περιοχών που είναι γνωστές για τα ιδιαίτερα προϊόντα διατροφής τους. Τέλος, διασφαλίζει τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς, καθώς οι νόμοι και τα πρότυπα επισημάνσης των τροφίμων επιβάλλουν την ακριβή αναπαράσταση των προϊόντων διατροφής για την πρόληψη της εξαπάτησης των καταναλωτών. Οι ρυθμιστικοί φορείς επιβάλλουν κανονισμούς και πρότυπα γνησιότητας για να διατηρήσουν την ακεραιότητα της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων. Στο πεδίο της γνησιότητας των τροφίμων, τα γαλακτοκομικά προϊόντα έχουν ιδιαίτερη σημασία. Τα γαλακτοκομικά προϊόντα, συμπεριλαμβανομένου του γάλακτος, του τυριού, του βουτύρου και του γιαουρτιού, εκτιμώνται για το διατροφικό τους περιεχόμενο, την πολιτιστική τους σημασία και τη μαγειρική τους ευελιξία. Οι καταναλωτές βασίζονται στην αυθεντικότητα των γαλακτοκομικών προϊόντων για να κάνουν ενημερωμένες διατροφικές επιλογές και να καλύψουν τις διατροφικές τους ανάγκες.

Επιπλέον, τα γαλακτοκομικά προϊόντα είναι βαθιά ριζωμένα στις πολιτιστικές παραδόσεις και τις μαγειρικές πρακτικές παγκοσμίως. Η αυθεντικότητα διασφαλίζει τη διατήρηση των παραδοσιακών μεθόδων παραγωγής γαλακτοκομικών προϊόντων, τιμώντας την πολιτιστική κληρονομιά και τη γαστρονομική ταυτότητα διαφορετικών περιοχών και κοινοτήτων. Η αυθεντικότητα είναι κρίσιμη για τη διασφάλιση της ασφάλειας και της ποιότητας των γαλακτοκομικών προϊόντων, καθώς τυχόν αποκλίσεις από την αναμενόμενη σύνθεση ή τις πρακτικές παραγωγής μπορεί να θέτουν κινδύνους για την υγεία των καταναλωτών. Η νοθεία ή η μόλυνση των γαλακτοκομικών προϊόντων μπορεί να οδηγήσει σε τροφιμογενείς ασθένειες, αλλεργικές αντιδράσεις ή άλλες δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία.

Συμπερασματικά, η διασφάλιση της αυθεντικότητας των προϊόντων διατροφής, συμπεριλαμβανομένων των γαλακτοκομικών, είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της εμπιστοσύνης των καταναλωτών, τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας και ασφάλειας, την υποστήριξη της δίκαιης εμπορικής πρακτικής και συμμόρφωση με ρυθμιστικά πρότυπα. Η σημασία της αυθεντικότητας υπογραμμίζει την ανάγκη για ισχυρές αναλυτικές μεθόδους και ρυθμιστικά μέτρα για τη διατήρηση της ακεραιότητας της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων

*«Σδόγγος Χρήστος», «Σύγχρονες Μέθοδοι Ανάλυσης Τροφίμων Για Την
Διασφάλιση της Αυθεντικότητας Με Έμφαση Στα Γαλακτοκομικά
Προϊόντα»*

και την κάλυψη των εξελισσόμενων αναγκών και προσδοκιών των καταναλωτών σε μια
παγκοσμιοποιημένη αγορά τροφίμων.

Ενότητα 1^η

1.1 Παραδοσιακές Μέθοδοι Ανάλυσης Τροφίμων: Εξερεύνηση ιστορικών προσεγγίσεων

Στην εξέλιξη της ανάλυσης τροφίμων, οι παραδοσιακές μέθοδοι έχουν παίξει θεμελιώδη ρόλο, παρέχοντας πληροφορίες για τη σύνθεση, την ποιότητα και την ασφάλεια των προϊόντων διατροφής. Αυτές οι μέθοδοι, που έχουν τις ρίζες τους σε πρακτικές αιώνων, έχουν ανοίξει το δρόμο για σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές, ενώ προσφέρουν πολύτιμες ιστορικές προοπτικές για την παραγωγή και την κατανάλωση τροφίμων. πρόληψη της απάτης και αξιολόγηση της διατροφικής ποιότητας (Κεσίδου, 2016). Οι αρχαίοι πολιτισμοί ανέπτυξαν στοιχειώδεις μεθόδους για την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών των τροφίμων, βασιζόμενοι σε αισθητηριακές παρατηρήσεις, οπτικές επιθεωρήσεις και βασικές χημικές δοκιμές. Για παράδειγμα, τα αρχαία αιγυπτιακά αρχεία αναφέρουν τη χρήση αισθητηριακών αξιολογήσεων και οπτικών επιθεωρήσεων για την αξιολόγηση της ποιότητας του ψωμιού και της μύρας (Βαρρά, 2016).

Η ανάπτυξη πρώιμων τεχνικών χημικής ανάλυσης σημείωσε σημαντική πρόοδο στην ανάλυση τροφίμων. Κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα, οι αλχημιστές και οι πρώτοι χημικοί άρχισαν να πειραματίζονται με διάφορες μεθόδους ανάλυσης της σύνθεσης των τροφίμων. Αυτές οι μέθοδοι περιελάμβαναν απλές χημικές δοκιμές όπως τιτλοδοτήσεις, χρωματομετρικές δοκιμασίες και αντιδράσεις καθίζησης. Για παράδειγμα, η χρήση του νιτρικού αργύρου για την ανίχνευση ιόντων χλωρίου στο αλάτι ήταν μια κοινή πρακτική τον 17ο αιώνα (Ρήγας, 2021).

Η εφεύρεση του μικροσκοπίου τον 17ο αιώνα έφερε επανάσταση στην ανάλυση τροφίμων, επιτρέποντας την παρατήρηση των δομών των τροφίμων σε μικροσκοπικό επίπεδο. Η μικροσκοπική ανάλυση επέτρεψε την ανίχνευση μολυσματικών ουσιών, μολυσματικών ουσιών και μικροοργανισμών σε δείγματα τροφίμων. Ο 19ος αιώνας γνώρισε την τυποποίηση και κωδικοποίηση των αναλυτικών μεθόδων, θέτοντας τις βάσεις για σύγχρονες πρακτικές ανάλυσης τροφίμων (Baeten & Dardenne, 2002). Οργανισμοί όπως η Ένωση Επίσημων Αγροτικών Χημικών (AOAC) και η Βρετανική Φαρμακοποιία άρχισαν να δημοσιεύουν τυποποιημένες μεθόδους για τον έλεγχο της ποιότητας και της καθαρότητας των τροφίμων. Αυτές οι μέθοδοι περιελάμβαναν ένα ευρύ φάσμα αναλύσεων, συμπεριλαμβανομένης της περιεκτικότητας σε υγρασία, προσδιορισμού πρωτεϊνών, εκχύλισης λίπους και ανάλυσης μετάλλων. Προόδους στις τεχνικές διαχωρισμού: Στα τέλη

του 19ου και στις αρχές του 20ου αιώνα σημειώθηκαν σημαντικές προόδους στις τεχνικές διαχωρισμού, όπως η απόσταξη, η εκχύλιση και η χρωματογραφία. Αυτές οι τεχνικές επέτρεψαν την απομόνωση και τον ποσοτικό προσδιορισμό μεμονωμένων συστατικών σε πολύπλοκες μήτρες τροφίμων. Για παράδειγμα, η ανάπτυξη της χρωματογραφίας στήλης από τον Mikhail Tsvet έφερε επανάσταση στον διαχωρισμό και την ανάλυση φυτικών χρωστικών, λιπών και άλλων ενώσεων (Croft, 2006).

Παρά την ιστορική τους σημασία, οι παραδοσιακές μέθοδοι ανάλυσης τροφίμων έχουν ορισμένους περιορισμούς. Πολλές από αυτές τις μεθόδους είναι χρονοβόρες, εντάσεως εργασίας και ενδέχεται να μην έχουν ευαισθησία ή ειδικότητα σε σύγκριση με τις σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές. Επιπλέον, ορισμένες παραδοσιακές μέθοδοι μπορεί να είναι επιρρεπείς σε υποκειμενική ερμηνεία ή λάθη, οδηγώντας σε ασυνέπειες στα αποτελέσματα (Luykx et al., 2008).

Ενώ οι σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές έχουν αντικαταστήσει σε μεγάλο βαθμό τις παραδοσιακές μεθόδους στα σύγχρονα εργαστήρια ανάλυσης τροφίμων, η κληρονομιά αυτών των ιστορικών προσεγγίσεων παραμένει. Πολλές παραδοσιακές μέθοδοι έθεσαν τις βάσεις για την ανάπτυξη σύγχρονων αναλυτικών τεχνικών, παρέχοντας πολύτιμες γνώσεις σχετικά με τις αρχές της ανάλυσης τροφίμων. Επιπλέον, ορισμένες παραδοσιακές μέθοδοι εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένες εφαρμογές ή περιοχές όπου η πρόσβαση σε σύγχρονο εξοπλισμό και τεχνολογία μπορεί να είναι περιορισμένη (Wilkinson et al., 2000).

Συνοπτικά, οι ιστορικές προσεγγίσεις στην ανάλυση τροφίμων έχουν διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στην ανάπτυξη σύγχρονων αναλυτικών τεχνικών και στην κατανόησή μας για τη σύνθεση, την ποιότητα και την ασφάλεια των τροφίμων. Από τις αρχαίες αισθητηριακές αξιολογήσεις έως τις τυποποιημένες χημικές αναλύσεις, αυτές οι μέθοδοι έχουν εξελιχθεί κατά τη διάρκεια των αιώνων, αφήνοντας ένα ανεξίτηλο σημάδι στο πεδίο της επιστήμης των τροφίμων. Ενώ η σύγχρονη τεχνολογία έχει φέρει επανάσταση στην ανάλυση τροφίμων, η κληρονομιά των παραδοσιακών μεθόδων παραμένει, υπογραμμίζοντας τη σημασία των ιστορικών προοπτικών στη διαμόρφωση των τρεχουσών πρακτικών και μεθοδολογιών μας.

1.2 Περιορισμοί των παραδοσιακών μεθόδων για τη διασφάλιση της αυθεντικότητας

Οι παραδοσιακές μέθοδοι ανάλυσης τροφίμων έχουν χρησιμεύσει ως ο ακρογωνιαίος λίθος για τη διασφάλιση της αυθεντικότητας των προϊόντων διατροφής για αιώνες. Αυτές οι μέθοδοι, που έχουν τις ρίζες τους σε ιστορικές πρακτικές και εμπειρικές παρατηρήσεις, έχουν παίξει καθοριστικό ρόλο στην αξιολόγηση της ποιότητας, της σύνθεσης και της ασφάλειας των τροφίμων. Ωστόσο, παρά την ιστορική τους σημασία, οι παραδοσιακές μέθοδοι δεν είναι χωρίς περιορισμούς όσον αφορά τη διασφάλιση της αυθεντικότητας στη σύγχρονη βιομηχανία τροφίμων. Ένας από τους κύριους περιορισμούς των παραδοσιακών μεθόδων έγκειται στην υποκειμενικότητα και την εξάρτησή τους από την ανθρώπινη ερμηνεία (Rodopi et al., 2016).

Πολλές παραδοσιακές μέθοδοι, όπως οι αισθητηριακές αξιολογήσεις ή οι οπτικές επιθεωρήσεις, είναι εγγενώς υποκειμενικές και μπορούν να επηρεαστούν από μεμονωμένες προκαταλήψεις ή προτιμήσεις. Για παράδειγμα, η αξιολόγηση του χρώματος, της υφής ή του αρώματος ενός προϊόντος διατροφής μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το άτομο που διεξάγει την ανάλυση, οδηγώντας σε ασυνέπειες στα αποτελέσματα. Αυτή η υποκειμενικότητα εισάγει ένα στοιχείο αβεβαιότητας στην αξιολόγηση της γνησιότητας, καθώς η ερμηνεία των αισθητηριακών ιδιοτήτων μπορεί να διαφέρει μεταξύ των αναλυτών. Επιπλέον, οι παραδοσιακές μέθοδοι συχνά δεν διαθέτουν την απαιτούμενη εξειδίκευση για τον εντοπισμό λεπτών διαφορών ή πλαστών σε πολύπλοκες μήτρες τροφίμων (Misra et al., 2017).

Απλές χημικές δοκιμές, όπως τιτλοδοτήσεις ή χρωματομετρικές δοκιμές, ενδέχεται να μην είναι σε θέση να διακρίνουν μεταξύ φυσικών και συνθετικών πρόσθετων ή να προσδιορίσουν ίχνη επιπέδων προσμίξεων. Αυτός ο περιορισμός μπορεί να είναι ιδιαίτερα προβληματικός σε περιπτώσεις όπου οι απατεώνες χρησιμοποιούν εξελιγμένες τεχνικές για να μιμηθούν τα αυθεντικά χαρακτηριστικά των τροφίμων ή να συγκαλύψουν την παρουσία νοθευτών. Χωρίς την απαραίτητη εξειδίκευση, οι παραδοσιακές μέθοδοι ενδέχεται να αποτύχουν να ανιχνεύσουν περιπτώσεις απάτης ή νοθείας, θέτοντας σε κίνδυνο την ακεραιότητα της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων. Εκτός από την έλλειψη ειδικότητας, οι παραδοσιακές μέθοδοι μπορεί επίσης να υποφέρουν από περιορισμένη ευαισθησία, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για τον εντοπισμό χαμηλών επιπέδων νοθευτές ή μολυσματικές ουσίες (Peris & Escuder-Gilabert, 2009).

Πολλά παραδοσιακά τεστ έχουν όρια ανίχνευσης που είναι υψηλότερα από εκείνα που απαιτούνται για τον αποτελεσματικό εντοπισμό πρακτικών απάτης. Ως αποτέλεσμα, οι

απατεώνες μπορεί να προσθέτουν σκόπιμα μοχλούς σε μικρές ποσότητες για να αποφύγουν τον εντοπισμό, γνωρίζοντας ότι οι παραδοσιακές μέθοδοι ενδέχεται να μην είναι σε θέση να τους εντοπίσουν. Αυτός ο περιορισμός υπογραμμίζει την ανάγκη για πιο ευαίσθητες αναλυτικές τεχνικές ικανές να ανιχνεύουν ίχνη νοθευτικών ή μολυσματικών ουσιών σε δείγματα τροφίμων. Μια άλλη πρόκληση που σχετίζεται με τις παραδοσιακές μεθόδους είναι η χρονοβόρα και εντατική φύση τους (DeSoucey, 2010).

Πολλές παραδοσιακές δοκιμές απαιτούν εκτεταμένη προετοιμασία δειγμάτων, χειροκίνητο χειρισμό και πολλαπλά στάδια ανάλυσης, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερήσεις στη λήψη αποτελεσμάτων και να αυξήσει το κόστος της ανάλυσης, ειδικά για δοκιμές μεγάλης κλίμακας. Επιπλέον, η εξάρτηση από μη αυτόματες διαδικασίες αυξάνει τον κίνδυνο ανθρώπινου λάθους και μεταβλητότητας, επηρεάζοντας δυνητικά την ακρίβεια και την αναπαραγωγικότητα των αποτελεσμάτων. Στη σημερινή βιομηχανία τροφίμων με γρήγορους ρυθμούς, όπου η έγκαιρη και ακριβής ανάλυση είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της ασφάλειας και της ποιότητας των τροφίμων, η ένταση χρόνου και πόρων των παραδοσιακών μεθόδων μπορεί να δημιουργήσει σημαντικές προκλήσεις (Zachmann & Østby, 2011).

Επιπλέον, οι παραδοσιακές μέθοδοι μπορεί να είναι ανεπαρκείς για την ανίχνευση περίπλοκων μορφών τροφίμων απάτης, όπως η χρήση προηγμένων τεχνικών επεξεργασίας ή πλαστών συστατικών. Οι απατεώνες εξελίσσουν συνεχώς τις μεθόδους τους για να παρακάμψουν τις παραδοσιακές δοκιμές, απαιτώντας πιο προηγμένες αναλυτικές προσεγγίσεις ικανές να συμβαδίζουν με τα αναδυόμενα συστήματα απάτης. Χωρίς τη δυνατότητα ανίχνευσης αυτών των περίπλοκων μορφών απάτης, οι παραδοσιακές μέθοδοι ενδέχεται να αποτύχουν να παρέχουν μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση της γνησιότητας, αφήνοντας την αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων ευάλωτη στην εκμετάλλευση. Επιπλέον, πολλές παραδοσιακές μέθοδοι παρέχουν ποιοτικά και όχι ποσοτικά αποτελέσματα, καθιστώντας δύσκολη την αξιολόγηση της έκτασης νοθείας ή να ποσοτικοποιηθεί με ακρίβεια η συγκέντρωση συγκεκριμένων ενώσεων (Biswas & Chaudhari, 2024).

Η ποσοτική ανάλυση είναι απαραίτητη για τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς και την αξιολόγηση κινδύνου, καθώς επιτρέπει στις ρυθμιστικές αρχές να καθορίσουν κατώφλια για αποδεκτά επίπεδα προσμείξεων ή νοθευτών στα τρόφιμα. Χωρίς ακριβή ποσοτικό προσδιορισμό, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η σοβαρότητα ενός περιστατικού απάτης ή να εκτιμηθεί ο πιθανός αντίκτυπός του στη δημόσια υγεία και ασφάλεια. Επιπλέον, οι παραδοσιακές μέθοδοι συχνά εστιάζουν στην ανάλυση μιας παραμέτρου ή χαρακτηριστικού

ενός τροφίμου κάθε φορά, περιορίζοντας την ικανότητά τους να παρέχουν μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση της γνησιότητας (Beske et al., 2014). Αυτή η στενή εστίαση μπορεί να παραβλέπει άλλους δείκτες απάτης ή νοθείας, οδηγώντας σε ελλιπή ή ανακριβή συμπεράσματα. Στη σημερινή πολύπλοκη αγορά τροφίμων, όπου οι απατεώνες χρησιμοποιούν ποικίλες τακτικές για να εξαπατήσουν τους καταναλωτές και τις ρυθμιστικές αρχές, μια ολιστική προσέγγιση για την αξιολόγηση της γνησιότητας είναι απαραίτητη για τον αποτελεσματικό εντοπισμό και τον μετριασμό της απάτης (Rahman & Ahmad, 2024).

Επιπλέον, η αποτελεσματικότητα των παραδοσιακών μεθόδων μπορεί να επηρεαστεί από την πολυπλοκότητα της μήτρας τροφίμων, οδηγώντας σε μεταβλητότητα στα αποτελέσματα. Πολλές παραδοσιακές δοκιμές απαιτούν εκτεταμένα στάδια προετοιμασίας δείγματος, συμπεριλαμβανομένης της εκχύλισης, του καθαρισμού και της συμπύκνωσης, για την απομόνωση αναλυτών που μας ενδιαφέρουν. Η αποτελεσματικότητα αυτών των μεθόδων μπορεί να επηρεαστεί από την παρουσία παρεμβαλλόμενων ουσιών ή επιδράσεων μήτρας, που μπορεί να επηρεάσουν την ακρίβεια και την αναπαραγωγιμότητα των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, η έλλειψη τυποποίησης και αυτοματοποίησης στις παραδοσιακές μεθόδους μπορεί να συμβάλει περαιτέρω στη μεταβλητότητα των αποτελεσμάτων, καθώς διαφορετικοί αναλυτές μπορεί να χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνικές ή πρωτόκολλα (Rahman & Ahmad, 2024).

Τέλος, οι παραδοσιακές μέθοδοι μπορεί να έχουν περιορισμένο εύρος ανάλυσης, εστιάζοντας σε ένα συγκεκριμένο σύνολο παραμέτρων ή αναλυτών. Αυτό το περιορισμένο εύρος μπορεί να παραβλέπει αναδυόμενους ρυπαντές, νοθευτές ή νέα σχέδια απάτης που δεν καλύπτονται από παραδοσιακές δοκιμές. Καθώς οι απατεώνες συνεχίζουν να καινοτομούν και να αναπτύσσουν νέους τρόπους εξαπάτησης των καταναλωτών και των ρυθμιστικών αρχών, οι παραδοσιακές μέθοδοι ενδέχεται να δυσκολεύονται να συμβαδίσουν με τα εξελισσόμενα συστήματα απάτης. Αυτό υπογραμμίζει την ανάγκη για συνεχή έρευνα και καινοτομία στον τομέα της ανάλυσης γνησιότητας τροφίμων για την ανάπτυξη νέων μεθόδων ικανών να ανιχνεύουν αναδυόμενες απειλές για την ακεραιότητα της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων (National Research Council et al., 2010).

Συμπερασματικά, ενώ οι παραδοσιακές μέθοδοι έχουν διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη διασφάλιση της αυθεντικότητας των προϊόντα διατροφής σε όλη την ιστορία, δεν είναι χωρίς περιορισμούς στη σύγχρονη βιομηχανία τροφίμων. Αυτοί οι περιορισμοί, συμπεριλαμβανομένης της υποκειμενικότητας, της έλλειψης εξειδίκευσης και ευαισθησίας, της χρονοβόρας και έντασης εργασίας, της αδυναμίας εντοπισμού περίπλοκης απάτης, της

έλλειψης ποσοτικής ανάλυσης, της ανάλυσης μιας παραμέτρου, της εξάρτησης από την προετοιμασία του δείγματος, της έλλειψης αυτοματισμού και τυποποίησης και περιορισμένη το εύρος της ανάλυσης, υπογραμμίζουν την ανάγκη για πιο προηγμένες αναλυτικές τεχνικές ικανές να αντιμετωπίσουν τις εξελισσόμενες προκλήσεις της αυθεντικότητας των τροφίμων. Αναδεικνύοντας την καινοτομία και αξιοποιώντας τεχνολογία αιχμής, η βιομηχανία τροφίμων μπορεί να ενισχύσει την ικανότητά της να εντοπίζει και να αποτρέπει δόλιες πρακτικές, προστατεύοντας την ακεραιότητα της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων και προστατεύοντας την εμπιστοσύνη και την ασφάλεια των καταναλωτών.

Ενότητα 2^η

2.1 Επισκόπηση των κοινών παραδοσιακών αναλυτικών τεχνικών που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση τροφίμων

Οι παραδοσιακές αναλυτικές τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί από καιρό στη βιομηχανία τροφίμων για την αξιολόγηση της ποιότητας, της ασφάλειας και της αυθεντικότητας των προϊόντων διατροφής. Αυτές οι μέθοδοι, που έχουν τις ρίζες τους σε πρακτικές και εμπειρικές παρατηρήσεις αιώνων, έχουν δώσει πολύτιμες γνώσεις για τη σύνθεση, τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες διαφόρων ειδών διατροφής (Ibañez & Cifuentes, 2001).

Η αισθητηριακή αξιολόγηση είναι μια από τις παλαιότερες και πιο θεμελιώδεις τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση τροφίμων, βασισμένη στην ανθρώπινη αισθητηριακή αντίληψη για την αξιολόγηση των οργανοληπτικών ιδιοτήτων των προϊόντων διατροφής. Αυτό περιλαμβάνει χαρακτηριστικά όπως εμφάνιση, χρώμα, άρωμα, γεύση, υφή και συνολική αποδοχή. Εκπαιδευμένοι πάνελ αισθήσεων ή καταναλωτές αξιολογούν δείγματα χρησιμοποιώντας τυποποιημένα πρωτόκολλα και συστήματα βαθμολόγησης για να παρέχουν υποκειμενικές αξιολογήσεις της ποιότητας του προϊόντος και των αισθητηριακών ιδιοτήτων. Η αισθητηριακή αξιολόγηση χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία τροφίμων για την ανάπτυξη προϊόντων, τον ποιοτικό έλεγχο και την έρευνα αγοράς. Ωστόσο, είναι υποκειμενικό και μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τις ατομικές προτιμήσεις και προκαταλήψεις (Luykx & Van Ruth, 2008).

Η οπτική επιθεώρηση περιλαμβάνει την οπτική εξέταση των τροφίμων για τυχόν σωματικά ελαττώματα, ανωμαλίες ή σημάδια αλλοίωσης. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την

αξιολόγηση του χρώματος, του σχήματος, του μεγέθους, της υφής και των χαρακτηριστικών επιφάνειας των ειδών διατροφής. Η οπτική επιθεώρηση είναι μια απλή και γρήγορη τεχνική που χρησιμοποιείται για τον ποιοτικό έλεγχο και τον εντοπισμό ελαττωμάτων σε διάφορα προϊόντα διατροφής, συμπεριλαμβανομένων των φρούτων, των λαχανικών, των δημητριακών, των κρεάτων και των θαλασσινών. Ωστόσο, είναι υποκειμενικό και μπορεί να παραβλέπει λεπτές ατέλειες ή ρύπους που δεν είναι εύκολα ορατές με γυμνό μάτι (Cigic & Prosen, 2009).

Οι χημικές δοκιμές περιλαμβάνουν τη χρήση χημικών αντιδραστηρίων και αντιδράσεων για την αξιολόγηση της σύνθεσης, της ποιότητας και της ασφάλειας των προϊόντων διατροφής. Αυτές οι δοκιμές μπορεί να περιλαμβάνουν ποιοτικές και ποσοτικές αναλύσεις συγκεκριμένων ενώσεων ή λειτουργικών ομάδων που υπάρχουν σε δείγματα τροφίμων. Οι συνήθεις χημικές δοκιμές που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση τροφίμων περιλαμβάνουν τιτλοδοτήσεις, χρωματομετρικούς προσδιορισμούς, βαρυμετρικές μεθόδους και φασματοσκοπικές τεχνικές όπως η φασματοσκοπία UV-Vis και FTIR. Οι χημικές δοκιμές χρησιμοποιούνται ευρέως για ανάλυση θρεπτικών συστατικών, ανίχνευση μόλυνσης και αξιολόγηση γνησιότητας σε προϊόντα διατροφής. Ωστόσο, μπορεί να στερούνται ειδικότητας και ευαισθησίας, ιδιαίτερα όταν αναλύονται πολύπλοκες ενώσεις ή ίχνη επιπέδων ρύπων (Muñoz-Olivas, 2004).

Η μικροσκοπική ανάλυση περιλαμβάνει τη χρήση μικροσκοπίου φωτός ή ηλεκτρονικής μικροσκοπίας για την εξέταση της μικροδομής και της μορφολογίας των δειγμάτων τροφίμων. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την αναγνώριση συστατικών τροφίμων, όπως κόκκους αμύλου, σφαιρίδια λίπους, μυϊκές ίνες και φυτικά κύτταρα, καθώς και τον εντοπισμό μολυσματικών ουσιών ή μικροοργανισμών. Η μικροσκοπική ανάλυση είναι πολύτιμη για την αξιολόγηση της ποιότητας των προϊόντων, της γνησιότητας και της μόλυνσης σε διάφορα προϊόντα διατροφής, συμπεριλαμβανομένων των δημητριακών, των γαλακτοκομικών προϊόντων, των προϊόντων κρέατος και των επεξεργασμένων τροφίμων. Ωστόσο, απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό και τεχνογνωσία και μπορεί να είναι χρονοβόρα (Lama-Muñoz & Contreras, 2022).

Οι φυσικές δοκιμές περιλαμβάνουν τη μέτρηση των φυσικών ιδιοτήτων ή χαρακτηριστικών των προϊόντων διατροφής χρησιμοποιώντας εξειδικευμένο εξοπλισμό ή όργανα. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει δοκιμές για την υφή, το ιξώδες, την πυκνότητα, την περιεκτικότητα σε υγρασία, το pH και τη δραστηριότητα του νερού. Οι φυσικές δοκιμές χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ποιότητας, της σταθερότητας και της διάρκειας

ζωής του προϊόντος, καθώς και για τον εντοπισμό φυσικών ελαττωμάτων ή ανωμαλιών σε δείγματα τροφίμων. Οι συνήθεις φυσικές δοκιμές που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση τροφίμων περιλαμβάνουν ανάλυση υφής, ρεολογικές μετρήσεις, ανάλυση υγρασίας και μέτρηση pH. Οι φυσικές δοκιμές παρέχουν αντικειμενικές μετρήσεις των ιδιοτήτων του προϊόντος, αλλά ενδέχεται να απαιτούν βαθμονόμηση και επικύρωση για να διασφαλιστεί η ακρίβεια και η αναπαραγωγιμότητα (Luykx et al., 2008).

Η οργανοληπτική αξιολόγηση περιλαμβάνει την αξιολόγηση των αισθητηριακών ιδιοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της γεύσης, της οσμής, της αίσθησης στο στόμα και της επίγευσης, χρησιμοποιώντας ανθρώπινες αισθήσεις. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει εκπαιδευμένα αισθητηριακά πάνελ ή πάνελ γεύσης καταναλωτών που αξιολογούν δείγματα τροφίμων χρησιμοποιώντας τυποποιημένα πρωτόκολλα και συστήματα βαθμολόγησης. Η οργανοληπτική αξιολόγηση χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάπτυξη προϊόντων, τον ποιοτικό έλεγχο και το αισθητηριακό προφίλ των προϊόντων διατροφής. Ωστόσο, είναι υποκειμενικό και μπορεί να επηρεάζεται από ατομικές διαφορές στη γευστική αντίληψη και προτίμηση (Kalloo et al., 2024).

Οι χρωματογραφικές τεχνικές περιλαμβάνουν το διαχωρισμό και την ανάλυση μεμονωμένων συστατικών σε πολύπλοκα μείγματα με βάση τις διαφορές στις χημικές τους ιδιότητες και τις αλληλεπιδράσεις με μια στατική φάση και μια κινητή φάση. Οι κοινές χρωματογραφικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση τροφίμων περιλαμβάνουν αέρια χρωματογραφία (GC), υγρή χρωματογραφία (LC) και χρωματογραφία λεπτής στιβάδας (TLC). Οι χρωματογραφικές τεχνικές χρησιμοποιούνται ευρέως για την ανάλυση πρόσθετων τροφίμων, μολυσματικών ουσιών, γεύσεων και αρωμάτων, καθώς και για τον χαρακτηρισμό συστατικών τροφίμων όπως λιπαρά οξέα, αμινοξέα, βιταμίνες και φυτοφάρμακα. Ωστόσο, απαιτούν εξειδικευμένο εξοπλισμό, τεχνογνωσία και προετοιμασία δειγμάτων και μπορεί να είναι χρονοβόρα (Gallo & Ferranti, 2016).

Οι φασματοσκοπικές τεχνικές περιλαμβάνουν τη μέτρηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και ύλης για τη λήψη πληροφοριών σχετικά με τη σύνθεση, τη δομή και τις ιδιότητες των δειγμάτων τροφίμων. Οι κοινές φασματοσκοπικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση τροφίμων περιλαμβάνουν τη φασματοσκοπία υπεριώδους-ορατής (UV-Vis), φασματοσκοπία υπέρυθρης (IR), φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR) και φασματομετρία μάζας (MS). Οι φασματοσκοπικές τεχνικές χρησιμοποιούνται ευρέως για την ανάλυση της σύνθεσης, της γνησιότητας, της μόλυνσης και της ποιότητας των τροφίμων, καθώς και για την ανίχνευση μολυσματικών

ουσιών, τοξινών και αλλεργιογόνων. Ωστόσο, απαιτούν εξελεγμένα όργανα, ανάλυση δεδομένων και ερμηνεία και ενδέχεται να περιορίζονται από παράγοντες όπως η πολυπλοκότητα του δείγματος (Γεωργίου, 2022).

Οι βαρυμετρικές μέθοδοι περιλαμβάνουν τη μέτρηση των αλλαγών μάζας ή βάρους για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης ή της ποσότητας μιας συγκεκριμένης αναλυόμενης ουσίας σε ένα δείγμα τροφίμου. Αυτές οι μέθοδοι βασίζονται στις αρχές της ισορροπίας μάζας, της καθίζησης, της διήθησης και της ξήρανσης για την απομόνωση και τον ποσοτικό προσδιορισμό της αναλυόμενης ουσίας που ενδιαφέρει. Οι κοινές βαρυμετρικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση τροφίμων περιλαμβάνουν τη βαρυμετρική τιτλοδότηση, τον βαρυμετρικό προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε υγρασία και τον βαρυμετρικό προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε λίπος. Οι βαρυμετρικές μέθοδοι παρέχουν ακριβείς μετρήσεις αλλά μπορεί να απαιτούν μακροχρόνιες διαδικασίες και εξειδικευμένο εξοπλισμό (Κόκκαλη, 2019).

Οι τιτρομετρικές τεχνικές περιλαμβάνουν τη μέτρηση του όγκου ενός διαλύματος αντιδραστήριου που απαιτείται για την αντίδραση με μια συγκεκριμένη αναλυόμενη ουσία σε ένα δείγμα τροφίμου. Αυτές οι τεχνικές βασίζονται στις αρχές της ογκομετρικής ανάλυσης και τιτλοδότησης, όπου μια γνωστή συγκέντρωση τιτλοδοτητή προστίθεται στο δείγμα μέχρι να επιτευχθεί το τελικό σημείο της αντίδρασης. Οι κοινές τιτρομετρικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση τροφίμων περιλαμβάνουν τιτλοδοτήσεις οξέος-βάσης, τιτλοδοτήσεις οξειδοαναγωγής και συμπλεγματομετρικές τιτλοδοτήσεις. Οι τιτρομετρικές τεχνικές χρησιμοποιούνται ευρέως για τον προσδιορισμό της οξύτητας, της αλκαλικότητας, των ρυθμιστών οξύτητας και των συντηρητικών στα τρόφιμα. Ωστόσο, απαιτούν προσεκτική τυποποίηση, ακριβή μέτρηση και ακριβή προσδιορισμό τελικού σημείου (James, 2013).

Οι βιολογικές αναλύσεις περιλαμβάνουν τη χρήση ζωντανών οργανισμών ή βιολογικών συστημάτων για την αξιολόγηση της βιολογικής δραστηριότητας ή ισχύος ενός δείγματος τροφής. Αυτές οι δοκιμασίες βασίζονται στις αρχές της βιοδοκιμασίας, όπου η απόκριση του βιολογικού συστήματος μετράται σε απόκριση στην παρουσία ή τη συγκέντρωση μιας συγκεκριμένης αναλυόμενης ουσίας. Οι κοινές βιολογικές δοκιμασίες που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση τροφίμων περιλαμβάνουν μικροβιακούς προσδιορισμούς, προσδιορισμούς ενζύμων και προσδιορισμούς τοξικότητας. Οι βιολογικές αναλύσεις είναι πολύτιμες για την αξιολόγηση της ασφάλειας, της ποιότητας και της αποτελεσματικότητας των προϊόντων διατροφής, ιδιαίτερα εκείνων που περιέχουν βιοδραστικές ενώσεις ή

πρόσθετα. Ωστόσο, μπορεί να είναι χρονοβόρα, να απαιτούν εξειδικευμένες εγκαταστάσεις και να περιλαμβάνουν ηθικούς λόγους (Ward & Legako, 2017).

Οι ηλεκτροφορητικές τεχνικές περιλαμβάνουν το διαχωρισμό και την ανάλυση φορτισμένων σωματιδίων ή μορίων σε ένα διάλυμα υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου. Αυτές οι τεχνικές βασίζονται στις αρχές της ηλεκτροφόρησης, όπου οι φορτισμένοι αναλυτές μεταναστεύουν μέσω ενός μέσου με διαφορετικούς ρυθμούς ανάλογα με το μέγεθος, το σχήμα και το φορτίο τους (Rudge & Monnig, 2000). Οι κοινές ηλεκτροφορητικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση τροφίμων περιλαμβάνουν ηλεκτροφόρηση γέλης, τριχοειδή ηλεκτροφόρηση και ισοηλεκτρική εστίαση. Οι ηλεκτροφορητικές τεχνικές χρησιμοποιούνται ευρέως για τον διαχωρισμό και την ανάλυση πρωτεϊνών, νουκλεϊκών οξέων, υδατανθράκων και άλλων φορτισμένων μορίων σε δείγματα τροφίμων. Ωστόσο, απαιτούν εξειδικευμένο εξοπλισμό, buffers και συστήματα ανίχνευσης και μπορεί να περιορίζονται από παράγοντες όπως η πολυπλοκότητα του δείγματος (Surugau & Urban, 2009).

Συμπερασματικά, οι παραδοσιακές αναλυτικές τεχνικές έχουν παίξει καθοριστικό ρόλο στην αξιολόγηση της ποιότητας, της ασφάλειας και της αυθεντικότητας των τροφίμων για αιώνες. Αυτές οι μέθοδοι, που έχουν τις ρίζες τους σε ιστορικές πρακτικές και εμπειρικές παρατηρήσεις, παρέχουν πολύτιμες γνώσεις για τη σύνθεση, τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες διαφόρων ειδών διατροφής. Ωστόσο, δεν είναι χωρίς περιορισμούς, συμπεριλαμβανομένης της υποκειμενικότητας, της έλλειψης ειδικότητας και ευαισθησίας, της χρονοβόρας και εντατικής εργασίας και της εξάρτησης από εξειδικευμένο εξοπλισμό και τεχνογνωσία. Καθώς η βιομηχανία τροφίμων συνεχίζει να εξελίσσεται, υπάρχει μια αυξανόμενη ανάγκη για πιο προηγμένες αναλυτικές τεχνικές που προσφέρουν μεγαλύτερη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα στη διασφάλιση της αυθεντικότητας και της ακεραιότητας των προϊόντων διατροφής.

Αναδεικνύοντας την καινοτομία και αξιοποιώντας τεχνολογία αιχμής, η βιομηχανία τροφίμων μπορεί να ενισχύσει την ικανότητά της να ανταποκρίνεται στις εξελισσόμενες προκλήσεις της ανάλυσης τροφίμων και να διασφαλίζει την ασφάλεια και την ποιότητα των προϊόντων διατροφής για τους καταναλωτές σε όλο τον κόσμο.

2.2 Σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές

Στο δυναμικό τοπίο της ανάλυσης τροφίμων, η εμφάνιση σύγχρονων αναλυτικών τεχνικών έχει φέρει επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο αξιολογούμε την ποιότητα, την ασφάλεια και την αυθεντικότητα των προϊόντων διατροφής. Αυτές οι προηγμένες μέθοδοι, με γνώμονα την τεχνολογία αιχμής και τις καινοτόμες προσεγγίσεις, προσφέρουν άνευ προηγουμένου δυνατότητες στον χαρακτηρισμό της σύνθεσης των τροφίμων, στην ανίχνευση προσμίξεων και στον εντοπισμό δόλιων πρακτικών (Murdoch et al., 2017).

Ο τομέας της ανάλυσης τροφίμων έχει υποστεί έναν αξιοσημείωτο μετασχηματισμό με την πάροδο των ετών, από παραδοσιακές μεθόδους που βασίζονται σε εμπειρικές παρατηρήσεις σε σύγχρονες τεχνικές που οδηγούνται από επιστημονικές εξελίξεις και τεχνολογική καινοτομία. Ενώ οι παραδοσιακές μέθοδοι όπως η αισθητηριακή αξιολόγηση, οι χημικές δοκιμές και η μικροσκοπία έχουν θέσει τα θεμέλια για την ανάλυση τροφίμων, οι σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές έχουν επεκτείνει τις δυνατότητές μας σε νέα όρια, προσφέροντας μεγαλύτερη ευαισθησία, ειδικότητα και αποτελεσματικότητα στην ανάλυση δειγμάτων τροφίμων (Chapman et al., 2022).

Οι σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές βασίζονται σε ένα ευρύ φάσμα αρχών και μεθοδολογιών, που περιλαμβάνουν διάφορους κλάδους της επιστήμης και της μηχανικής. Αυτές οι τεχνικές αξιοποιούν τις αρχές της χημείας, της φυσικής, της βιολογίας και της μηχανικής για την ανάλυση δειγμάτων τροφίμων σε μοριακό, ατομικό και μικροσκοπικό επίπεδο. Από τη φασματοσκοπία και τη χρωματογραφία έως τη φασματομετρία μάζας και τη μοριακή βιολογία, οι σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές χρησιμοποιούν εξελιγμένα όργανα, αλγόριθμους ανάλυσης δεδομένων και υπολογιστική μοντελοποίηση για την εξαγωγή πολύτιμων πληροφοριών από πολύπλοκους πίνακες τροφίμων (Abid et al., 2024).

Οι σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές βρίσκουν ευρέως διαδεδομένες εφαρμογές σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων, από το αγρόκτημα μέχρι το πιρούνι. Αυτές οι τεχνικές χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ποιότητας, της ασφάλειας και της αυθεντικότητας των πρώτων υλών, των συστατικών, των ενδιάμεσων προϊόντων και των τελικών προϊόντων διατροφής. Χρησιμοποιούνται για συνήθη ποιοτικό έλεγχο, δοκιμές συμμόρφωσης με τους κανονισμούς, έρευνα και ανάπτυξη σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας τροφίμων, συμπεριλαμβανομένης της γεωργίας, της επεξεργασίας τροφίμων, της κατασκευής, της διανομής και του λιανικού εμπορίου. Είτε πρόκειται για την ανίχνευση υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων στα φρούτα και τα λαχανικά, τον εντοπισμό αλλεργιογόνων

σε συσκευασμένα τρόφιμα ή την επαλήθευση της προέλευσης των γαλακτοκομικών προϊόντων, οι σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση της ακεραιότητας της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων (Misra et al., 2020).

Ένας από τους κύριους μοχλούς πίσω από την υιοθέτηση σύγχρονων αναλυτικών τεχνικών στην ανάλυση τροφίμων είναι η σημασία τους για τη διαφύλαξη της δημόσιας υγείας και τη διασφάλιση της ασφάλειας των τροφίμων. Αυτές οι τεχνικές επιτρέπουν την ταχεία και ακριβή ανίχνευση τροφιμογενών παθογόνων, τοξινών, αλλεργιογόνων και ρύπων, συμβάλλοντας στην πρόληψη τροφιμογενών ασθενειών και εστιών. Παρέχοντας έγκαιρες πληροφορίες για πιθανούς κινδύνους και κινδύνους που σχετίζονται με τα τρόφιμα, οι σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές εξουσιοδοτούν τους ρυθμιστικούς φορείς, τους κατασκευαστές τροφίμων και τους καταναλωτές να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα για τον μετριασμό των κινδύνων και την προστασία της δημόσιας υγείας (Carroll & Wheaton, 2009).

Εκτός από τη διασφάλιση της ασφάλειας των τροφίμων, οι σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές διαδραματίζουν επίσης ζωτικό ρόλο στη βελτίωση της ποιότητας των τροφίμων και στην προώθηση της καινοτομίας στη βιομηχανία τροφίμων. Αυτές οι τεχνικές επιτρέπουν τον χαρακτηρισμό της σύνθεσης των τροφίμων, του θρεπτικού περιεχομένου, των αισθητηριακών ιδιοτήτων και των λειτουργικών ιδιοτήτων, επιτρέποντας στους κατασκευαστές τροφίμων να αναπτύξουν πιο υγιεινά, πιο νόστιμα και πιο ελκυστικά προϊόντα. Είτε πρόκειται για τη βελτιστοποίηση των συνθηκών επεξεργασίας, τη διαμόρφωση νέων συνταγών ή την αναμόρφωση υπαρχόντων προϊόντων για να ανταποκρίνονται στις προτιμήσεις των καταναλωτών και τις διατροφικές τάσεις, οι σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες και καθοδήγηση για την ανάπτυξη και την καινοτομία προϊόντων (Lamine et al, 2012).

Ένας άλλος τομέας όπου οι σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές υπερέχουν είναι η αντιμετώπιση των πολύπλοκων προκλήσεων που σχετίζονται με την αυθεντικότητα των τροφίμων και τον εντοπισμό απάτης. Με την παγκοσμιοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων και την αυξανόμενη πολυπλοκότητα των δόλιων πρακτικών, υπάρχει αυξανόμενη ανάγκη για προηγμένες αναλυτικές μεθόδους ικανές να ανιχνεύουν νοθεία, υποκατάσταση και απομιμήσεις προϊόντων. Οι σύγχρονες τεχνικές όπως η αλληλουχία DNA, η ανάλυση σταθερών ισοτόπων και η προηγμένη φασματοσκοπία προσφέρουν ισχυρά εργαλεία για την επαλήθευση της γνησιότητας, της προέλευσης και της καθαρότητας των προϊόντων

διατροφής, συμβάλλοντας στη διατήρηση της εμπιστοσύνης των καταναλωτών στην αγορά (Marsden, 2018).

Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται και η κατανόησή μας για την επιστήμη των τροφίμων βαθαίνει, το μέλλον των σύγχρονων αναλυτικών τεχνικών στην ανάλυση τροφίμων υπόσχεται τεράστιες εξελίξεις για το άμεσο μέλλον . Αναδυόμενες τεχνολογίες όπως η νανοτεχνολογία, οι βιοαισθητήρες, το artificial Intelligence και το blockchain είναι έτοιμες να φέρουν επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο αναλύουμε, παρακολουθούμε και ανιχνεύουμε τα τρόφιμα σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού. Αυτές οι καινοτομίες προσφέρουν ευκαιρίες για μεγαλύτερο αυτοματισμό, μικρογραφία, φορητότητα και παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας πιο αποτελεσματικές και οικονομικά αποδοτικές λύσεις για ανάλυση τροφίμων σε διάφορα περιβάλλοντα, από εργαστηριακούς ελέγχους έως εφαρμογές πεδίου (Fitzgerald et al., 2020) .

Συμπερασματικά, οι σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές αντιπροσωπεύουν μια αλλαγή παραδείγματος στον τομέα της ανάλυσης τροφίμων, προσφέροντας πρωτοφανείς δυνατότητες στην αξιολόγηση της ποιότητας, της ασφάλειας και της γνησιότητας των προϊόντων διατροφής. Από τη φασματοσκοπία και τη χρωματογραφία έως τη φασματομετρία μάζας και τη μοριακή βιολογία, αυτές οι προηγμένες μέθοδοι αξιοποιούν την τεχνολογία αιχμής και τις καινοτόμες προσεγγίσεις για να παρέχουν ακριβείς, αξιόπιστες και έγκαιρες πληροφορίες σχετικά με τη σύνθεση των τροφίμων, τους ρύπους και την απάτη. Αναδεικνύοντας τις σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές, η βιομηχανία τροφίμων μπορεί να ενισχύσει την ικανότητά της να ανταποκρίνεται στις εξελισσόμενες προκλήσεις της ασφάλειας, της ποιότητας και της αυθεντικότητας των τροφίμων, διασφαλίζοντας τελικά την ακεραιότητα της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων και την ευημερία των καταναλωτών παγκοσμίως.

2.3 Φασματοσκοπικές μέθοδοι στην ανάλυση τροφίμων

Οι φασματοσκοπικές μέθοδοι έχουν αναδειχθεί ως ισχυρά εργαλεία στον τομέα της ανάλυσης τροφίμων, προσφέροντας γρήγορες, μη καταστροφικές και ποσοτικές γνώσεις για τη σύνθεση, τη δομή και την ποιότητα των προϊόντων διατροφής. Μεταξύ των διαφόρων φασματοσκοπικών τεχνικών που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση τροφίμων, το εγγύς υπέρυθρο (NIR), το υπέρυθρο μετασχηματισμού Fourier (FTIR) και η φασματοσκοπία

Raman ξεχωρίζουν για την ευελιξία, την ευαισθησία και τις εφαρμογές ευρείας εμβέλειας (Jia et al., 2024).

Η φασματοσκοπία εγγύς υπέρυθρου εκμεταλλεύεται την απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου (μήκη κύματος περίπου 700 έως 2500 nm) από μοριακές δονήσεις σε οργανικά μόρια όπως νερό, λίπη, πρωτεΐνες. Η φασματοσκοπία NIR βασίζεται στον νόμο Beer-Lambert, ο οποίος περιγράφει τη σχέση μεταξύ της απορρόφησης του φωτός από ένα δείγμα και της συγκέντρωσής του. Μετρώντας την απορρόφηση της ακτινοβολίας NIR σε διάφορα μήκη κύματος, η φασματοσκοπία NIR μπορεί να παρέχει ποσοτικές πληροφορίες σχετικά με τη χημική σύνθεση και τις ιδιότητες των δειγμάτων τροφίμων (Wang et al., 2021).

Τα φασματόμετρα NIR τυπικά αποτελούνται από μια πηγή φωτός, έναν μονοχρωμάτη ή συμβολόμετρο για την επιλογή μήκους κύματος, μια υποδοχή δείγματος ή κυψελίδα και έναν ανιχνευτή ικανό να μετρήσει την ένταση του εκπεμπόμενου ή ανακλώμενου φωτός. Τα φασματικά δεδομένα επεξεργάζονται χρησιμοποιώντας χημειομετρικές τεχνικές όπως πολυμεταβλητή ανάλυση, ανάλυση κύριου συστατικού (PCA) και παλινδρόμηση μερικών ελαχίστων τετραγώνων (PLS) για την εξαγωγή σχετικών πληροφοριών και την ανάπτυξη προγνωστικών μοντέλων για ποσοτική ανάλυση (Kharbach et al., 2023).

Η φασματοσκοπία NIR (Near Infrared Spectroscopy) βρίσκει εκτεταμένες εφαρμογές στην ανάλυση τροφίμων, καλύπτοντας μια ποικιλία αναγκών. Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε υγρασία σε δημητριακά, ξηρούς καρπούς και αποξηραμένα φρούτα. Επίσης, εφαρμόζεται στην ανάλυση της περιεκτικότητας σε λίπος σε κρέατα, γαλακτοκομικά προϊόντα και έλαια, καθώς και στην ποσοτικοποίηση πρωτεϊνών σε δημητριακά, όσπρια και επεξεργασμένα τρόφιμα. Επιπλέον, η φασματοσκοπία NIR αξιοποιείται για την πρόβλεψη της περιεκτικότητας σε ζάχαρη σε φρούτα, χυμούς και ποτά. Επίσης, χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό νοθευτών, μολυσματικών ουσιών και ξένων υλικών σε προϊόντα διατροφής. Τέλος, συμβάλλει στον έλεγχο ταυτότητας και γνησιότητας, επιτρέποντας τον προσδιορισμό της γεωγραφικής προέλευσης, της ποικιλίας και της γνησιότητας των προϊόντων διατροφής. Η φασματοσκοπία NIR αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο που ενισχύει την ακρίβεια και την αποδοτικότητα στην ανάλυση τροφίμων, συμβάλλοντας στη διασφάλιση της ποιότητας και της ασφάλειας των προϊόντων διατροφής (Wang et al., 2017).

Η φασματοσκοπία NIR επιτρέπει την ταχεία και μη καταστροφική ανάλυση δειγμάτων τροφίμων, επιτρέποντας την παρακολούθηση και τον ποιοτικό έλεγχο σε

πραγματικό χρόνο κατά την επεξεργασία και παραγωγή τροφίμων. Η φασματοσκοπία NIR μπορεί να μετρήσει ταυτόχρονα πολλαπλά συστατικά σε ένα δείγμα τροφίμου, παρέχοντας ολοκληρωμένες πληροφορίες για τη σύνθεση και τις ιδιότητές του. Ακόμη, η φασματοσκοπία NIR απαιτεί ελάχιστη προετοιμασία δείγματος, μειώνοντας τον χρόνο, το κόστος και τους πόρους που απαιτούνται για την ανάλυση σε σύγκριση με τις παραδοσιακές χημικές μεθόδους. Η φασματοσκοπία μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων στερεών, υγρών και σκονών, καθιστώντας την κατάλληλη για ποικίλες εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων (Cheng et al., 2013).

Η υπέρυθη φασματοσκοπία μετασχηματισμού Fourier βασίζεται στην απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας από χημικούς δεσμούς σε οργανικά μόρια, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τις λειτουργικές ομάδες, τη μοριακή δομή και τη χημική σύνθεση. Η φασματοσκοπία FTIR καλύπτει την περιοχή του μέσου υπέρυθρου (μήκη κύματος περίπου 2,5 έως 25 μm) και είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε μοριακές δονήσεις που σχετίζονται με δεσμούς C-H, O-H, N-H και C=O στα μόρια των τροφίμων (Zareef et al., 2021).

Τα φασματόμετρα FTIR χρησιμοποιούν συμβολόμετρα για τη δημιουργία συμβολογραμμάτων από το φάσμα απορρόφησης υπέρυθρων του δείγματος, τα οποία στη συνέχεια μετασχηματίζονται με Fourier για να ληφθεί το τελικό φάσμα απορρόφησης. Τα φάσματα FTIR αναλύονται χρησιμοποιώντας φασματικές βιβλιοθήκες, αναγνώριση κορυφών και χημειομετρικές τεχνικές όπως PCA, PLS και ανάλυση συστάδων για ποιοτική και ποσοτική ανάλυση (Ali et al., 2022).

Η φασματοσκοπία FTIR έχει ποικίλες εφαρμογές στην ανάλυση τροφίμων, όπως:

- Χαρακτηρισμός λειτουργικών ομάδων
- Μοριακή δομή και χημική σύνθεση συστατικών τροφίμων
- Προσδιορισμός προσθέτων τροφίμων
- Συντηρητικών και μολυσματικών ουσιών όπως φυτοφάρμακα, τοξίνες και αλλεργιογόνα
- Ποιοτικός έλεγχος και έλεγχος ταυτότητας των προϊόντων διατροφής με βάση τα υπέρυθρα δακτυλικά αποτυπώματα
- Παρακολούθηση οξείδωσης λιπιδίων, μετουσίωσης πρωτεϊνών και άλλων χημικών αλλαγών κατά την επεξεργασία και αποθήκευση τροφίμων
- Ανίχνευση νοθείας, υποκατάστασης και εσφαλμένης επισήμανσης σε προϊόντα διατροφής (Franca & Nollet, 2017).

Η φασματοσκοπία FTIR παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τη μοριακή δομή και τη χημική σύνθεση, επιτρέποντας ακριβή αναγνώριση και χαρακτηρισμό των συστατικών των τροφίμων, καθιστώντας το κατάλληλο για εφαρμογές υψηλής απόδοσης και ποιοτικού ελέγχου. Η φασματοσκοπία FTIR απαιτεί ελάχιστη προετοιμασία δειγμάτων, μειώνοντας τον χρόνο, το κόστος και τους πόρους που απαιτούνται για την ανάλυση σε σύγκριση με τις παραδοσιακές χημικές μεθόδους. Η φασματοσκοπία FTIR δεν είναι καταστροφική, επιτρέποντας επαναλαμβανόμενες μετρήσεις του ίδιου δείγματος με την πάροδο του χρόνου χωρίς να αλλοιώνεται η σύνθεση ή οι ιδιότητές του (Chaudhary et al., 2022 ; Παπαγεωργίου, 2022)).

Ακόμη, η φασματοσκοπία Raman βασίζεται στην ανελαστική σκέδαση του μονοχρωματικού φωτός λέιζερ από μοριακές δονήσεις και περιστροφικές μεταβάσεις σε ένα δείγμα, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τη χημική του σύνθεση, τη μοριακή δομή και τις κρυσταλλογραφικές του ιδιότητες. Η φασματοσκοπία Raman καλύπτει ένα ευρύ φάσμα φασμάτων, από τις ορατές έως τις εγγύς υπέρυθρες περιοχές, και είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε αλλαγές στους μοριακούς δεσμούς και τη συμμετρία (Καρούντζος, 2003).

Τα φασματόμετρα Raman χρησιμοποιούν πηγές λέιζερ, μονοχρώματες ή φίλτρα για επιλογή μήκους κύματος και ανιχνευτές ικανούς να μετρούν την ένταση του σκεδαζόμενου φωτός Raman. Τα φάσματα Raman αναλύονται χρησιμοποιώντας φασματικές βιβλιοθήκες, αναγνώριση κορυφών και χημειομετρικές τεχνικές όπως PCA, PLS και διακριτική ανάλυση για ποιοτική και ποσοτική ανάλυση. Η φασματοσκοπία Raman παρουσιάζει πολλαπλές εφαρμογές στον τομέα της ανάλυσης τροφίμων. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνεται η αναγνώριση και η ποσοτικοποίηση συστατικών τροφίμων, όπως υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια, βιταμίνες και μέταλλα. Επίσης, η τεχνική Raman μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση τροφιμογενών παθογόνων μικροοργανισμών, μικροοργανισμών αλλοίωσης και μικροβιακών ρύπων σε δείγματα τροφίμων (Παπαδόπουλος, 2015).

Επιπλέον, η τεχνική Raman μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της ταυτότητας των προϊόντων διατροφής μέσω των μοριακών τους στοιχείων, συμπεριλαμβανομένων των δακτυλικών αποτυπωμάτων και των φασματικών υπογραφών. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση χημικών αντιδράσεων, μεταπτώσεων φάσης και φυσικών αλλαγών στα τρόφιμα κατά την επεξεργασία, αποθήκευση και διανομή. Η τεχνική Raman αποτελεί ισχυρό εργαλείο για την ανίχνευση νοθείας τροφίμων, μόλυνσης και απάτης, συμπεριλαμβανομένης της παρουσίας αδήλωτων συστατικών, παραποιημένων προϊόντων και λανθασμένων στοιχείων. Τέλος, η φασματοσκοπία Raman χρησιμοποιείται

για ποιοτικό έλεγχο και διασφάλιση προϊόντων διατροφής, συμπεριλαμβανομένης της αξιολόγησης της υφής, του χρώματος, της γεύσης και της συνολικής ποιότητας των προϊόντων (Παπαϊωαννίδης, 2010).

Η φασματοσκοπία Raman αναδεικνύεται ως ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την ανάλυση τροφίμων λόγω της ικανότητάς της να παρέχει γρήγορα, αξιόπιστα και μη καταστροφικά αποτελέσματα. Οι πολλαπλές εφαρμογές της σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας τροφίμων αποδεικνύουν την πολυμορφία και την χρησιμότητά της. Από την ανίχνευση παθογόνων μικροοργανισμών έως την παρακολούθηση των χημικών αλληλεπιδράσεων και τον ποιοτικό έλεγχο των προϊόντων, η τεχνική Raman αναδεικνύεται ως ένα ανεκτίμητο εργαλείο για τη βελτίωση της ποιότητας, της ασφάλειας και της αξιοπιστίας των τροφίμων (Τουμαράς, 2016).

Με την ταχεία εξέλιξη της τεχνολογίας και των αναλυτικών μεθόδων, αναμένεται ότι η φασματοσκοπία Raman θα συνεχίσει να επεκτείνει το φάσμα των εφαρμογών της στον τομέα της ανάλυσης τροφίμων. Η διαρκής έρευνα και καινοτομία σε αυτό το πεδίο είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη νέων μεθόδων και τεχνολογιών που θα βελτιώσουν την ακρίβεια, την ευαισθησία και την εφαρμοστικότητα της ανάλυσης τροφίμων με τη χρήση της φασματοσκοπίας Raman (Καρναχωρίτη, 2018).

Τέλος, η σημασία των γνήσιων γαλακτοκομικών προϊόντων για τους καταναλωτές και τη βιομηχανία είναι ανυπολόγιστη. Η αυθεντικότητα αντιπροσωπεύει την ποιότητα, την ασφάλεια και τη διατροφική αξία, ενώ συμβάλλει στην εδραίωση της εμπιστοσύνης του καταναλωτή και την προώθηση της αειφορίας της βιομηχανίας. Με τη διατήρηση της αυθεντικότητας των γαλακτοκομικών προϊόντων, η βιομηχανία δείχνει τη δέσμευσή της στην ποιότητα και την ακεραιότητα, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη του καταναλωτή και προάγοντας την αειφορία του κλάδου (Δρίτσουλα, 2018).

Η φασματοσκοπία Raman παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τη μοριακή δομή και σύνθεση, επιτρέποντας ακριβή αναγνώριση και χαρακτηρισμό των συστατικών των τροφίμων. Ακόμη, η φασματοσκοπία Raman είναι μη καταστροφική, απαιτεί ελάχιστες ή χωρίς προετοιμασία δείγματος και διατήρηση της ακεραιότητας του δείγματος για επακόλουθη ανάλυση ή δοκιμή. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η φασματοσκοπία Raman μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων στερεών, υγρών και αερίων, καθιστώντας το κατάλληλο για διάφορες εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων (Τάσιος, 2023).

Ακόμη, η φασματοσκοπία Raman μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με την κατανομή των χημικών ειδών μέσα σε ένα δείγμα, επιτρέποντας ανάλυση ετερογενών δειγμάτων και σύνθετων ουσιών τροφίμων. Ενώ η φασματοσκοπία NIR, FTIR και Raman προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα στην ανάλυση τροφίμων, παρουσιάζουν επίσης ορισμένους περιορισμούς. Οι φασματοσκοπικές τεχνικές μπορεί να είναι ευαίσθητες σε παραλλαγές στη σύνθεση του δείγματος, τη μορφολογία και τα αποτελέσματα μήτρας, απαιτώντας ισχυρά μοντέλα βαθμονόμησης και φασματική προεπεξεργασία για τον υπολογισμό αυτών των παραγόντων. Τα φασματόμετρα και τα εξαρτήματα υψηλής ποιότητας μπορεί να είναι ακριβά, περιορίζοντας την πρόσβαση σε φασματοσκοπικές τεχνικές για ορισμένους κατασκευαστές τροφίμων, εργαστήρια και ερευνητικά ιδρύματα. Τα φασματοσκοπικά δεδομένα μπορεί να είναι πολύπλοκα και πολυδιάστατα, απαιτώντας προηγμένες επεξεργασία δεδομένων, χημειομετρική ανάλυση και ερμηνεία από έμπειρους αναλυτές ή ερευνητές (Δημακοπούλου, 2022).

Τα μοντέλα βαθμονόμησης για ποσοτική ανάλυση με χρήση φασματοσκοπικών τεχνικών απαιτούν εκτεταμένα εκπαιδευτικά δεδομένα και επικύρωση με μεθόδους αναφοράς για να διασφαλιστεί η ακρίβεια, και η αξιοπιστία. Ενώ οι φασματοσκοπικές τεχνικές έχουν υιοθετηθεί ευρέως σε διάφορους κλάδους, συμπεριλαμβανομένων των φαρμακευτικών προϊόντων και της περιβαλλοντικής παρακολούθησης, η ρυθμιστική αποδοχή και η τυποποίησή τους στη βιομηχανία τροφίμων μπορεί να διαφέρουν ανά περιοχή, δικαιοδοσία και εφαρμογή (Δριγγόπουλος, 2022).

Παρά τις προκλήσεις αυτές, η φασματοσκοπία NIR, FTIR και Raman συνεχίζουν να εξελίσσονται και να καινοτομούν, με γνώμονα την εξέλιξη στα όργανα, την ανάλυση δεδομένων και τη μηχανική μάθηση. Οι μελλοντικές εξελίξεις ενδέχεται να επικεντρωθούν στην ενίσχυση της ευαισθησίας, της ανάλυσης και της φορητότητας των οργάνων, καθώς και στην ενσωμάτωση φασματοσκοπικών τεχνικών με συμπληρωματικές αναλυτικές μεθόδους όπως η χρωματογραφία, η φασματομετρία μάζας και οι τεχνικές απεικόνισης για ολοκληρωμένη ανάλυση τροφίμων. Επιπλέον, προσπάθειες για την τυποποίηση των πρωτοκόλλων, την επικύρωση μεθόδων και τη δημιουργία ρυθμιστικού οδηγού για φασματοσκοπική ανάλυση στη βιομηχανία τροφίμων θα είναι κρίσιμες για την προώθηση της ευρύτερης υιοθέτησης και αποδοχής αυτών των τεχνικών (Μιχάλα, 2023).

Συμπερασματικά, η εγγύς υπέρυθρη, η φασματοσκοπία μετασχηματισμού Fourier και η φασματοσκοπία Raman έχουν αναδειχθεί ως ισχυρά και ευέλικτα εργαλεία στην ανάλυση τροφίμων, προσφέροντας γρήγορες, μη -καταστροφικές και ποσοτικές γνώσεις

σχετικά με τη σύνθεση, τη δομή και την ποιότητα των προϊόντων διατροφής. Αυτές οι φασματοσκοπικές τεχνικές επιτρέπουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στην ασφάλεια των τροφίμων, τον ποιοτικό έλεγχο, την αξιολόγηση της αυθεντικότητας και τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας, συμβάλλοντας στη συνολική ακεραιότητα και διαφάνεια της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να προοδεύει και η κατανόησή μας για τις φασματοσκοπικές αρχές βαθιάνει, το μέλλον υπόσχεται τεράστια καινοτομία και εφαρμογή αυτών των τεχνικών για τη διασφάλιση της ασφάλειας, της ποιότητας και της αυθεντικότητας των προϊόντων διατροφής για τους καταναλωτές παγκοσμίως.

Ενότητα 3^η

3.1 Χρωματογραφικές Τεχνικές

Οι χρωματογραφικές τεχνικές έχουν φέρει επανάσταση στον τομέα της ανάλυσης τροφίμων, προσφέροντας απaráμιλλες δυνατότητες στο διαχωρισμό, την αναγνώριση και τον ποσοτικό προσδιορισμό πολύπλοκων μιγμάτων ενώσεων διάφορα τρόφιμα. Μεταξύ των διαφόρων χρωματογραφικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται, η αέρια χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας και η υγρή χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας ξεχωρίζουν για την ευελιξία, την ευαισθησία και τις ευρείες κλίμακας εφαρμογές τους (Ibañez & Cifuentes, 2001).

Η αέρια χρωματογραφία είναι μια τεχνική διαχωρισμού που βασίζεται στη διαφορική κατανομή των ενώσεων μεταξύ μιας στατικής φάσης (συνήθως μια επικαλυμμένη τριχοειδή στήλη) και μιας κινητής φάσης (αδρανές αέριο). Οι ενώσεις εκλούνται από τη στήλη με βάση τη συγγένειά τους για τη στατική φάση, με τους χρόνους κατακράτησης να καθορίζονται από τις χημικές τους ιδιότητες. Η φασματομετρία μάζας είναι μια τεχνική ανίχνευσης που ιονίζει τις αναλυόμενες ουσίες και διαχωρίζει τα ιόντα με βάση την αναλογία μάζας προς φορτίο (m/z), παρέχοντας πληροφορίες για τη μοριακή δομή και τη σύστασή τους (Camara et al., 2022).

Τα συστήματα αυτά (Gas chromatography-mass spectrometry) αποτελούνται συνήθως από έναν αέριο χρωματογράφο συνδεδεμένο με ένα φασματόμετρο μάζας, με θερμαινόμενη είσοδο, χρωματογραφική στήλη, πηγή ιονισμού (π.χ. ιονισμό ηλεκτρονίων ή

χημικό ιονισμό), αναλυτή μάζας (π.χ. τετράπολος, χρόνος πτήσης), και ανιχνευτή (π.χ. πολλαπλασιαστής ηλεκτρονίων). Τα δεδομένα GC-MS λαμβάνονται και επεξεργάζονται χρησιμοποιώντας αποκλειστικό λογισμικό για αναγνώριση κορυφών, φασματική αποσυνέλιξη και ποσοτικοποίηση ένωσης (Camara et al., 2022). Το GC-MS χρησιμοποιείται ευρέως στην ανάλυση τροφίμων για:

- Προσδιορισμό και ποσοτικοποίηση πτητικών και ημιπτητικών ενώσεων σε προϊόντα διατροφής, συμπεριλαμβανομένων των γεύσεων, των αρωμάτων και των αρωματικών ενώσεων
- Ανάλυση υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων, κτηνιατρικών φαρμάκων και περιβαλλοντικών ρύπων σε δείγματα τροφίμων
- Ανίχνευση τροφιμογενών παθογόνων, μικροοργανισμών αλλοίωσης και μυκοτοξινών σε πρώτες ύλες και τελικά προϊόντα
- Έλεγχο ταυτότητας προϊόντων διατροφής με βάση τα χημικά αποτυπώματά τους και τους χαρακτηριστικούς δείκτες
- Έλεγχο ποιότητας και διασφάλιση των προϊόντων διατροφής, συμπεριλαμβανομένης της αξιολόγησης της σταθερότητας της διάρκειας ζωής και των συνθηκών αποθήκευσης (Kuehnbaum & Britz-McKibbin, 2013).

Στο σημείο αυτό επίσης αξίζει να αναφέρουμε ότι το GC-MS προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στην ανάλυση τροφίμων, όπως (Παππά, 2021):

- Υψηλή ευαισθησία και επιλεκτικότητα: Το GC-MS παρέχει χαμηλά όρια ανίχνευσης και υψηλή ανάλυση, επιτρέποντας τον εντοπισμό και τον ποσοτικό προσδιορισμό των ενώσεων σε επίπεδο ίχνους σε σύνθετες μήτρες τροφίμων.
- Δομική διευκρίνιση: Το GC-MS επιτρέπει τον χαρακτηρισμό της μοριακής δομής και σύνθεσης, διευκολύνοντας την ταυτοποίηση άγνωστων ενώσεων και μεταβολιτών.
- Ευρεία δυνατότητα εφαρμογής: Το GC-MS μπορεί να αναλύσει ένα ευρύ φάσμα πτητικών και ημιπτητικών ενώσεων, καθιστώντας το κατάλληλο για ποικίλες εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων.

- Στιβαρότητα και αξιοπιστία: Οι μέθοδοι GC-MS είναι καθιερωμένες και ευρέως αποδεκτές στην επιστημονική κοινότητα, με τυποποιημένα πρωτόκολλα και μέτρα διασφάλισης ποιότητας που διασφαλίζουν την αναπαραγωγιμότητα και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων (Αναγνωστόπουλος, 2012).

Η υγρή χρωματογραφία (LC) είναι μια τεχνική διαχωρισμού που χρησιμοποιεί μια υγρή κινητή φάση για την έκλυση ενώσεων από μια στατική φάση (π.χ. γεμάτη στήλη ή πορώδες υλικό). Το LC διαχωρίζει τις ενώσεις με βάση τη συγγενείά τους για τη στατική φάση και τη διαλυτότητά τους στην κινητή φάση, με τους χρόνους κατακράτησης να καθορίζονται από τις χημικές τους ιδιότητες. Η φασματομετρία μάζας (MS) είναι μια τεχνική ανίχνευσης που ιονίζει τις αναλυόμενες ουσίες και διαχωρίζει τα ιόντα με βάση την αναλογία μάζας προς φορτίο (m/z), παρέχοντας πληροφορίες για τη μοριακή δομή και τη σύστασή τους (Μυλωνά, 2023).

Τα συστήματα LC-MS (Liquid chromatography–mass spectrometry) αποτελούνται συνήθως από έναν υγρό χρωματογράφο συνδεδεμένο με ένα φασματόμετρο μάζας, με σύστημα παροχής διαλύτη, χρωματογραφική στήλη, πηγή ιονισμού (π.χ. ιονισμό ηλεκτροψεκασμού ή χημικό ιονισμό ατμοσφαιρικής πίεσης), αναλυτή μάζας (π.χ. τετραπολικό, παγίδα ιόντων), και ανιχνευτή (π.χ. πολλαπλασιαστής ηλεκτρονίων). Τα δεδομένα LC-MS λαμβάνονται και επεξεργάζονται χρησιμοποιώντας αποκλειστικό λογισμικό για αναγνώριση κορυφών, φασματική αποσυνέλιξη και ποσοτικοποίηση ένωσης. Το LC-MS χρησιμοποιείται ευρέως στην ανάλυση τροφίμων για (Briscoe et al., 2007) :

- Προσδιορισμό και ποσοτικοποίηση πολικών και μη πολικών ενώσεων σε προϊόντα διατροφής, συμπεριλαμβανομένων αμινοξέων, πεπτιδίων, σακχάρων, οργανικών οξέων και λιπιδίων
- Ανάλυση πρόσθετων τροφίμων, συντηρητικών και ενισχυτικών γεύσης, συμπεριλαμβανομένων τεχνητών χρωμάτων, γλυκαντικών και αντιοξειδωτικών
- Ανίχνευση αλλεργιογόνων, τοξινών και μολυσματικών ουσιών σε δείγματα τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων μυκοτοξινών, βαρέων μετάλλων και υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων
- Προφίλ μεταβολιτών και βιοδεικτών σε δείγματα τροφίμων για μελέτες διατροφής και υγείας

- Ιχνηλασιμότητα και έλεγχος γνησιότητας των προϊόντων διατροφής με βάση τα χημικά τους προφίλ και τις ισοτοπικές υπογραφές τους (Lu et al., 2008).

Τα LC-MS προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα στα τρόφιμα ανάλυση, συμπεριλαμβανομένων:

- Ολοκληρωμένη ανάλυση: Τα LC-MS μπορούν να αναλύσουν ένα ευρύ φάσμα ενώσεων με ποικίλες πολικότητες και μοριακά βάρη, παρέχοντας ολοκληρωμένη κάλυψη των συστατικών των τροφίμων και των ρύπων.
- Υψηλή ευαισθησία και ειδικότητα: Τα LC-MS παρέχουν χαμηλά όρια ανίχνευσης και υψηλή ανάλυση, επιτρέποντας την ανίχνευση και τον ποσοτικό προσδιορισμό ενώσεων ιχνοστοιχείου σε σύνθετες μήτρες τροφίμων (McMaster, 2005).
- Δομική αποσαφήνιση: Τα LC-MS επιτρέπουν τον χαρακτηρισμό της μοριακής δομής και σύνθεσης, διευκολύνοντας την ταυτοποίηση άγνωστων ενώσεων και μεταβολιτών.
- Ευελιξία: Τα LC-MS μπορούν να συνδυαστούν με διαφορετικούς τρόπους διαχωρισμού (π.χ., αντίστροφης φάσης, κανονικής φάσης, ανταλλαγής ιόντων) και τεχνικές ιονισμού (π.χ. ESI, APCI), καθιστώντας το κατάλληλο για διάφορες εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε ότι παρά τα πολυάριθμα πλεονεκτήματά τους, οι τεχνικές GC-MS και LC-MS παρουσιάζουν ορισμένες προκλήσεις και ζητήματα. Οι μέθοδοι GC-MS και LC-MS απαιτούν βελτιστοποίηση των χρωματογραφικών συνθηκών, των τεχνικών προετοιμασίας δειγμάτων και των παραμέτρων του οργάνου για την επίτευξη βέλτιστου διαχωρισμού, ευαισθησίας και επιλεκτικότητας. Ακόμη, οι μήτρες τροφίμων μπορεί να περιέχουν ένα ευρύ φάσμα παρεμβαλλόμενων ενώσεων, συστατικών μήτρας και ειδών συν-έκλυσης που μπορεί να επηρεάσουν τον χρωματογραφικό διαχωρισμό και την απόδοση ιονισμού, απαιτώντας προσεκτική αξιολόγηση και στρατηγικές μετριασμού. Τα δεδομένα GC-MS και LC-MS μπορεί να είναι πολύπλοκα και πολυδιάστατα, απαιτώντας προηγμένη επεξεργασία δεδομένων, χημειομετρική ανάλυση και ερμηνεία από έμπειρους αναλυτές ή ερευνητές. Επίσης, τα συστήματα και αξεσουάρ GC-MS και LC-MS υψηλής ποιότητας μπορεί να είναι ακριβά, περιορίζοντας την πρόσβαση σε αυτές τις τεχνικές για ορισμένους κατασκευαστές τροφίμων, εργαστήρια και ερευνητικά ιδρύματα (Jemal, 2000).

Οι μέθοδοι GC-MS και LC-MS για ανάλυση τροφίμων πρέπει να συμμορφώνονται με τις κανονιστικές οδηγίες και τα πρότυπα για την επικύρωση μεθόδων, την επαλήθευση

απόδοσης και τη διασφάλιση ποιότητας για να διασφαλιστεί η ακρίβεια, η αναπαραγωγιμότητα και η συμμόρφωση με τις κανονιστικές απαιτήσεις. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να προοδεύει και η κατανόησή μας για τις χρωματογραφικές αρχές εμβαθύνει, το μέλλον υπόσχεται τεράστια υπόσχεση για περαιτέρω καινοτομία και εφαρμογή των τεχνικών GC-MS και LC-MS στην ανάλυση τροφίμων. Οι μελλοντικές εξελίξεις ενδέχεται να επικεντρωθούν στην ενίσχυση της ευαισθησίας, της ανάλυσης και της απόδοσης των οργάνων, καθώς και στην ενσωμάτωση χρωματογραφικών τεχνικών με συμπληρωματικές αναλυτικές μεθόδους όπως η φασματοσκοπία, η απεικόνιση και η μοριακή βιολογία για ολοκληρωμένη ανάλυση τροφίμων (Lee & Kerns, 1999).

Επιπλέον, οι προσπάθειες για την τυποποίηση των πρωτοκόλλων, την επικύρωση μεθόδων και τη θέσπιση ρυθμιστικών κατευθυντήριων γραμμών για χρωματογραφική ανάλυση στη βιομηχανία τροφίμων θα είναι κρίσιμες για την προώθηση της ευρύτερης υιοθέτησης και αποδοχής αυτών των τεχνικών. Αγκαλιάζοντας την καινοτομία και αξιοποιώντας την τεχνολογία αιχμής, οι χρωματογραφικές τεχνικές θα συνεχίσουν να διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διασφάλιση της ασφάλειας, της ποιότητας και της αυθεντικότητας των προϊόντων διατροφής για τους καταναλωτές παγκοσμίως (Janiszewski et al., 2001).

3.2 Μέθοδοι βασισμένες στη φασματομετρία μάζας

Η φασματομετρία μάζας (Mass spectrometry-MS) έχει αναδειχθεί ως τεχνική ακρογωνιαίος λίθος στον τομέα της ανάλυσης τροφίμων, προσφέροντας απaráμιλλες δυνατότητες στον εντοπισμό, τον ποσοτικό προσδιορισμό και τον χαρακτηρισμό ενός ευρέος φάσματος ενώσεων σε πολύπλοκα μίγματα τροφίμων. Μεταξύ των ποικίλων μεθόδων που βασίζονται στη φασματομετρία μάζας που χρησιμοποιούνται, η υποβοηθούμενη από μήτρα εκρόφηση/ιονισμός λέιζερ χρόνος πτήσης (MALDI-TOF) και η επαγωγικά συζευγμένη φασματομετρία μάζας πλάσματος (ICP-MS) ξεχωρίζουν για την ευελιξία, την ευαισθησία και το εύρος τους. - εύρος εφαρμογών (Romero-González & Frenich, 2017).

Η Φασματομετρία μάζας εκρόφησης/ιοντισμού λέιζερ με υποβοηθούμενη μήτρα (MALDI-TOF) είναι μια ισχυρή τεχνική για την ανάλυση μεγάλων βιομορίων, όπως π.χ. πρωτεΐνες, πεπτίδια, νουκλεϊκά οξέα και λιπίδια, σε δείγματα τροφίμων. Το MALDI-TOF MS περιλαμβάνει την εκρόφηση και τον ιονισμό αναλυτών από μια στερεά μήτρα με χρήση

δέσμης λέιζερ, ακολουθούμενη από την επιτάχυνση των ιόντων μέσω ενός σωλήνα πτήσης και την ανίχνευσή τους βάσει του χρόνου πτήσης τους (Tsuchida et al., 2020).

Τα φασματομέτρα μάζας MALDI-TOF αποτελούνται συνήθως από μια πηγή λέιζερ για εκρόφηση/ιονισμό, έναν αναλυτή μάζας (σωλήνας χρόνου πτήσης) και έναν ανιχνευτή. Το δείγμα αναμιγνύεται με μια ένωση μήτρας (π.χ. οργανικό οξύ, πεπτιδίο) σε μια πλάκα στόχο και το λέιζερ ακτινοβολεί το δείγμα, προκαλώντας εκρόφηση και ιονισμό των μορίων της αναλυόμενης ουσίας. Στη συνέχεια, τα ιόντα επιταχύνονται μέσω του σωλήνα πτήσης και ανιχνεύονται με βάση τον χρόνο πτήσης τους, ο οποίος είναι ανάλογος με την αναλογία μάζας προς φόρτιση (m/z). Το MALDI-TOF MS είναι ένα διαδεδομένο εργαλείο στον τομέα της ανάλυσης τροφίμων με πολλές εφαρμογές. Καταρχάς, χρησιμοποιείται για την αναγνώριση και το χαρακτηρισμό πρωτεϊνών, πεπτιδίων και άλλων βιομορίων σε προϊόντα διατροφής, συμπεριλαμβανομένων αλλεργιογόνων, ενζύμων και τοξινών. Μπορεί να ανιχνεύσει προϊόντα διατροφής βάσει των πρωτεϊνικών και πεπτιδικών αποτυπωμάτων τους και των φασματικών υπογραφών τους. Δεύτερον, χρησιμοποιείται για την ανίχνευση νοθευτών, μολυσματικών ουσιών και ξένων υλικών σε δείγματα τροφίμων, συμπεριλαμβανομένης της μελαμίνης, των αντιβιοτικών και των φυτοφαρμάκων (Laiko et al., 2000).

Τέλος, χρησιμοποιείται για τον έλεγχο και τη διασφάλιση της ποιότητας των προϊόντων διατροφής, συμπεριλαμβανομένης της αξιολόγησης της φρεσκάδας, της αλλοίωσης και της σταθερότητας διάρκειας ζωής. Με αυτόν τον τρόπο, το MALDI-TOF MS παρέχει ένα ισχυρό εργαλείο για την παρακολούθηση και τη διασφάλιση της ποιότητας και της ασφάλειας των τροφίμων (Benagli et al., 2011).

Το MALDI-TOF MS επιτρέπει την ταχεία ανάλυση μεγάλου αριθμού δειγμάτων, με ελάχιστο χρόνο προετοιμασίας και ανάλυσης δειγμάτων. Ακόμη, το MALDI-TOF MS παρέχει χαμηλά όρια ανίχνευσης και υψηλής ανάλυσης, επιτρέποντας την αναγνώριση και ποσοτικοποίηση βιομορίων ιχνοστοιχείου σε σύνθετες μήτρες τροφίμων. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι το MALDI-TOF MS επιτρέπει τον χαρακτηρισμό της μοριακής δομής και σύνθεσης, διευκολύνοντας τον εντοπισμό άγνωστων ενώσεων και μεταβολιτών. Μπορεί να αναλύσει ένα ευρύ φάσμα βιομορίων, συμπεριλαμβανομένων πρωτεϊνών, πεπτιδίων, νουκλεϊκών οξέων και λιπιδίων, καθιστώντας το κατάλληλο για ποικίλες εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων (Alcolea-Medina et al., 2019).

Η φασματομετρία μάζας επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (ICP-MS) είναι μια ευέλικτη τεχνική για την ανάλυση ιχνοστοιχείων και μετάλλων σε δείγματα τροφίμων. Το

ICP-MS περιλαμβάνει τη δημιουργία εκκένωσης πλάσματος σε ένα αέριο αργού, το οποίο ιονίζει τα άτομα της αναλυόμενης ουσίας και δημιουργεί ένα ρεύμα ιόντων που διαχωρίζονται και ανιχνεύονται με βάση την αναλογία μάζας προς φορτίο (m/z) (Lacroix et al., 2014).

Τα συστήματα ICP-MS αποτελούνται τυπικά από μια επαγωγικά συζευγμένη πηγή ιόντων πλάσματος (ICP), έναν αναλυτή μάζας (π.χ. τετραπολικό, χρόνο πτήσης) και έναν ανιχνευτή. Το δείγμα εισάγεται στο πλάσμα μέσω ενός νεφελοποιητή και θαλάμου ψεκασμού, όπου ψεκάζεται, ιονίζεται και μεταφέρεται στον αναλυτή μάζας. Στη συνέχεια, τα ιόντα διαχωρίζονται με βάση την αναλογία μάζας προς φορτίο και ανιχνεύονται από τον ανιχνευτή. Το ICP-MS είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο στην ανάλυση τροφίμων με ποικίλες εφαρμογές. Καταρχάς, χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση ιχνοστοιχείων και μετάλλων σε προϊόντα διατροφής, συμπεριλαμβανομένων των βαρέων μετάλλων όπως ο μόλυβδος, το κάδμιο, και ο υδράργυρος, καθώς επίσης και των βασικών θρεπτικών συστατικών όπως ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος, και το σελήνιο, καθώς και των τοξικών στοιχείων όπως το αρσενικό και το χρώμιο (Bizzini & Greub, 2010).

Δεύτερον, χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της ασφάλειας και της ποιότητας των τροφίμων, συμπεριλαμβανομένης της αξιολόγησης των επιπέδων μόλυνσης, της τήρησης των κανονιστικών ορίων, και της συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις επισήμανσης των τροφίμων. Τρίτον, χρησιμοποιείται για την ανιχνευσιμότητα και τον έλεγχο ταυτότητας των προϊόντων διατροφής με βάση τα στοιχειακά τους προφίλ και τις ισοτοπικές υπογραφές τους. Τέλος, χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της θρεπτικής σύνθεσης και της βιοδιαθεσιμότητας των μετάλλων και ιχνοστοιχείων σε δείγματα τροφίμων, καθώς επίσης και για τη διερεύνηση περιβαλλοντικής μόλυνσης και πηγών ρύπανσης που επηρεάζουν την παραγωγή τροφίμων και τη γεωργία (Clark et al., 2013).

Το ICP-MS μπορεί να αναλύσει πολλά στοιχεία ταυτόχρονα, παρέχοντας ολοκληρωμένη κάλυψη της στοιχειακής σύνθεσης και επιτρέποντας την ανίχνευση τόσο των κύριων όσο και των ιχνοστοιχείων σε δείγματα τροφίμων. Ακόμη, το ICP-MS μπορεί να μετρήσει τις συγκεντρώσεις στοιχείων σε ένα ευρύ φάσμα συγκεντρώσεων, από μέρη ανά δισεκατομμύριο (ppb) έως μέρη ανά τρισεκατομμύριο (ppt), καθιστώντας το κατάλληλο για την ανάλυση τόσο ιχνοστοιχείων όσο και βασικών συστατικών σε δείγματα τροφίμων. Οι μέθοδοι είναι καθιερωμένες και ευρέως αποδεκτές στην επιστημονική κοινότητα, με τυποποιημένα πρωτόκολλα και μέτρα διασφάλισης ποιότητας που διασφαλίζουν την επαναληψιμότητα και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων (Hrabák et al., 2013).

Η προετοιμασία δειγμάτων για το MALDI-TOF MS είναι ένα σημαντικό βήμα που απαιτεί προσεκτική βελτιστοποίηση της σύνθεσης, της συγκέντρωσης και της μεθόδου εφαρμογής της μήτρας για την επίτευξη βέλτιστης απόδοσης ιονισμού και φασματικής ποιότητας. Αντίστοιχα, για το ICP-MS, η προετοιμασία του δείγματος περιλαμβάνει την πέψη ή την εκχύλιση αναλυτών από τη μήτρα τροφίμων και την αραιώση ή προσυγκέντρωση προκειμένου να φέρει τις συγκεντρώσεις της αναλυόμενης ουσίας εντός του γραμμικού εύρους του οργάνου (Calderaro et al., 2014).

Είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη διάφοροι παράγοντες κατά την προετοιμασία των δειγμάτων, όπως η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου προετοιμασίας, οι συνθήκες εφαρμογής, καθώς και ο έλεγχος των παραμέτρων της μεθόδου όπως το όριο ανίχνευσης (LOD), το όριο ποσοτικού προσδιορισμού (LOQ), η ακρίβεια, η ανάκτηση, η γραμμικότητα και η ευρωστία, προκειμένου να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Αυτή η προσέγγιση είναι κρίσιμη για τη μέγιστη απόδοση και την αξιοπιστία των αναλύσεων τόσο για το MALDI-TOF MS όσο και για το ICP-MS (Seng et al., 2009).

Η τυποποίηση αποτελεί ουσιαστικό βήμα στην ανάλυση τροφίμων με τεχνικές όπως το MALDI-TOF και το ICP-MS. Τα πρότυπα υλικά αναφοράς (SRMs), τα πιστοποιημένα υλικά αναφοράς (CRM) και τα δείγματα ποιοτικού ελέγχου είναι απαραίτητα για τη βαθμονόμηση των οργάνων, την επικύρωση των μεθόδων και τη διασφάλιση της ιχνηλασιμότητας και της συγκρισιμότητας των αποτελεσμάτων. Το κόστος των οργάνων είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την πρόσβαση σε αυτές τις τεχνικές. Τα υψηλής ποιότητας συστήματα και αξεσουάρ MALDI-TOF και ICP-MS μπορεί να είναι δαπανηρά, ενώ ορισμένοι κατασκευαστές τροφίμων, εργαστήρια και ερευνητικά ιδρύματα ενδέχεται να αντιμετωπίζουν προκλήσεις στον εξοπλισμό. Ωστόσο, υπάρχουν οικονομικά αποδοτικές εναλλακτικές λύσεις, όπως πάγκοι ή φορητά όργανα, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μικρότερες κλίμακες εφαρμογών ή για αναλύσεις στον τομέα (Marvin et al., 2003).

Επιπλέον, είναι σημαντικό οι μέθοδοι ανάλυσης τροφίμων να συμμορφώνονται με τους κανονιστικούς φορείς και τα πρότυπα για την επικύρωση μεθόδων και τη διασφάλιση ποιότητας. Ρυθμιστικοί φορείς όπως ο Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ (FDA) και η Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA) παρέχουν καθοδήγηση σχετικά με την επικύρωση μεθόδων και τη διασφάλιση ποιότητας για συγκεκριμένες εφαρμογές. Τονίζεται η ανάγκη να πληρούνται οι παράμετροι επικύρωσης της μεθόδου, όπως το όριο ανίχνευσης (LOD), το όριο ποσοτικού προσδιορισμού (LOQ), η ακρίβεια, η ακρίβεια, η ανάκτηση, η γραμμικότητα και η ευστάθεια, για τη διασφάλιση της

ακρίβειας, της επαναληψιμότητας και της συμμόρφωσης με τις κανονιστικές απαιτήσεις. Με τη σωστή τυποποίηση, κόστος και συμμόρφωση, οι μέθοδοι MALDI-TOF και ICP-MS μπορούν να αποτελέσουν ισχυρά εργαλεία για την ανάλυση τροφίμων, συμβάλλοντας στη διασφάλιση της ασφάλειας και της ποιότητας των τροφίμων που καταναλώνουμε (Nomura, 2015).

Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να προοδεύει και η κατανόησή μας για τις αρχές της φασματομετρίας μάζας βαθαίνει, το μέλλον υπόσχεται τεράστια υποσχέσεις για περαιτέρω καινοτομία και εφαρμογή των τεχνικών MALDI-TOF και ICP-MS στην ανάλυση τροφίμων. Οι μελλοντικές εξελίξεις μπορεί να επικεντρωθούν στην ενίσχυση της ευαισθησίας, της ανάλυσης και της απόδοσης των οργάνων, καθώς και στην επέκταση των δυνατοτήτων αυτών των τεχνικών για την ανάλυση ενός ευρύτερου φάσματος ενώσεων και στοιχείων σε πίνακες τροφίμων. Επιπλέον, οι προσπάθειες για την τυποποίηση των πρωτοκόλλων, την επικύρωση μεθόδων και τη θέσπιση ρυθμιστικών κατευθυντήριων γραμμών για ανάλυση με βάση τη φασματομετρία μάζας στη βιομηχανία τροφίμων θα είναι κρίσιμες για την προώθηση της ευρύτερης υιοθέτησης και αποδοχής αυτών των τεχνικών (Bessède et al., 2011).

3.3 Μέθοδοι που βασίζονται στο DNA

Οι μέθοδοι που βασίζονται στο DNA έχουν φέρει επανάσταση στον τομέα της ανάλυσης τροφίμων, προσφέροντας ισχυρά εργαλεία για την ανίχνευση, την ταυτοποίηση και τον χαρακτηρισμό βιολογικών συστατικών στα τρόφιμα. Μεταξύ της ποικιλίας των τεχνικών που βασίζονται στο DNA που χρησιμοποιούνται, η αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης (PCR) και ο προσδιορισμός αλληλουχίας DNA ξεχωρίζουν για την ευελιξία, την ευαισθησία και τις ευρείες εφαρμογές τους (Λεοντίδου, 2020).

Η αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης (PCR) είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική για την ενίσχυση συγκεκριμένων αλληλουχιών DNA *in vitro*, επιτρέποντας την ανίχνευση και τον ποσοτικό προσδιορισμό γονιδίων-στόχων ή γενετικών δεικτών σε δείγματα τροφίμων. Η PCR ενισχύει το DNA μέσω μιας σειράς κύκλων θερμοκρασίας, συμπεριλαμβανομένης της μετουσίωσης, της ανόπτησης και της επέκτασης, χρησιμοποιώντας ένα ένζυμο πολυμεράσης DNA και εκκινητές ειδικούς για την αλληλουχία.

Η PCR χρησιμοποιείται ευρέως στην ανάλυση τροφίμων για πολλούς σκοπούς (Καρύδας, 2023):

1. **Ανίχνευση και ποσοτικοποίηση τροφιμογενών παθογόνων:** Η PCR μπορεί να ανιχνεύσει και να ποσοτικοποιήσει DNA από παθογόνους οργανισμούς, όπως βακτήρια (π.χ. *Salmonella*, *Listeria*, *Escherichia coli*) και ιούς (π.χ. *norovirus*, ιός ηπατίτιδας Α).
2. **Προσδιορισμός γενετικά τροποποιημένων οργανισμών (ΓΤΟ) και διαγονιδιακών καλλιεργειών:** Η PCR μπορεί να ανιχνεύσει την παρουσία και να προσδιορίσει το είδος των ΓΤΟ και των διαγονιδιακών καλλιεργειών σε προϊόντα διατροφής.
3. **Έλεγχος ταυτότητας προϊόντων τροφίμων με βάση τα προφίλ DNA και τους γενετικούς δείκτες τους:** Η PCR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της αυθεντικότητας και της καταγωγής των τροφίμων (Αργυρακοπούλου, 2023).
4. **Έλεγχος για αλλεργιογόνα συστατικά και πιθανά αλλεργιογόνα σε δείγματα τροφίμων:** Η PCR μπορεί να ανιχνεύσει τα γονίδια που προκαλούν αλλεργικές αντιδράσεις σε τρόφιμα.
5. **Παρακολούθηση μικροβιακής αλλοίωσης, ζύμωσης και προβιοτικών καλλιεργειών στην επεξεργασία και παραγωγή τροφίμων:** Η PCR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της ποιότητας και της ασφάλειας των τροφίμων κατά την παραγωγή και την επεξεργασία τους (Αγγελή, 2023).

Τα πλεονεκτήματα της PCR στην ανάλυση τροφίμων περιλαμβάνουν:

- **Υψηλή ευαισθησία και ειδικότητα:** Η PCR μπορεί να ανιχνεύσει ακόμα και τις πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις DNA στα τρόφιμα, εντοπίζοντας με ακρίβεια τους επιθυμητούς στόχους, όπως παθογόνους οργανισμούς, ΓΤΟ και άλλους γενετικούς δείκτες.
- **Γρήγορα αποτελέσματα:** Η PCR μπορεί να παράγει αποτελέσματα μέσα σε λίγες ώρες, επιτρέποντας την ταχεία επεξεργασία μεγάλου αριθμού δειγμάτων.
- **Πολυπλοκότητα ανάλυσης:** Με τη χρήση διαφορετικών σετ εκκίνησης και φθορίζοντων ανιχνευτών, η PCR μπορεί να προσφέρει πολυπλοκότερες αναλύσεις, επιτρέποντας την ανίχνευση και ποσοτικοποίηση πολλαπλών στόχων σε ένα δείγμα.
- **Αυτοματισμός και υψηλή απόδοση:** Η PCR μπορεί να αυτοματοποιηθεί μέσω ρομποτικών συστημάτων χειρισμού υγρών, βελτιώνοντας την απόδοση και την ακρίβεια της ανάλυσης (Giadinis et al., 2011).

- **Αλληλουχία DNA:** Η αλληλουχία DNA παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τη γενετική σύνθεση και τη δομή των οργανισμών, καθιστώντας την ιδανική για την ανάλυση γονιδιωμάτων και γονιδιακών δεικτών σε τρόφιμα (Xiong, 2019).

Η PCR αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο στην ανάλυση τροφίμων, που συνδυάζει την υψηλή ευαισθησία και ειδικότητα με τη γρήγορη επεξεργασία και τη δυνατότητα αυτοματοποίησης. Η διαδικασία PCR αποτελείται από τρία κύρια στάδια: μετουσίωση, όπου το δίκλωνο εκμαγείο DNA θερμαίνεται για να διαχωριστούν οι κλώνοι, ανόπτηση, όπου ειδικοί για την αλληλουχία εκκινητές υβριδοποιούνται σε συμπληρωματικές περιοχές του εκμαγείου DNA και επέκταση, όπου η πολυμεράση DNA συνθέτει νέους κλώνους DNA χρησιμοποιώντας τριφωσφορικά νουκλεοτίδια (dNTPs) και τους εκκινητές ως πρότυπα (Παναγιωτίδου, 2023).

Τα συστήματα PCR αποτελούνται συνήθως από έναν θερμικό κυκλοποιητή ή μια μηχανή PCR, η οποία ελέγχει τους κύκλους θερμοκρασίας που απαιτούνται για μετουσίωση, ανόπτηση και επέκταση. Το μείγμα αντίδρασης περιέχει πρότυπο DNA, εκκινητές, ένζυμο πολυμεράσης DNA, dNTPs και ρυθμιστικά συστατικά, τα οποία ανακυκλώνονται σε διαφορετικά στάδια θερμοκρασίας για την ενίσχυση της αλληλουχίας DNA στόχου (Καμινάρη, 2008).

Η αλληλουχία DNA προσδιορίζει τη σειρά των νουκλεοτιδίων σε ένα μόριο DNA με τη χρήση ενζυματικών συμπληρωματικών κλώνων DNA. Αυτοί οι κλώνοι στη συνέχεια ανιχνεύονται και αναλύονται με διάφορες μεθόδους προσδιορισμού αλληλουχίας, όπως η αλληλούχιση Sanger, η αλληλουχία επόμενης γενιάς (NGS) ή η αλληλουχία νανοπόρου. Η μέθοδος προσδιορισμού αλληλουχίας Sanger περιλαμβάνει τον τερματισμό της αλυσίδας με τη χρήση διδεοξυνουκλεοτιδίων (ddNTPs) και ενδεικτικών εκκινητών, ακολουθούμενος από τριχοειδή ηλεκτροφόρηση για το διαχωρισμό και την ανίχνευση των τερματισμένων θραυσμάτων DNA βάσει του μεγέθους και της έντασης τους (Σαλγκάμης, 2010).

Τα συστήματα προσδιορισμού αλληλουχίας DNA αποτελούνται συνήθως από έναν προσδιοριστή αλληλουχίας DNA, ο οποίος ενσωματώνει την προετοιμασία του δείγματος, τη χημεία αλληλουχίας και τις δυνατότητες ανάλυσης δεδομένων. Η διαδικασία προσδιορισμού αλληλουχίας περιλαμβάνει εξαγωγή DNA, ενίσχυση PCR (για στοχευμένη αλληλουχία), προετοιμασία βιβλιοθήκης (για NGS), προσδιορισμό αλληλουχίας με σύνθεση (για αλληλουχία Illumina) και ανάλυση δεδομένων με χρήση εργαλείων και αλγορίθμων βιοπληροφορικής (Κορώνας, 2010). Η ανάλυση της αλληλουχίας DNA εφαρμόζεται ευρέως στον τομέα των τροφίμων για τους παρακάτω λόγους:

1. **Χαρακτηρισμός μικροβιακών κοινοτήτων και μικροβίων:** Η ανάλυση DNA μπορεί να ανιχνεύσει και να προσδιορίσει τα μικρόβια που παρουσιάζονται σε δείγματα τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων βακτηρίων, μυκήτων, ιών και παρασίτων.
2. **Παρακολούθηση πηγών και ιχνηλασιμότητα τροφιμογενών παθογόνων:** Η ανάλυση DNA επιτρέπει την παρακολούθηση των πηγών τροφίμων και την ανίχνευση των παθογόνων μικροοργανισμών, συμπεριλαμβανομένης της έρευνας επιδημιών και της επιδημιολογικής επιτήρησης (Jagadeesan et al., 2019).
3. **Έλεγχος ταυτότητας των προϊόντων διατροφής:** Μέσω της ανάλυσης DNA, είναι δυνατή η επαλήθευση της ταυτότητας των προϊόντων διατροφής, με βάση τα δακτυλικά αποτυπώματα DNA και τις γενετικές υπογραφές τους.
4. **Ανίχνευση απάτης τροφίμων και λανθασμένης σήμανσης:** Η ανάλυση DNA επιτρέπει την εντοπισμό απάτης στα τρόφιμα και την παραπλανητική σήμανση, συμπεριλαμβανομένης της αντικατάστασης φθηνότερων συστατικών και της παραποίησης των ετικετών πιστοποίησης.
5. **Γενετική τροποποίηση και αναπαραγωγή καλλιεργειών και ζώων:** Η ανάλυση DNA χρησιμοποιείται για τη γενετική τροποποίηση και την αναπαραγωγή καλλιεργειών και ζώων, με σκοπό τη βελτίωση των χαρακτηριστικών τους, όπως η αντοχή σε ασθένειες, η βελτιστοποίηση της απόδοσης και η διατροφική βελτίωση (Haynes et al., 2019).

Η ανάλυση της αλληλουχίας DNA παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τη γενετική σύνθεση και την ποικιλομορφία των δειγμάτων τροφίμων. Αυτό επιτρέπει την ακριβή ταυτοποίηση και χαρακτηρισμό μικροβιακών ειδών, γενετικών παραλλαγών και αλληλουχιών DNA που ενδιαφέρουν. Η αλληλουχία DNA μπορεί να αναλύσει ολόκληρα γονιδιώματα ή συγκεκριμένες περιοχές ενδιαφέροντος, παρέχοντας ολοκληρωμένη κάλυψη γενετικών πληροφοριών και επιτρέποντας την ανίχνευση ενός ευρέος φάσματος γενετικών δεικτών, μεταλλάξεων και παραλλαγών σε δείγματα τροφίμων (Galimberti et al., 2013). Μερικά από τα πλεονεκτήματα της αλληλουχίας DNA περιλαμβάνουν:

1. **Αμερόληπτη ανίχνευση:** Η αλληλουχία DNA δεν βασίζεται σε προηγούμενη γνώση των αλληλουχιών-στόχων ή γενετικών δεικτών, επιτρέποντας την αμερόληπτη ανίχνευση γνωστών και νέων αλληλουχιών DNA σε δείγματα τροφίμων,

συμπεριλαμβανομένων απροσδόκητων μολυσματικών παραγόντων, παθογόνων και γενετικών τροποποιήσεων.

2. **Ευελιξία στην ταυτόχρονη ανάλυση μεγάλου αριθμού δειγμάτων:** Με προσαρμόσιμες ροές εργασίας και πρωτόκολλα, η αλληλουχία DNA επιτρέπει την ταυτόχρονη ανάλυση μεγάλου αριθμού δειγμάτων, προσαρμόζοντας την ανάλυση σύμφωνα με συγκεκριμένες ανάγκες έρευνας ή δοκιμών.
3. **Δυνατότητες μακράς ανάγνωσης:** Οι αναδυόμενες τεχνολογίες αλληλουχίας DNA, όπως η αλληλουχία νανοπόρων, προσφέρουν δυνατότητες μακράς ανάγνωσης, επιτρέποντας την αλληλουχία ολόκληρων γονιδιωμάτων ή μεγάλων θραύσματα DNA σε πραγματικό χρόνο, χωρίς την ανάγκη ενίσχυσης PCR ή κατακερματισμού DNA.
4. **Πλούσιες πληροφορίες σε δεδομένα:** Η αλληλουχία DNA δημιουργεί τεράστιες ποσότητες δεδομένων αλληλουχίας, παρέχοντας πλούσιες πληροφορίες για τη γενετική σύνθεση, τη δομή και τη λειτουργία των δειγμάτων τροφίμων. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να αναλυθούν χρησιμοποιώντας εργαλεία βιοπληροφορικής και βάσεις δεδομένων, επιτρέποντας την εξαγωγή σημαντικών πληροφοριών σχετικά με τις μικροβιακές κοινότητες, τη γενετική ποικιλότητα και τις εξελικτικές σχέσεις (Juste et al., 2008).

Ολοκληρώνοντας, η αλληλουχία DNA προσφέρει ένα ισχυρό εργαλείο για την ανάλυση τροφίμων, επιτρέποντας την ανίχνευση, την ταυτοποίηση και τον χαρακτηρισμό των γενετικών δεικτών και των μικροβιακών κοινοτήτων σε δείγματα τροφίμων. Τα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν την αμερόληπτη ανίχνευση, την ευελιξία στην ανάλυση μεγάλου αριθμού δειγμάτων, τις δυνατότητες μακράς ανάγνωσης και τις πλούσιες πληροφορίες σε δεδομένα, κάνοντάς την ανεκτίμητη στην επιστημονική έρευνα, την παραγωγή τροφίμων και τη διασφάλιση της τροφικής ασφάλειας (Rasmussen & Morrissey, 2008).

Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να προοδεύει και η κατανόησή μας για τη μοριακή βιολογία και τη γονιδιωματική βαθαίνει, το μέλλον υπόσχεται τεράστια υποσχόμενη περαιτέρω καινοτομία και εφαρμογή τεχνικών PCR και αλληλουχίας DNA στην ανάλυση τροφίμων. Οι μελλοντικές εξελίξεις μπορεί να επικεντρωθούν στην ενίσχυση της ευαισθησίας, της ειδικότητας και της ευρωστίας του οργάνου, καθώς και στην επέκταση των δυνατοτήτων αυτών των τεχνικών για την ανάλυση ενός ευρύτερου φάσματος στόχων, συμπεριλαμβανομένων RNA, πρωτεϊνών και μεταβολιτών, σε δείγματα τροφίμων. Επιπλέον,

προσπάθειες για την τυποποίηση των πρωτοκόλλων, την επικύρωση μεθόδων και τη θέσπιση ρυθμιστικών κατευθυντήριων γραμμών για την ανάλυση αλληλουχίας PCR και DNA στη βιομηχανία τροφίμων (Barcaccia et al., 2015).

Ενότητα 4^η

4.1 Εφαρμογές στον έλεγχο ταυτότητας γαλακτοκομικών προϊόντων

Ο έλεγχος ταυτότητας γαλακτοκομικών προϊόντων, η διαδικασία επαλήθευσης της γνησιότητας και της ποιότητας των γαλακτοκομικών προϊόντων, είναι υψίστης σημασίας για τη διασφάλιση της εμπιστοσύνης, της ασφάλειας και της ικανοποίησης των καταναλωτών. Καθώς η γαλακτοκομική βιομηχανία συνεχίζει να επεκτείνεται και να διαφοροποιείται, με γνώμονα τις μεταβαλλόμενες προτιμήσεις των καταναλωτών και τη δυναμική του παγκόσμιου εμπορίου, η ανάγκη για ισχυρές μεθόδους ελέγχου ταυτότητας γίνεται όλο και πιο κρίσιμη (Mafra et al., 2022).

Οι κοινές ενοχοποιήσεις στα γαλακτοκομικά προϊόντα περιλαμβάνουν νερό, φυτικά έλαια, σκόνη ορού γάλακτος και μη γαλακτοκομικές πρωτεΐνες. Η νοθεία όχι μόνο θέτει σε κίνδυνο την ποιότητα των προϊόντων, αλλά εγκυμονεί κινδύνους για την υγεία των καταναλωτών, ιδιαίτερα εκείνων με αλλεργίες ή διατροφικούς περιορισμούς. Αυθεντικότητα είδους: Η αυθεντικότητα στα γαλακτοκομικά προϊόντα συχνά περιστρέφεται γύρω από την αναγνώριση του είδους, ειδικά σε προϊόντα όπως το τυρί, το βούτυρο και το γιαούρτι. Διαφορετικά γαλακτοκομικά είδη, όπως η αγελάδα, η κατσίκια, το πρόβατο και το βουβάλι, έχουν ξεχωριστές συνθέσεις και γευστικά προφίλ, επηρεάζοντας τα χαρακτηριστικά του προϊόντος και τις προτιμήσεις των καταναλωτών (Baptista et al., 2021).

Η εσφαλμένη επισήμανση ή η εσφαλμένη περιγραφή της προέλευσης των ειδών μπορεί να οδηγήσει σε εξαπάτηση των καταναλωτών και να υπονομεύσει τη φήμη των εμπορικών σημάτων γαλακτοκομικών προϊόντων. Ωστόσο, τα προϊόντα απομίμησης και τα εμπορικά σήματα απομίμησης συχνά εκμεταλλεύονται αυτούς τους ΓΕ, παραπλανώντας τους καταναλωτές και μειώνοντας την αγοραία αξία των αυθεντικών τοπικών σπεσιαλιτέ. Η πιστοποίηση της γεωγραφικής προέλευσης των γαλακτοκομικών προϊόντων είναι επομένως

απαραίτητη για τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς και την υποστήριξη των τοπικών οικονομιών (De La Fuente & Juárez, 2005).

Οι καταναλωτές αναζητούν όλο και περισσότερο γαλακτοκομικά προϊόντα που παράγονται με βιώσιμες, ηθικές και βιολογικές πρακτικές, αντανακλώντας ευρύτερες τάσεις προς τη διαφάνεια και την περιβαλλοντική συνείδηση. Ωστόσο, η επαλήθευση ισχυρισμών παραγωγής, όπως η πιστοποίηση βιολογικών προϊόντων, η καλλιέργεια ελεύθερης βοσκής και οι δίαιτες που τρέφονται με βοσκότοπους, μπορεί να είναι δύσκολη λόγω της πολυπλοκότητας των αλυσίδων εφοδιασμού και της πιθανότητας πράσινης πλύσης ή ψευδούς διαφήμισης. Η διασφάλιση ποιότητας και ασφάλειας των γαλακτοκομικών προϊόντων είναι πρωταρχικής σημασίας για την προστασία της δημόσιας υγείας και τη διατήρηση της εμπιστοσύνης των καταναλωτών. Προσμείξεις όπως αντιβιοτικά, φυτοφάρμακα, βαρέα μέταλλα και μικροβιακά παθογόνα μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την ασφάλεια και την ακεραιότητα του προϊόντος, οδηγώντας σε τροφιογενείς ασθένειες και σε ανακλήσεις προϊόντων (Müller-Maatsch & van Ruth, 2021).

Οι μέθοδοι επαλήθευσης ταυτότητας πρέπει να περιλαμβάνουν ολοκληρωμένα μέτρα διασφάλισης ποιότητας για τον εντοπισμό και τον μετριασμό πιθανών κινδύνων. Τεχνικές χημικής ανάλυσης, συμπεριλαμβανομένης της φασματομετρίας (όπως τα NIR, FTIR) και η στοιχειακή ανάλυση (όπως το ICP-MS), χρησιμοποιούνται ευρέως για τον έλεγχο της ταυτότητας των γαλακτοκομικών προϊόντων με βάση τη σύνθεση, τη δομή και τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Αυτές οι τεχνικές επιτρέπουν την ανίχνευση νοθευτών, μολυσματικών ουσιών και δεικτών ποιότητας, παρέχοντας πληροφορίες για την αυθεντικότητα και την ακεραιότητα του προϊόντος. Μέθοδοι που βασίζονται σε DNA, όπως η PCR και η αλληλουχία DNA, προσφέρουν ακριβή και ευαίσθητα εργαλεία για την αναγνώριση και τον έλεγχο ταυτότητας ειδών γαλακτοκομικών προϊόντων (Farah et al., 2018).

Στοχεύοντας σε συγκεκριμένους γενετικούς δείκτες ή αλληλουχίες DNA μοναδικές για διαφορετικά γαλακτοκομικά είδη, αυτές οι μέθοδοι μπορούν να διακρίνουν μεταξύ γάλακτος αγελαδινού, κατσικίσιου, προβάτου και βουβαλίσιου, διασφαλίζοντας τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς επισήμανσης και προστατεύοντας από δόλιες πρακτικές. Ανάλυση ισοτόπων, συμπεριλαμβανομένης της σταθερής αναλογίας ισοτόπων (SIRA) και η χρονολόγηση με ραδιενεργό άνθρακα, παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τη γεωγραφική προέλευση, τις πρακτικές παραγωγής και την αυθεντικότητα των γαλακτοκομικών προϊόντων. Αναλύοντας ισοτοπικές υπογραφές στο γάλα, το τυρί και άλλα

γαλακτοκομικά προϊόντα, οι ερευνητές μπορούν να εντοπίσουν τη γεωγραφική προέλευση των πρώτων υλών, να εντοπίσουν νοθεία ή αραίωση και να επαληθεύσουν ισχυρισμούς παραγωγής, όπως βιολογικά ή βοσκότοποι (Shawky et al., 2024).

Μικροβιολογικές τεχνικές, όπως οι μικροβιακές αποτυπώσεις, η μικροβιακή λήψη δακτυλικών αποτυπωμάτων και η μεταγονιδιωματική ανάλυση, προσφέρουν πληροφορίες για τις μικροβιακές κοινότητες και τις διαδικασίες ζύμωσης που εμπλέκονται στην παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων. Αυτές οι τεχνικές μπορούν να επιβεβαιώσουν τη γνησιότητα των βιοτεχνικών και παραδοσιακών γαλακτοκομικών προϊόντων με βάση τη μοναδική τους σύνθεση μικροοργανισμών, υποστηρίζοντας ισχυρισμούς αυθεντικότητας και ποιότητας. Επιπλέον, παρέχουν γρήγορες και μη καταστροφικές μεθόδους για την αξιολόγηση των αισθητηριακών ιδιοτήτων και των γευστικών προφίλ των γαλακτοκομικών προϊόντων. Αποτυπώνοντας αρωματικές ενώσεις, πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) και γευστικά χαρακτηριστικά, αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να κάνουν διάκριση μεταξύ αυθεντικών και παραποιημένων προϊόντων, βελτιώνοντας τον ποιοτικό έλεγχο και την ικανοποίηση των καταναλωτών (Arvanitoyannis & Tzouros, 2005).

Ο έλεγχος ταυτότητας γαλακτοκομικών προϊόντων παρουσιάζει πολύπλευρες προκλήσεις που απαιτούν καινοτόμες λύσεις και διεπιστημονικές προσεγγίσεις. Αξιοποιώντας προηγμένες αναλυτικές τεχνικές, συμπεριλαμβανομένης της χημικής ανάλυσης, μεθόδων βασισμένων σε DNA, ανάλυσης ισοτόπων, μικροβιολογικών τεχνικών και τεχνολογιών που βασίζονται σε αισθητήρες, οι ερευνητές και οι ενδιαφερόμενοι του κλάδου μπορούν να αντιμετωπίσουν αυτές τις προκλήσεις και να διαφυλάξουν την αυθεντικότητα, την ποιότητα και την ασφάλεια των γαλακτοκομικών προϊόντων (Pizzano et al., 2011).

Προχωρώντας προς τα εμπρός, οι συνεργατικές προσπάθειες μεταξύ του ακαδημαϊκού κόσμου, των κυβερνητικών φορέων και της γαλακτοβιομηχανίας θα είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη τυποποιημένων πρωτοκόλλων ελέγχου ταυτότητας, την επικύρωση αναλυτικών μεθόδων και την εφαρμογή ισχυρών μέτρων διασφάλισης ποιότητας για την κάλυψη των εξελισσόμενων αναγκών και προσδοκιών των καταναλωτών παγκοσμίως.

4.2 Συγκεκριμένες μέθοδοι για τον έλεγχο γνησιότητας του γάλακτος: Διασφάλιση ποιότητας και ακεραιότητας

Οι δοκιμές γνησιότητας γάλακτος είναι ζωτικής σημασίας για την επαλήθευση της γνησιότητας και της ποιότητας των γαλακτοκομικών προϊόντων, για την αντιμετώπιση ανησυχιών που σχετίζονται με νοθεία, εσφαλμένη επισήμανση και δόλιες πρακτικές στη γαλακτοκομική βιομηχανία. Με την αυξανόμενη ζήτηση για premium και εξειδικευμένα γαλακτοκομικά προϊόντα, σε συνδυασμό με την αυξανόμενη παγκοσμιοποίηση του εμπορίου γαλακτοκομικών προϊόντων, υπάρχει αυξανόμενη ανάγκη για ακριβείς και αξιόπιστες μεθόδους για την πιστοποίηση γάλακτος και τη διασφάλιση της εμπιστοσύνης και της ασφάλειας των καταναλωτών (Μερκούρη, 2024).

Οι χημικές αναλύσεις παίζουν ουσιαστικό ρόλο στον έλεγχο της γνησιότητας του γάλακτος, αξιολογώντας τη σύνθεση, τη δομή και τις φυσικοχημικές ιδιότητές του. Οι μέθοδοι LC και GC σε συνδυασμό με τη φασματομετρία μάζας επιτρέπουν την αναγνώριση και ποσοτικοποίηση διαφόρων ενώσεων, όπως πρωτεΐνες, λιπαρά, υδατάνθρακες, βιταμίνες, μετάλλων και μολυσματικές ουσίες. Οι φασματοσκοπικές μέθοδοι, όπως η FTIR, NIR και NMR, χρησιμοποιούνται για τη μη καταστροφική ανάλυση της σύνθεσης και της ποιότητας του γάλακτος (Τσοτάκης, 2018).

Επιπλέον, η στοιχειακή ανάλυση με ICP-MS και AAS παρέχει πληροφορίες για την ποσότητα στοιχείων όπως το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το κάλιο, το νάτριο και τα βαρέα μέταλλα, που είναι σημαντικά για την προέλευση και την ποιότητα του γάλακτος. Από την άλλη πλευρά, οι μέθοδοι που βασίζονται στο DNA, όπως οι δοκιμές PCR και η αλληλουχία επόμενης γενιάς (NGS), προσφέρουν ακριβή εργαλεία για τον έλεγχο της γνησιότητας του γάλακτος με βάση την ταυτοποίηση ειδών και το γενετικό τους προφίλ (Ράζου, 2020).

Οι τεχνικές χημικής ανάλυσης είναι βασικές για την εξέταση της αυθεντικότητας του γάλακτος μέσω της αξιολόγησης της σύνθεσης, της δομής και των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των δειγμάτων. Οι μέθοδοι LC και GC, σε συνδυασμό με τη φασματομετρία μάζας, επιτρέπουν την ταυτοποίηση και την ποσοτικοποίηση διαφόρων ενώσεων, όπως πρωτεΐνες, λιπαρά, υδατάνθρακες, βιταμίνες, μετάλλων και μολυσματικές ουσίες (Ευσταθίου, 2024).

Η φασματοσκοπική ανάλυση, με τη χρήση της FTIR, NIR και NMR, επιτρέπει τη μη καταστροφική αξιολόγηση της σύνθεσης και της ποιότητας του γάλακτος με βάση τα μοριακά του δακτυλικά αποτυπώματα. Επιπλέον, η στοιχειακή ανάλυση, με τη χρήση της ICP-MS και AAS, παρέχει πληροφορίες για την ποσότητα στοιχείων όπως το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το κάλιο, το νάτριο και τα βαρέα μέταλλα, τα οποία είναι σημαντικά για την

προέλευση και την ποιότητα του γάλακτος. Από την άλλη πλευρά, οι μέθοδοι που βασίζονται στο DNA, όπως οι δοκιμές PCR και η αλληλουχία επόμενης γενιάς (NGS), προσφέρουν ακριβή εργαλεία για τον έλεγχο της γνησιότητας του γάλακτος μέσω της ταυτοποίησης ειδών και του γενετικού τους προφίλ (Ιωαννίδου, 2024).

Η δοκιμή γνησιότητας γάλακτος περιλαμβάνει μια ποικιλία αναλυτικών τεχνικών, καθεμία από τις οποίες προσφέρει μοναδικά πλεονεκτήματα και εφαρμογές για την επαλήθευση της ποιότητας, της προέλευσης και της σύνθεσης των γαλακτοκομικών προϊόντων. Χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό χημικής ανάλυσης, μεθόδων βασισμένων στο DNA, ανάλυσης ισοτόπων και μικροβιολογικών τεχνικών, οι ερευνητές και οι ενδιαφερόμενοι της βιομηχανίας μπορούν να αντιμετωπίσουν τις περίπλοκες προκλήσεις της πιστοποίησης ταυτότητας γάλακτος και να εξασφαλίσουν την ακεραιότητα και την ασφάλεια των γαλακτοκομικών προϊόντων για τους καταναλωτές παγκοσμίως. Προχωρώντας προς τα εμπρός, η συνέχιση της έρευνας και της καινοτομίας στις δοκιμές γνησιότητας γάλακτος θα είναι ουσιαστικής σημασίας για τη βελτίωση της αναλυτικής ικανότητας, τυποποίηση πρωτοκόλλων και εφαρμογή ισχυρών μέτρων διασφάλισης ποιότητας για την κάλυψη των εξελισσόμενων αναγκών και προσδοκιών της γαλακτοβιομηχανίας (Μπαλαμάτση, 2021).

4.3 Τεχνικές ελέγχου ταυτότητας τυριού

Ο έλεγχος ταυτότητας τυριού είναι κρίσιμος για τη διατήρηση της ακεραιότητας, της ποιότητας και της γνησιότητας των τυροκομικών προϊόντων, προστατεύοντας από απάτες, λανθασμένες ετικέτες και πρακτικές απομίμησης στη βιομηχανία γάλακτος. Με την αυξανόμενη ζήτηση για premium και βιοτεχνικά τυριά, σε συνδυασμό με την παγκοσμιοποίηση του εμπορίου τυριών, υπάρχει αυξανόμενη ανάγκη για ακριβείς και αξιόπιστες μεθόδους για την επαλήθευση της προέλευσης, της σύνθεσης και των πρακτικών παραγωγής του τυριού (Παπακωνσταντίνου, 2022).

Η παρουσία αναστολέων αντιβιοτικών σε δείγματα τυριού μπορεί να υποδείξει παράνομες πρακτικές παραγωγής ή ανεπαρκείς διαδικασίες υγιεινής. Μέθοδοι όπως οι τεχνικές ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) και HPLC-MS (High-Performance Liquid Chromatography-Mass Spectrometry) χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό και την

ποσοτικοποίηση αυτών των ουσιών, ενισχύοντας την ασφάλεια των τυροκομικών προϊόντων (Σαντορινάκη, 2023).

Η παρουσία αλλεργιογόνων συστατικών, όπως πρωτεΐνες γάλακτος, σε τυριά μπορεί να απειλήσει την υγεία των καταναλωτών με αλλεργίες. Οι τεχνικές όπως οι δοκιμές ELISA και PCR χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό αυτών των συστατικών και την εξασφάλιση της ασφάλειας των προϊόντων. Τα αρώματα αποτελούν σημαντικό μέρος του χαρακτήρα και της ποιότητας του τυριού. Μέθοδοι όπως η αέρια χρωματογραφία-αναλυτής μάζας (GC-MS) χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό και την ποσοτικοποίηση των αρωματικών ενώσεων, που συνεισφέρουν στη γεύση και την αρωματική πολυπλοκότητα του τυριού. Η υφή και η δομή του τυριού επηρεάζουν την αισθητική απόλαυση και την ποιότητά του (Ζερβού, 2018).

Τεχνικές όπως η σάρωση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (SEM) και η απεικόνιση με μαγνητική συντονισμένη τεχνική ανάλυσης (μαγνητική απεικόνιση συντονισμένων σπινθηρικών - SPION-MRI) χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της δομής και της μικροδομής των τυριών. Με τη χρήση μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης που συνδυάζει αυτές τις μεθόδους, οι ερευνητές και οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να διασφαλίσουν την ακεραιότητα, την ποιότητα και την ασφάλεια των τυροκομικών προϊόντων, αντιμετωπίζοντας παράλληλα τις προκλήσεις που επιφέρει η αυξανόμενη παραγωγή και διάθεση τυριών στην παγκόσμια αγορά. Σημαντικό είναι επίσης να σημειωθεί ότι η συνεχής καινοτομία σε αυτόν τον τομέα είναι ουσιώδης. Νέες τεχνολογίες και μέθοδοι έλεγχου πρέπει να αναπτύσσονται συνεχώς για να παραμένει αποτελεσματικός ο έλεγχος ταυτότητας των τυριών, λαμβάνοντας υπόψη τις εξελίξεις στη γεωργία, τη διατροφή, την τεχνολογία τροφίμων και την υγεία του ανθρώπου (Κωτσάκη, 2018).

Συνεπώς, η συνεχής έρευνα και ανάπτυξη σε αυτόν τον τομέα είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση των αναλυτικών δυνατοτήτων, την ανάπτυξη πρωτοκόλλων που είναι πιο ευαίσθητα και αποτελεσματικά, και την εφαρμογή ισχυρών μέτρων διασφάλισης ποιότητας. Μόνο έτσι μπορούμε να εξασφαλίσουμε τη συνεχή παραγωγή υψηλής ποιότητας τυριών που πληρούν τις απαιτήσεις και τις προσδοκίες των καταναλωτών παγκοσμίως (Αργύρη, 2022).

4.4 Μέθοδοι ελέγχου ταυτότητας βουτύρου και κρέμας

Ο έλεγχος ταυτότητας του βουτύρου και της κρέμας είναι απαραίτητος για τη διατήρηση της ακεραιότητας, της ποιότητας και της γνησιότητας αυτών των γαλακτοκομικών προϊόντων, προστατεύοντας από νοθεία, εσφαλμένη επισήμανση και πρακτικές απομίμησης στη βιομηχανία τροφίμων. Με την αυξανόμενη ζήτηση για premium και φυσικά γαλακτοκομικά προϊόντα, υπάρχει αυξανόμενη ανάγκη για ακριβείς και αξιόπιστες μεθόδους για την επαλήθευση της προέλευσης, της σύνθεσης και των πρακτικών παραγωγής του βουτύρου και της κρέμας. Οι τεχνικές χημικής ανάλυσης διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στον έλεγχο ταυτότητας βουτύρου και κρέμας, αξιολογώντας τη σύνθεση, τη δομή και τις φυσικοχημικές ιδιότητες αυτών των γαλακτοκομικών προϊόντων (Ανδρεάδου, 2012).

Οι βασικές μέθοδοι περιλαμβάνουν: Ανάλυση περιεκτικότητας σε λίπος: Ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε λιπαρά είναι μια θεμελιώδης παράμετρος για τον έλεγχο ταυτότητας βουτύρου και κρέμας. Μέθοδοι όπως η μέθοδος Gerber, η μέθοδος Mojonnier και η εκχύλιση Soxhlet χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μέτρηση της περιεκτικότητας σε λίπος, παρέχοντας πληροφορίες για την ποιότητα και την αυθεντικότητα του προϊόντος. Αέρια χρωματογραφία (GC) σε συνδυασμό με ανίχνευση ιονισμού φλόγας (FID) ή φασματομετρία μάζας (MS) επιτρέπει την ανάλυση των προφίλ λιπαρών οξέων σε δείγματα βουτύρου και κρέμας. Οι διαφορές στη σύνθεση των λιπαρών οξέων μπορεί να υποδεικνύουν διακυμάνσεις στη τροφή, τη φυλή και τις μεθόδους παραγωγής, βοηθώντας στον έλεγχο ταυτότητας του προϊόντος (Σφετσιώρης, 2020). Η ανάλυση περιεκτικότητας σε υγρασία είναι σημαντική για την αξιολόγηση της περιεκτικότητας σε νερό σε δείγματα βουτύρου και κρέμας, η οποία μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα, τη σταθερότητα και τη σταθερότητα του προϊόντος και διάρκεια ζωής. Μέθοδοι όπως η ξήρανση σε φούρνο και η τιτλοδότηση Karl Fischer χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των επιπέδων υγρασίας στα γαλακτοκομικά προϊόντα. Οι φασματοσκοπικές τεχνικές προσφέρουν γρήγορα και μη καταστροφικά μέσα για τον έλεγχο ταυτότητας βουτύρου και κρέμας με βάση τα μοριακά δακτυλικά τους αποτυπώματα και τα φασματικά χαρακτηριστικά τους (Βάχου, κ.α., 2023). Το NIRS χρησιμοποιείται ευρέως για την ταχεία ανάλυση δειγμάτων βουτύρου και κρέμας, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με την περιεκτικότητα σε λίπος, την περιεκτικότητα σε υγρασία, την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και άλλες παραμέτρους σύνθεσης. Το NIRS είναι ιδανικό για έλεγχο υψηλής απόδοσης και ποιοτικό έλεγχο σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας γαλακτοκομικών προϊόντων (Ανδριανάκου & Φραγκιά, 2022).

Η φασματοσκοπία FTIR επιτρέπει την ανάλυση λειτουργικών ομάδων και χημικών δεσμών σε δείγματα βουτύρου και κρέμας, επιτρέποντας την αναγνώριση συγκεκριμένων συστατικών όπως π. τριγλυκερίδια, πρωτεΐνες και υδατάνθρακες. Το FTIR είναι πολύτιμο για την ανίχνευση νοθευτών και μολυσματικών ουσιών στα γαλακτοκομικά προϊόντα (Μασούρας, 2022).

Οι μέθοδοι που βασίζονται στο DNA προσφέρουν ακριβή και ευαίσθητα εργαλεία για τον έλεγχο ταυτότητας βουτύρου και κρέμας στοχεύοντας συγκεκριμένους γενετικούς δείκτες ή αλληλουχίες DNA μοναδικές για τα γαλακτοκομικά είδη. Οι δοκιμές PCR μπορούν να ανιχνεύσουν και να ποσοτικοποιήσουν δείκτες DNA ειδικά για είδη σε δείγματα βουτύρου και κρέμας, επιτρέποντας την ταυτοποίηση των ζωικών ειδών (π.χ. αγελάδα, κατσίκι, πρόβατο) που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή. Η PCR είναι ευαίσθητη και ειδική, καθιστώντας την κατάλληλη για την ανίχνευση νοθείας και εσφαλμένης επισήμανσης (Μουράτης, 2013).

Οι τεχνικές προσδιορισμού αλληλουχίας επόμενης γενιάς (NGS) παρέχουν ολοκληρωμένες πληροφορίες για τη γενετική σύνθεση και την ποικιλομορφία των δειγμάτων βουτύρου και κρέμας. Η αλληλουχία DNA μπορεί να αναγνωρίσει μικροβιακά είδη, γενετικές παραλλαγές και πηγές μόλυνσης, ενισχύοντας τον έλεγχο ταυτότητας του προϊόντος και τον ποιοτικό έλεγχο (Βάσσης, 2009).

Η μικροβιολογική ανάλυση χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της μικροβιακής σύνθεσης και ποιότητας των δειγμάτων βουτύρου και κρέμας, παρέχοντας πληροφορίες για τις διαδικασίες ζύμωσης, τις πρακτικές υγιεινής και την ασφάλεια των προϊόντων. Το TVC (Total Variable Count) απαριθμεί τον συνολικό αριθμό βιώσιμων βακτηρίων σε δείγματα βουτύρου και κρέμας, χρησιμεύοντας ως δείκτης μικροβιακής ποιότητας και διάρκειας ζωής. Τα υψηλά επίπεδα TVC μπορεί να υποδηλώνουν κακή υγιεινή, ανεπαρκή επεξεργασία ή μόλυνση μετά την επεξεργασία (Khan, 2015).

Μικροβιολογικές αναλύσεις όπως PCR, ενζυμική ανοσοπροσοφητική δοκιμασία (ELISA) και μέθοδοι που βασίζονται σε καλλιέργεια χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση παθογόνων βακτηρίων (π.χ. σαλμονέλα, *Listeria*, *E. coli*) και αλλοιώνουν τους οργανισμούς σε δείγματα βουτύρου και κρέμας, διασφαλίζοντας την ασφάλεια των προϊόντων και τη συμμόρφωση με τα πρότυπα ασφάλειας των τροφίμων (Lahou et al., 2014).

Ο έλεγχος ταυτότητας του βουτύρου και της κρέμας είναι απαραίτητος για τη διατήρηση της εμπιστοσύνης των καταναλωτών στα γαλακτοκομικά προϊόντα. Χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό χημικής ανάλυσης, φασματοσκοπικών μεθόδων,

τεχνικών που βασίζονται στο DNA και μικροβιολογικής ανάλυσης, οι ερευνητές και οι ενδιαφερόμενοι της βιομηχανίας μπορούν να εξασφαλίσουν την ποιότητα, την καθαρότητα και την αυθεντικότητα των προϊόντων βουτύρου και κρέμας. Η συνεχής έρευνα και καινοτομία στις μεθόδους επαλήθευσης ταυτότητας θα είναι ουσιαστικής σημασίας για την αντιμετώπιση των αναδυόμενων προκλήσεων και την κάλυψη των εξελισσόμενων αναγκών της γαλακτοβιομηχανίας (Okonko et al., 2008).

4.5 Έλεγχος ταυτότητας γιαουρτιού και γαλακτοκομικών προϊόντων που έχουν υποστεί ζύμωση

Ο έλεγχος ταυτότητας του γιαουρτιού και των γαλακτοκομικών προϊόντων που έχουν υποστεί ζύμωση έχει γίνει ένα κρίσιμο ζήτημα στη βιομηχανία τροφίμων λόγω της αυξανόμενης επικράτησης της απάτης στα τρόφιμα και της υψηλής αξίας που συνδέεται με αυτά τα προϊόντα. Η διασφάλιση της αυθεντικότητας αυτών των προϊόντων όχι μόνο προστατεύει τους καταναλωτές αλλά διατηρεί επίσης την ακεραιότητα των εμπορικών σημάτων και της αγοράς γαλακτοκομικών προϊόντων στο σύνολό της. Αυτό το άρθρο διερευνά διάφορες πτυχές της πιστοποίησης γιαουρτιού και γαλακτοκομικών προϊόντων που έχουν υποστεί ζύμωση, συμπεριλαμβανομένης της σημασίας του ελέγχου ταυτότητας, των κοινών πρακτικών νοθείας και των προηγμένων αναλυτικών τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση της γνησιότητας του προϊόντος (da Paixao Teixeira et al., 2021).

Ο έλεγχος ταυτότητας του γιαουρτιού και των γαλακτοκομικών προϊόντων που έχουν υποστεί ζύμωση είναι απαραίτητος για διάφορους λόγους. Πρώτον, η ασφάλεια και η εμπιστοσύνη των καταναλωτών είναι πρωταρχικής σημασίας. Τα αυθεντικά προϊόντα διασφαλίζουν ότι οι καταναλωτές λαμβάνουν αυτό για το οποίο πληρώνουν και δεν εκτίθενται σε πιθανούς κινδύνους για την υγεία από νοθευμένα προϊόντα (Genis et al., 2019). Για παράδειγμα, η προσθήκη μη γαλακτοκομικών πρωτεϊνών ή συνθετικών ενώσεων μπορεί να προκαλέσει αλλεργικές αντιδράσεις ή άλλα προβλήματα υγείας. Δεύτερον, η ακεραιότητα της αγοράς διατηρείται μέσω του ελέγχου ταυτότητας. Η διασφάλιση της αυθεντικότητας των προϊόντων συμβάλλει στη διατήρηση της αγοραίας αξίας των γνήσιων προϊόντων και προστατεύει τις μάρκες από οικονομικές απώλειες λόγω απάτης. Η νοθεία μπορεί να υπονομεύσει την εμπιστοσύνη των καταναλωτών και να βλάψει τη φήμη των αξιόπιστων εμπορικών σημάτων. Τρίτον, η συμμόρφωση με τους κανονισμούς διασφαλίζεται μέσω του

ελέγχου ταυτότητας. Οι ρυθμιστικοί φορείς απαιτούν ακριβή σήμανση και συμμόρφωση με συγκεκριμένα πρότυπα για τα γαλακτοκομικά προϊόντα (Baptista et al., 2021).

Οι δοκιμές γνησιότητας διασφαλίζουν ότι τα προϊόντα πληρούν αυτές τις κανονιστικές απαιτήσεις, αποφεύγοντας νομικά ζητήματα και πιθανές ανακλήσεις. Η νοθεία του γιαουρτιού και των γαλακτοκομικών προϊόντων που έχουν υποστεί ζύμωση μπορεί να συμβεί με διάφορους τρόπους, όπως η αντικατάσταση του γάλακτος, η προσθήκη μη γαλακτοκομικών συστατικών, η αραίωση και η εσφαλμένη επισήμανση. Η αντικατάσταση του φθηνότερου γάλακτος, όπως το αγελαδινό, με πιο ακριβές επιλογές όπως το κατσικίσιο ή το πρόβειο γάλα, ή ακόμη και η αντικατάσταση των μη γαλακτοκομικών γάλακτων, είναι μια κοινή πρακτική. Η ενσωμάτωση μη γαλακτοκομικών πρωτεϊνών, λιπών ή πληρωτικών για τη μείωση του κόστους παραγωγής παραπλανώντας τους καταναλωτές σχετικά με την πραγματική σύνθεση του προϊόντος είναι μια άλλη μορφή νοθείας (Da Cruz et al., 2009).

Η αραίωση περιλαμβάνει την προσθήκη νερού ή άλλων ουσιών για την αύξηση του όγκου, γεγονός που μειώνει την ποιότητα και τη θρεπτική αξία του προϊόντος. Η εσφαλμένη σήμανση περιλαμβάνει εσφαλμένη σήμανση προϊόντων για να υποδηλώνει υψηλότερη ποιότητα ή ανώτερη κατάσταση, όπως η επισήμανση του κανονικού γιαουρτιού ως βιολογικού ή πλούσιου σε προβιοτικά. Για την καταπολέμηση αυτών των πρακτικών νοθείας, χρησιμοποιούνται διάφορες προηγμένες αναλυτικές τεχνικές για τον έλεγχο της ταυτότητας του γιαουρτιού και των γαλακτοκομικών προϊόντων που έχουν υποστεί ζύμωση. Αυτές οι τεχνικές προσφέρουν ακριβείς, αξιόπιστες μεθόδους για την επαλήθευση της σύνθεσης, της προέλευσης και της ποιότητας του προϊόντος (Marchetti et al., 2021).

Η φασματοσκοπία υπέρυθρων μετασχηματισμού Fourier (FTIR) είναι ένα ισχυρό εργαλείο για τον εντοπισμό και τον ποσοτικό προσδιορισμό διαφορετικών συστατικών στα γαλακτοκομικά προϊόντα. Αναλύοντας τα υπέρυθρα φάσματα των δειγμάτων, το FTIR μπορεί να ανιχνεύσει συγκεκριμένους μοριακούς δεσμούς και λειτουργικές ομάδες, παρέχοντας ένα δακτυλικό αποτύπωμα της σύνθεσης του προϊόντος. Για παράδειγμα, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν φασματοσκοπία FTIR για να διαφοροποιήσουν το αυθεντικό ελληνικό γιαούρτι και τα προϊόντα απομίμησης (Baghetipoor et al., 2015). Συγκρίνοντας τα φάσματα του γνήσιου ελληνικού γιαουρτιού με αυτά των απομιμήσεων, εντοπίστηκαν σημαντικές διαφορές στην περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και λιπίδια, επιτρέποντας ακριβή έλεγχο ταυτότητας. Οι μέθοδοι που βασίζονται σε DNA προσφέρουν μια ακριβή μέθοδο για τον προσδιορισμό των ειδών προέλευσης των γαλακτοκομικών προϊόντων. Τεχνικές όπως η αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης (PCR) και η γραμμική κωδικοποίηση DNA

χρησιμοποιούνται συνήθως για την ανίχνευση συγκεκριμένων γενετικών δεικτών. Για παράδειγμα, μια μελέτη χρησιμοποίησε PCR για τον έλεγχο της ταυτότητας των ειδών γάλακτος που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή γιαουρτιού. Ενισχύοντας δείκτες DNA για συγκεκριμένο είδος, οι ερευνητές μπορούσαν να αναγνωρίσουν με ακρίβεια αγελαδινό, κατσικίσιο και πρόβειο γάλα σε δείγματα γιαουρτιού του εμπορίου, διασφαλίζοντας τη σωστή επισήμανση και αποτρέποντας την απάτη με υποκατάσταση (De La Fuente & Juárez, 2005).

Η ανάλυση σταθερών ισοτόπων μετρά τις αναλογίες σταθερών ισοτόπων, όπως ο άνθρακας, το άζωτο και το οξυγόνο, στα τρόφιμα. Αυτές οι αναλογίες μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με τη γεωγραφική προέλευση, τη διατροφή και τις μεθόδους παραγωγής, καθιστώντας αυτή την τεχνική χρήσιμη για την επαλήθευση της προέλευσης και της γνησιότητας των γαλακτοκομικών προϊόντων. Για παράδειγμα, χρησιμοποιήθηκε ανάλυση σταθερών ισοτόπων για τον προσδιορισμό της γεωγραφικής προέλευσης των δειγμάτων γιαουρτιού (Lu et al., 2018).

Συγκρίνοντας τις ισοτοπικές υπογραφές του γιαουρτιού με γνωστές τιμές αναφοράς για διαφορετικές περιοχές, οι ερευνητές θα μπορούσαν να επαληθεύσουν με ακρίβεια την ισχυριζόμενη προέλευση των προϊόντων. Χρωματογραφικές μέθοδοι, συμπεριλαμβανομένης της Αέριας Χρωματογραφίας (GC) και της Υγρής Χρωματογραφίας (LC), χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό και την ανάλυση πολύπλοκων μιγμάτων στα γαλακτοκομικά προϊόντα. Αυτές οι τεχνικές είναι εξαιρετικά αποτελεσματικές για την ανίχνευση νοθευτών και μολυσματικών παραγόντων. Για παράδειγμα, LC σε συνδυασμό με Φασματομετρία Μάζας (LC-MS) χρησιμοποιήθηκε για την ανίχνευση συνθετικών προβιοτικών που προστέθηκαν στο γιαούρτι. Εντοπίζοντας και ποσοτικοποιώντας την παρουσία μη φυσικών προβιοτικών στελεχών, οι ερευνητές εξασφάλισαν την αυθεντικότητα και την ποιότητα των προβιοτικών προϊόντων γιαουρτιού (UmaMaheswari et al., 2021).

Η φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR) παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τη μοριακή δομή και τη σύνθεση των γαλακτοκομικών προϊόντων. Είναι συγκεκριμένοχρήσιμο κυρίως για τον εντοπισμό νοθείας και την επαλήθευση της γνησιότητας του προϊόντος. Για παράδειγμα, εφαρμόστηκε φασματοσκοπία NMR για την ανάλυση ποτών γάλακτος που έχουν υποστεί ζύμωση για τα οποία υπάρχει υποψία νοθείας. Η τεχνική αποκάλυψε αποκλίσεις στα προφίλ λιπαρών οξέων και τις δομές πρωτεΐνης, υποδεικνύοντας την παρουσία μη γαλακτοκομικών προσθέτων και επιβεβαιώνοντας τη νοθεία (Mafra et al., 2022).

Εκτός από τις καθιερωμένες μεθόδους, διερευνώνται επίσης αναδυόμενες τεχνολογίες για την ενίσχυση της αυθεντικότητας του γιαουρτιού και των γαλακτοκομικών προϊόντων που έχουν υποστεί ζύμωση. Η μεταβολομική περιλαμβάνει την ολοκληρωμένη ανάλυση των μεταβολιτών σε ένα βιολογικό δείγμα. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να παρέχει ένα λεπτομερές μεταβολικό προφίλ των γαλακτοκομικών προϊόντων, βοηθώντας στον εντοπισμό λεπτών διαφορών μεταξύ αυθεντικών και νοθευμένων δειγμάτων. Για παράδειγμα, η μεταβολομική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη δεικτών γνησιότητας για διαφορετικούς τύπους γιαουρτιού, με βάση τα μοναδικά μεταβολικά τους προφίλ (Molkentin, 2013).

Αυτή η τεχνική μπορεί να ανιχνεύσει παραλλαγές στους μεταβολίτες που προκύπτουν από διαφορετικές διαδικασίες παραγωγής, πηγές γάλακτος και συνθήκες ζύμωσης. Η φασματοσκοπική απεικόνιση, που συνδυάζει τη φασματοσκοπία με τις τεχνικές απεικόνισης, προσφέρει ένα ισχυρό εργαλείο για μη καταστροφική ανάλυση γαλακτοκομικών προϊόντων. Η υπερφασματική απεικόνιση, για παράδειγμα, μπορεί να παρέχει χωρικές και φασματικές πληροφορίες ταυτόχρονα, επιτρέποντας λεπτομερή ανάλυση της σύνθεσης και της ποιότητας του προϊόντος. Για παράδειγμα, η υπερφασματική απεικόνιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της ομοιομορφίας και της ποιότητας των προϊόντων γιαουρτιού, ανιχνεύοντας ασυνέπειες που μπορεί να υποδηλώνουν νοθεία ή ποιοτικά ελαττώματα (Da costa et al., 2016).

Αυτή η τεχνική μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε πραγματικό χρόνο σε γραμμές παραγωγής για συνεχή παρακολούθηση. Η πρόοδος στη μηχανική μάθηση και στην ανάλυση δεδομένων επέτρεψε την ανάπτυξη εξελιγμένων μοντέλων για την πρόβλεψη και την επαλήθευση της αυθεντικότητας των γαλακτοκομικών προϊόντων. Αυτά τα μοντέλα μπορούν να αναλύσουν πολύπλοκα σύνολα δεδομένων από διάφορες αναλυτικές τεχνικές για τον εντοπισμό μοτίβων και ανωμαλιών ενδεικτικών νοθείας. Για παράδειγμα, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να εκπαιδευτούν σε σύνολα δεδομένων από FTIR, NMR και χρωματογραφικές αναλύσεις για την ταξινόμηση δειγμάτων γιαουρτιού με βάση την αυθεντικότητά τους. Αυτά τα μοντέλα μπορούν να βελτιώσουν την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών ελέγχου ταυτότητας, μειώνοντας την εξάρτηση από την ανθρώπινη τεχνογνωσία και την υποκειμενική κρίση (Arvanitoyannis & Tzouros, 2005).

Το ρυθμιστικό πλαίσιο που περιβάλλει τον έλεγχο ταυτότητας γιαουρτιού και γαλακτοκομικών προϊόντων που έχουν υποστεί ζύμωση είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της συμμόρφωσης και την προστασία των καταναλωτών. Διάφοροι οργανισμοί

και πρότυπα διαδραματίζουν ρόλο σε αυτό το πλαίσιο, συμπεριλαμβανομένων του Codex Alimentarius, των κανονισμών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) και του Οργανισμού Τροφίμων και Φαρμάκων των Ηνωμένων Πολιτειών (FDA). Ο Codex Alimentarius, που ιδρύθηκε από τον FAO και τον ΠΟΥ, παρέχει διεθνή πρότυπα τροφίμων, κατευθυντήριες γραμμές και κώδικες πρακτικής για τη διασφάλιση της ασφάλειας και της ποιότητας των τροφίμων. Τα συγκεκριμένα πρότυπα για τα γαλακτοκομικά προϊόντα βοηθούν στον καθορισμό κριτηρίων γνησιότητας και απαιτήσεων επισήμανσης (Muncan et al., 2020). Η ΕΕ έχει αυστηρούς κανονισμούς για τα γαλακτοκομικά προϊόντα, συμπεριλαμβανομένων των ετικετών Προστατευόμενης Ονομασίας Προέλευσης (ΠΟΠ) και Προστατευόμενης Γεωγραφικής Ένδειξης (ΠΓΕ). Αυτοί οι κανονισμοί συμβάλλουν στην προστασία των παραδοσιακών και τοπικών γαλακτοκομικών προϊόντων από απομίμηση και απάτη.

Ο FDA επιβάλλει κανονισμούς για τη σήμανση και τη σύνθεση των γαλακτοκομικών προϊόντων, διασφαλίζοντας ότι τα προϊόντα πληρούν συγκεκριμένα πρότυπα και αντιπροσωπεύονται με ακρίβεια στους καταναλωτές. Οι βέλτιστες πρακτικές περιλαμβάνουν την εφαρμογή ισχυρών συστημάτων ιχνηλασιμότητας, την απόκτηση πιστοποίησης από τρίτους και τη διενέργεια τακτικών δοκιμών και ελέγχων. Η εφαρμογή ισχυρών συστημάτων ιχνηλασιμότητας επιτρέπει την παρακολούθηση ολόκληρης της παραγωγικής διαδικασίας, από την προμήθεια πρώτων υλών έως τη διανομή του τελικού προϊόντος. Αυτή η διαφάνεια βοηθά στην αποτροπή της νοθείας και διασφαλίζει τη λογοδοσία (Qin et al., 2022). Η απόκτηση πιστοποίησης τρίτων από αξιόπιστους οργανισμούς μπορεί να ενισχύσει την εμπιστοσύνη των καταναλωτών και να επαληθεύσει τη γνησιότητα του προϊόντος. Πιστοποιήσεις όπως βιολογικά, μη ΓΤΟ και δίκαιο εμπόριο προσθέτουν ένα επιπλέον επίπεδο διασφάλισης. Η διεξαγωγή τακτικών δοκιμών και ελέγχων των εγκαταστάσεων και των προϊόντων παραγωγής βοηθά στον εντοπισμό και την έγκαιρη αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων. Αυτή η προληπτική προσέγγιση διασφαλίζει τη συνεχή συμμόρφωση με τα πρότυπα γνησιότητας.

Ο έλεγχος ταυτότητας του γιαουρτιού και των γαλακτοκομικών προϊόντων που έχουν υποστεί ζύμωση είναι μια πολύπλευρη πρόκληση που απαιτεί συνδυασμό προηγμένων αναλυτικών τεχνικών, ρυθμιστικής εποπτείας και βέλτιστων πρακτικών του κλάδου. Με τη μόχλευση εργαλείων όπως η φασματοσκοπία FTIR, οι μέθοδοι που βασίζονται στο DNA, η ανάλυση σταθερών ισοτόπων, οι χρωματογραφικές τεχνικές και η φασματοσκοπία NMR, οι ενδιαφερόμενοι στη γαλακτοβιομηχανία μπορούν να καταπολεμήσουν αποτελεσματικά τη νόθευση και να διασφαλίσουν την αυθεντικότητα των προϊόντων τους. Οι αναδυόμενες

τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένης της μεταβολομικής, της φασματοσκοπικής απεικόνισης και της μηχανικής μάθησης, υπόσχονται περαιτέρω βελτίωση των διαδικασιών ελέγχου ταυτότητας (Martinez et al., 2008).

Αυτές οι καινοτομίες, σε συνδυασμό με ένα ισχυρό ρυθμιστικό πλαίσιο και επιμελείς πρακτικές του κλάδου, μπορούν να βοηθήσουν στη διατήρηση της εμπιστοσύνης των καταναλωτών, στην προστασία της δημόσιας υγείας και στη διατήρηση της ακεραιότητας του γαλακτοκομείου. Καθώς η ζήτηση για υψηλής ποιότητας, αυθεντικά γαλακτοκομικά προϊόντα συνεχίζει να αυξάνεται, η συνεχής έρευνα και ανάπτυξη μεθόδων ελέγχου ταυτότητας θα είναι απαραίτητη. Η συνεργασία μεταξύ των ρυθμιστικών φορέων, των ενδιαφερόμενων μερών του κλάδου και των επιστημονικών κοινοτήτων θα είναι το κλειδί για την αντιμετώπιση των αναδυόμενων προκλήσεων και τη διασφάλιση της συνεχούς επιτυχίας της γαλακτοβιομηχανίας (Hai et al., 2020).

Ενότητα 5^η

5.1 Ρυθμιστικό πλαίσιο και πρότυπα: Διασφάλιση της αυθεντικότητας των τροφίμων στη διεθνή σκηνή

Η διασφάλιση της γνησιότητας των τροφίμων είναι πρωταρχικής σημασίας για τη διατήρηση της εμπιστοσύνης των καταναλωτών, την προστασία της δημόσιας υγείας και την προώθηση πρακτικών θεμιτού εμπορίου στη διεθνή σκηνή. Για την αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας των παγκόσμιων αλυσίδων εφοδιασμού τροφίμων και την καταπολέμηση της απάτης στα τρόφιμα, οι ρυθμιστικοί φορείς και οι οργανισμοί τυποποίησης έχουν αναπτύξει ολοκληρωμένα πλαίσια και οδηγίες για την προώθηση της διαφάνειας, της ακεραιότητας και της λογοδοσίας στη βιομηχανία τροφίμων (Κατεβάτη, 2018).

Η Επιτροπή Codex Alimentarius, που ιδρύθηκε από τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), είναι ο διεθνής φορέας καθορισμού προτύπων για την ασφάλεια και την ποιότητα των τροφίμων. Ενώ ο Κώδικας εστιάζει κυρίως στα πρότυπα ασφάλειας των τροφίμων, αντιμετωπίζει επίσης ζητήματα που σχετίζονται με την αυθεντικότητα των τροφίμων μέσω κατευθυντήριων γραμμών και κωδίκων πρακτικής. Οι Γενικές Αρχές Υγιεινής Τροφίμων του Codex τονίζουν τη σημασία της πρόληψης της απάτης στα τρόφιμα και της διασφάλισης της αυθεντικότητας των προϊόντων διατροφής σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων (Νίκας, 2014).

Η Παγκόσμια Πρωτοβουλία για την Ασφάλεια των Τροφίμων (GFSI), μια πλατφόρμα συνεργασίας εμπειρογνομόνων σε θέματα ασφάλειας τροφίμων από τη βιομηχανία, την κυβέρνηση και τον ακαδημαϊκό κόσμο, έχει αναπτύξει έγγραφα καθοδήγησης και βέλτιστες πρακτικές για την πρόληψη της απάτης στα τρόφιμα και τη διασφάλιση της γνησιότητας των τροφίμων. Η στρατηγική πρόληψης της απάτης στον τομέα των τροφίμων της GFSI παρέχει ένα πλαίσιο για την αξιολόγηση και τον μετριασμό των κινδύνων απάτης σε τρόφιμα, συμπεριλαμβανομένων των αξιολογήσεων ευπάθειας, των στρατηγικών μετριασμού και των μέτρων παρακολούθησης και επαλήθευσης (Λαγουδάκη, 2014).

Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) έχει αναπτύξει μια σειρά προτύπων που σχετίζονται με την αυθεντικότητα των τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων των ISO 22000 (Συστήματα Διαχείρισης Ασφάλειας Τροφίμων), ISO 9001 (Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας) και ISO/IEC 17025 (Γενικές απαιτήσεις για το αρμοδιότητα εργαστηρίων

δοκιμών και βαθμονόμησης). Αυτά τα πρότυπα παρέχουν κατευθυντήριες γραμμές και απαιτήσεις για την εφαρμογή συστημάτων διαχείρισης ασφάλειας και ποιότητας τροφίμων, τα οποία είναι απαραίτητα για τη διασφάλιση της γνησιότητας και της ακεραιότητας των προϊόντων διατροφής (Ζώης, 2012).

Αρκετές διεθνείς συμφωνίες και πρωτοβουλίες αντιμετωπίζουν τις απαιτήσεις ιχνηλασιμότητας και επισήμανσης για την ενίσχυση της διαφάνειας και της λογοδοσίας στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων. Ο κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 1169/2011 της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) σχετικά με την παροχή πληροφοριών για τα τρόφιμα στους καταναλωτές απαιτεί ακριβή σήμανση των προϊόντων διατροφής, συμπεριλαμβανομένων πληροφοριών για τα συστατικά, τα αλλεργιογόνα και τη γεωγραφική προέλευση. Ομοίως, ο νόμος εκσυγχρονισμού της ασφάλειας των τροφίμων των Ηνωμένων Πολιτειών (FSMA) τονίζει τη σημασία της ιχνηλασιμότητας και της τήρησης αρχείων για την πρόληψη της απάτης στα τρόφιμα και τη διασφάλιση της γνησιότητας των προϊόντων διατροφής (Αρναούτογλου, 2012).

Καταβάλλονται προσπάθειες για την εναρμόνιση των διεθνών κανονισμών και προτύπων που σχετίζονται με την αυθεντικότητα των τροφίμων για τη διευκόλυνση του εμπορίου και τη διασφάλιση της συνεπούς επιβολής των απαιτήσεων ασφάλειας και ποιότητας των τροφίμων. Οργανισμοί όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Εμπορίου (ΠΟΕ) και το Διεθνές Κέντρο Εμπορίου (ITC) εργάζονται για την προώθηση της αμοιβαίας αναγνώρισης των προτύπων και τη διευκόλυνση των εμπορικών συμφωνιών που υποστηρίζουν την αυθεντικότητα και την ασφάλεια των προϊόντων διατροφής διασυννοριακά (Tietje, 2010).

Οι παγκόσμιες αλυσίδες εφοδιασμού τροφίμων είναι περίπλοκες και αλληλένδετες, καθιστώντας δύσκολη την ανίχνευση της προέλευσης και της αυθεντικότητας των προϊόντων διατροφής, ιδιαίτερα των επεξεργασμένων τροφίμων και των τροφίμων πολλών συστατικών.

Η ταχεία παγκοσμιοποίηση, η κλιματική αλλαγή και οι τεχνολογικές εξελίξεις εισάγουν νέους κινδύνους και ευπάθειες στην αυθεντικότητα των τροφίμων, απαιτώντας συνεχή επαγρύπνηση και προσαρμογή των ρυθμιστικών πλαισίων και προτύπων (Hoekman & Mavroidis, 2015).

Πολλές αναπτυσσόμενες χώρες δεν διαθέτουν την υποδομή, τους πόρους και την τεχνογνωσία για την εφαρμογή και την επιβολή Πρότυπα ασφάλειας και γνησιότητας τροφίμων αποτελεσματικά, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για πρωτοβουλίες ανάπτυξης ικανοτήτων και τεχνικής βοήθειας. Η οικοδόμηση της ευαισθητοποίησης των καταναλωτών

και της κατανόησης των θεμάτων αυθεντικότητας των τροφίμων είναι απαραίτητη για την ενδυνάμωση των καταναλωτών να κάνουν συνειδητές επιλογές και να απαιτούν διαφάνεια και υπευθυνότητα από τους παραγωγούς και τους λιανοπωλητές τροφίμων. Προχωρώντας προς τα εμπρός, οι ενδιαφερόμενοι πρέπει να συνεργαστούν για να αντιμετωπίσουν αυτές τις προκλήσεις και να ενισχύσουν το ρυθμιστικό πλαίσιο για την αυθεντικότητα των τροφίμων στη διεθνή σκηνή. Με την προώθηση της διαφάνειας, της ακεραιότητας και της εμπιστοσύνης στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων, μπορούμε να διασφαλίσουμε την ασφάλεια, την ποιότητα και την αυθεντικότητα των προϊόντων διατροφής για τους καταναλωτές σε όλο τον κόσμο (Bhala et al., 2017).

5.2 Ειδικοί κανονισμοί που διέπουν την αυθεντικότητα γαλακτοκομικών προϊόντων

Διασφάλιση της ακεραιότητας και της ασφάλειας Τα γαλακτοκομικά προϊόντα διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στις παγκόσμιες αλυσίδες εφοδιασμού τροφίμων, με τους καταναλωτές να βασίζονται στην ποιότητα, την αυθεντικότητα και την ασφάλειά τους. Για την αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της παραγωγής και του εμπορίου γαλακτοκομικών προϊόντων, οι ρυθμιστικοί φορείς παγκοσμίως έχουν θεσπίσει ολοκληρωμένα πλαίσια και πρότυπα για να διασφαλίσουν την αυθεντικότητα και την ακεραιότητα των γαλακτοκομικών προϊόντων (Montgomery et al., 2020).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αυστηρούς κανονισμούς που διέπουν τη γνησιότητα των γαλακτοκομικών προϊόντων, διασφαλίζουν τη συμμόρφωση με τα πρότυπα ποιότητας και προστατεύουν τις γεωγραφικές ενδείξεις (ΓΕ). Η Κοινή Αγροτική Πολιτική (ΚΑΠ) της ΕΕ ορίζει απαιτήσεις ποιότητας και επισήμανσης για τα γαλακτοκομικά προϊόντα, συμπεριλαμβανομένων των ονομασιών ΠΟΠ (Προστατευόμενης Ονομασίας Προέλευσης) και ΠΓΕ (Προστατευόμενης Γεωγραφικής Ένδειξης) για τοπικά ειδικά προϊόντα όπως το Parmigiano Reggiano και το τυρί ροκφόρ. Ο κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 1308/2013 θεσπίζει κανόνες για την επισήμανση, την εμπορία και την πιστοποίηση των γεωργικών προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων των γαλακτοκομικών προϊόντων, για την αποφυγή παραπλανητικών δηλώσεων και τη διασφάλιση της εμπιστοσύνης των καταναλωτών (Mania et al., 2018).

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, ο Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) ρυθμίζει τη γνησιότητα των γαλακτοκομικών προϊόντων σύμφωνα με τον νόμο περί τροφίμων, φαρμάκων και καλλυντικών (FD&C Act) και τον Ομοσπονδιακό νόμο περί τροφίμων, φαρμάκων και καλλυντικών (FFDCA). Το διάταγμα Grade A Pasteurized Milk Ordinance (PMO) θέτει πρότυπα για την παραγωγή, την επεξεργασία και τη διανομή γάλακτος, διασφαλίζοντας την ασφάλεια και την ποιότητα των γαλακτοκομικών προϊόντων. Οι κανονισμοί του Προτύπου Ταυτότητας του FDA ορίζουν τη σύνθεση και τα χαρακτηριστικά συγκεκριμένων γαλακτοκομικών προϊόντων, όπως το τυρί, το βούτυρο και το γιαούρτι, για την πρόληψη της νοθείας και της εσφαλμένης επισήμανσης (Gimonkar et al., 2021).

Η Επιτροπή Codex Alimentarius θεσπίζει διεθνή πρότυπα και κατευθυντήριες γραμμές για την ασφάλεια και την ποιότητα των τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων των γαλακτοκομικών προϊόντων. Το πρότυπο Codex για επώνυμα τυριά θέτει κριτήρια για τη σύνθεση, την παρασκευή και την επισήμανση συγκεκριμένων ποικιλιών τυριού, διασφαλίζοντας συνέπεια και αυθεντικότητα. Το Codex General Standards for Dairy Products παρέχει κατευθυντήριες γραμμές για την επεξεργασία, τη συσκευασία και την αποθήκευση γάλακτος και γαλακτοκομικών προϊόντων, προωθώντας τις βέλτιστες πρακτικές και τη διασφάλιση ποιότητας σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού γαλακτοκομικών προϊόντων (Abbas et al., 2018).

Η Διεθνής Ομοσπονδία Γαλακτοκομικών (IDF) αναπτύσσει τεχνικές οδηγίες και συστάσεις για την αυθεντικότητα και τον ποιοτικό έλεγχο των γαλακτοκομικών προϊόντων. Παρέχει καθοδήγηση σχετικά με μεθόδους ανίχνευσης νοθείας γάλακτος, συμπεριλαμβανομένης της προσθήκης νερού, ορού γάλακτος ή άλλων ουσιών, για να διασφαλιστεί η συμμόρφωση με τις απαιτήσεις επισήμανσης και τις προσδοκίες των καταναλωτών. Η IDF συνεργάζεται επίσης με τις ρυθμιστικές αρχές και τους ενδιαφερόμενους του κλάδου για την αντιμετώπιση αναδυόμενων ζητημάτων και την προώθηση της εναρμόνισης των προτύπων για τα γαλακτοκομικά προϊόντα παγκοσμίως (Charlebois et al., 2014).

Πολλές χώρες έχουν θεσπίσει κανονισμούς για την προστασία των γεωγραφικών ενδείξεων (ΓΕ) για τα γαλακτοκομικά προϊόντα που σχετίζονται με συγκεκριμένες περιοχές και παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής. Τα GI ενισχύουν την αυθεντικότητα των προϊόντων, προωθούν την αγροτική ανάπτυξη και διατηρούν την πολιτιστική κληρονομιά αποτρέποντας τη μη εξουσιοδοτημένη χρήση ονομασιών και ονομασιών της περιοχής. Πρωτοβουλίες όπως το σύστημα ΓΕ της Ευρωπαϊκής Ένωσης και ο Παγκόσμιος Οργανισμός Διανοητικής

Ιδιοκτησίας (WIPO) παρέχουν νομική προστασία για τους ΓΕ, επιτρέποντας στους παραγωγούς να διαφοροποιούν τα προϊόντα τους και να διατηρούν την αξία της αγοράς (Prache et al., 2022).

Η αυξανόμενη παγκοσμιοποίηση και η απελευθέρωση του εμπορίου θέτουν προκλήσεις για την επιβολή των κανονισμών και την παρακολούθηση της αυθεντικότητας των γαλακτοκομικών προϊόντων διασυνοριακά, απαιτώντας διεθνή συνεργασία και προσπάθειες εναρμόνισης (Kamiloglu et al., 2021).

Οι τεχνολογίες επεξεργασίας, συσκευασίας και επισήμανσης τροφίμων εισάγουν νέους κινδύνους και ευπάθειες στην αυθεντικότητα των γαλακτοκομικών προϊόντων, απαιτώντας κανονιστική προσαρμογή και καινοτομία για την αντιμετώπιση των αναδυόμενων απειλών. και απαιτούν διαφάνεια από τους παραγωγούς και τους λιανοπωλητές γαλακτοκομικών προϊόντων. Προχωρώντας προς τα εμπρός, οι ενδιαφερόμενοι πρέπει να συνεργαστούν για να ενισχύσουν τους κανονισμούς, να ενισχύσουν τους μηχανισμούς επιβολής και να προωθήσουν τις βέλτιστες πρακτικές στην παραγωγή και το εμπόριο γαλακτοκομικών προϊόντων. Διασφαλίζοντας την αυθεντικότητα και την ασφάλεια των γαλακτοκομικών προϊόντων, μπορούμε να υποστηρίξουμε την εμπιστοσύνη των καταναλωτών, να υποστηρίξουμε βιώσιμες πρακτικές γαλακτοκομικής καλλιέργειας και να προωθήσουμε μια ανθεκτική γαλακτοκομική βιομηχανία για τις επόμενες γενιές (Gallagher & McKevitt, 2019).

5.3 Ο ρόλος των ρυθμιστικών φορέων στη διασφάλιση της συμμόρφωσης με την αυθεντικότητα των τροφίμων

Οι ρυθμιστικοί φορείς διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διασφάλιση της γνησιότητας των τροφίμων, διασφαλίζοντας ότι οι καταναλωτές λαμβάνουν ασφαλή, γνήσια και επακριβώς επισημασμένα προϊόντα τροφίμων. Με την άνοδο της παγκοσμιοποίησης και των πολύπλοκων αλυσίδων εφοδιασμού, η ανάγκη για ισχυρά ρυθμιστικά πλαίσια γίνεται όλο και πιο κρίσιμη για την καταπολέμηση της απάτης στα τρόφιμα και τη διατήρηση της εμπιστοσύνης των καταναλωτών (Αισλάιτνερ, 2014).

Οι ρυθμιστικοί φορείς αναπτύσσουν και επιβάλλουν πρότυπα και κανονισμούς που διέπουν την αυθεντικότητα των τροφίμων, θέτοντας απαιτήσεις για την επισήμανση, τη σύνθεση και τον ποιοτικό έλεγχο. Αυτά τα πρότυπα έχουν σχεδιαστεί για να αποτρέπουν τη

νοθεία, την ψευδή δήλωση και τις δόλιες πρακτικές στη βιομηχανία τροφίμων. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τα διεθνή πρότυπα τροφίμων της Επιτροπής Codex Alimentarius, το σύστημα Προστατευόμενης Ονομασίας Προέλευσης (ΠΟΠ) της Ευρωπαϊκής Ένωσης και τους κανονισμούς επισήμανσης τροφίμων της Υπηρεσίας Τροφίμων και Φαρμάκων των Ηνωμένων Πολιτειών (FDA). Καθιερώνοντας σαφείς κατευθυντήριες γραμμές και απαιτήσεις, οι ρυθμιστικοί φορείς παρέχουν ένα πλαίσιο για τη συμμόρφωση του κλάδου και την προστασία των καταναλωτών (Ευσταθίου, 2024).

Οι ρυθμιστικοί φορείς διενεργούν επιθεωρήσεις και ελέγχους στις εγκαταστάσεις τροφίμων για να διασφαλίσουν τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς γνησιότητας των τροφίμων. Οι επιθεωρητές αξιολογούν τις εγκαταστάσεις παραγωγής, τις πρακτικές επεξεργασίας και την τεκμηρίωση για να επαληθεύσουν τη συμμόρφωση με τα πρότυπα και να εντοπίσουν πιθανούς κινδύνους απάτης στα τρόφιμα. Οι έλεγχοι μπορεί να περιλαμβάνουν επιτόπιες επιθεωρήσεις, αναθεωρήσεις εγγράφων και δειγματοληψία προϊόντων τροφίμων για εργαστηριακή ανάλυση. Με την παρακολούθηση και την επιβολή της συμμόρφωσης, οι ρυθμιστικοί φορείς αποτρέπουν τις δόλιες δραστηριότητες και διατηρούν την ακεραιότητα της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων (Μπαλαμώτη, 2018).

Οι ρυθμιστικοί φορείς προωθούν την εφαρμογή συστημάτων ιχνηλασιμότητας για την παρακολούθηση της κίνησης των προϊόντων διατροφής από το αγρόκτημα στο πιρούνι. Η ιχνηλασιμότητα επιτρέπει την ταχεία αναγνώριση της προέλευσης, της επεξεργασίας και της διανομής των ειδών διατροφής, διευκολύνοντας τις ανακλήσεις και τις έρευνες σε περίπτωση συμβάντων ασφάλειας ή ανησυχιών σχετικά με τη γνησιότητα. Πολλά ρυθμιστικά πλαίσια, όπως ο κανονισμός (ΕΕ) 178/2002 της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη Γενική Νομοθεσία για τα Τρόφιμα, απαιτούν από τις επιχειρήσεις τροφίμων να καθιερώνουν συστήματα ιχνηλασιμότητας και να διατηρούν αρχεία για τις κινήσεις των προϊόντων. Ενισχύοντας τη διαφάνεια και τη λογοδοσία, τα συστήματα ιχνηλασιμότητας συμβάλλουν στη συμμόρφωση με την αυθεντικότητα των τροφίμων και στον μετριασμό του κινδύνου (Κατσικαδάκου & Γεωργίου, 2023).

Οι ρυθμιστικοί φορείς πραγματοποιούν αξιολογήσεις κινδύνου και δραστηριότητες επιτήρησης για τον εντοπισμό αναδυόμενων κινδύνων και τρωτών σημείων στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων. Οι αξιολογήσεις κινδύνου αξιολογούν πιθανούς κινδύνους, ευπάθειες και μέτρα μετριασμού που σχετίζονται με την αυθεντικότητα των τροφίμων, ενημερώνοντας τη λήψη ρυθμιστικών αποφάσεων και την κατανομή πόρων. Τα προγράμματα επιτήρησης παρακολουθούν τις αγορές τροφίμων, αναλύουν τα παράπονα των καταναλωτών και

διενεργούν στοχευμένες επιθεωρήσεις για τον εντοπισμό δόλιων δραστηριοτήτων και τη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τους κανονισμούς. Εντοπίζοντας και αντιμετωπίζοντας προληπτικά τους κινδύνους, οι ρυθμιστικοί φορείς προστατεύουν τη δημόσια υγεία και αποτρέπουν την οικονομική βλάβη που συνδέεται με την απάτη στα τρόφιμα (Κοτσανόπουλος, 2023).

Οι ρυθμιστικοί φορείς συνεργάζονται με ενδιαφερόμενα μέρη του κλάδου, ερευνητικά ιδρύματα και διεθνείς οργανισμούς για να ανταλλάξουν γνώσεις, βέλτιστες πρακτικές και δεδομένα σχετικά με θέματα αυθεντικότητας των τροφίμων. Η συνεργασία διευκολύνει την ανταλλαγή πληροφοριών, την ανάπτυξη ικανοτήτων και την εναρμόνιση των ρυθμιστικών προσεγγίσεων μεταξύ των δικαιοδοσιών. Πρωτοβουλίες όπως το Διεθνές Δίκτυο Αρχών Ασφάλειας Τροφίμων (INFOSAN) και το Δίκτυο Απάτης Τροφίμων (FFN) προωθούν τη συνεργασία μεταξύ ρυθμιστικών φορέων για την αντιμετώπιση παγκόσμιων προκλήσεων αυθεντικότητας των τροφίμων. Με τη συνεργασία τους, οι ρυθμιστικοί φορείς ενισχύουν την αποτελεσματικότητά τους στην καταπολέμηση της απάτης στα τρόφιμα και την προστασία των καταναλωτών (Μώρος, 2023).

Παρά τον κρίσιμο ρόλο τους, οι ρυθμιστικοί φορείς αντιμετωπίζουν πολλές προκλήσεις όσον αφορά τη διασφάλιση της συμμόρφωσης με την αυθεντικότητα των τροφίμων. Αυτές οι προκλήσεις περιλαμβάνουν (Alrobaish et al., 2021) :

1. **Περιορισμοί Πόρων:** Η περιορισμένη χρηματοδότηση, η έλλειψη επαρκούς προσωπικού και η τεχνική έλλειψη μπορεί να περιορίσει την ικανότητα των ρυθμιστικών φορέων να επιβάλλουν αποτελεσματικά τους κανονισμούς για την αυθεντικότητα των τροφίμων. Επενδύσεις σε προγράμματα κατάρτισης, τεχνολογικές αναβαθμίσεις και πρωτοβουλίες συνεργασίας μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών και στην ενίσχυση των ρυθμιστικών ικανοτήτων (Galvez et al., 2018).
2. **Παγκοσμιοποίηση των Αλυσίδων Εφοδιασμού:** Η παγκοσμιοποίηση των αλυσίδων εφοδιασμού τροφίμων δημιουργεί προκλήσεις στη ρύθμιση του διεθνούς εμπορίου και στην παρακολούθηση της αυθεντικότητας των εισαγόμενων προϊόντων. Οι ρυθμιστικοί φορείς πρέπει να ενισχύσουν τη διεθνή συνεργασία, να εναρμονίσουν τα πρότυπα και να ενισχύσουν τα συστήματα ιχνηλασιμότητας για να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά τη διασυνοριακή απάτη στα τρόφιμα.

3. **Αναδυόμενες Τεχνολογίες:** Οι γρήγορες εξελίξεις στις τεχνολογίες επεξεργασίας, συσκευασίας και επισήμανσης τροφίμων θέτουν προκλήσεις στον εντοπισμό και την πρόληψη νέων μορφών απάτης στα τρόφιμα. Οι ρυθμιστικοί φορείς πρέπει να προσαρμόσουν τις στρατηγικές τους, να αξιοποιήσουν τεχνολογικές λύσεις και να συνεργαστούν με τους εταίρους του κλάδου για να παραμείνουν μπροστά από τις εξελισσόμενες απειλές (King et al., 2017).

Οι ρυθμιστικοί φορείς μπορούν να διαδραματίσουν ρόλο στην εκπαίδευση των καταναλωτών σχετικά με την επισήμανση των τροφίμων, τα προγράμματα πιστοποίησης και τη σημασία της αγοράς από αξιόπιστες πηγές, καθώς και στη διεξαγωγή αξιολογήσεων (Hofherr et al., 2016).

Ενότητα 6^η

6.1 Μελέτες περίπτωσης: Επιτυχείς εφαρμογές σύγχρονων αναλυτικών τεχνικών στον έλεγχο ταυτότητας γαλακτοκομικών προϊόντων

Οι σύγχρονες αναλυτικές τεχνικές έχουν φέρει επανάσταση στον τομέα του ελέγχου ταυτότητας γαλακτοκομικών προϊόντων, επιτρέποντας ακριβή και αξιόπιστη ανάλυση της σύνθεσης, της προέλευσης και της ποιότητας του προϊόντος. Σε αυτήν την ενότητα, θα εξετάσουμε περιπτώσεις μελέτης που δείχνουν την επιτυχή εφαρμογή προηγμένων αναλυτικών μεθόδων στον έλεγχο ταυτότητας γαλακτοκομικών προϊόντων, αποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητά τους στην αντιμετώπιση των προκλήσεων αυθεντικότητας και στην εξασφάλιση της εμπιστοσύνης των καταναλωτών (Alrobaish et al., 2021).

Στην πρώτη περίπτωση, η χρήση της φασματοσκοπίας Υπέρυθρου Μετασχηματισμού Fourier (FTIR) στον έλεγχο ταυτότητας του τυριού Parmigiano Reggiano αποτελεί παράδειγμα αποτελεσματικής εφαρμογής τεχνολογικών μεθόδων. Η μελέτη αυτή ανέδειξε τη δυνατότητα της φασματοσκοπίας FTIR να διακρίνει με ακρίβεια το γνήσιο τυρί Parmigiano Reggiano από πλαστά προϊόντα, παρέχοντας γρήγορη και μη καταστροφική μέθοδο αξιολόγησης της αυθεντικότητάς του. Στη δεύτερη περίπτωση, οι μέθοδοι που βασίζονται στο DNA χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο ταυτότητας των ειδών γάλακτος. Αυτή η

προσέγγιση επέτρεψε την προσδιορισμό της προέλευσης του γάλακτος που χρησιμοποιήθηκε σε γαλακτοκομικά προϊόντα, συμβάλλοντας στη διασφάλιση της γνησιότητας και στην επιβεβαίωση της συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις επισήμανσης (Ράπτη, 2023).

Στην τρίτη περίπτωση, η ανάλυση ισοτόπων χρησιμοποίησε στην επαλήθευση της γεωγραφικής προέλευσης του βουτύρου. Αυτή η μέθοδος παρείχε ακριβείς πληροφορίες σχετικά με την προέλευση των δειγμάτων βουτύρου με βάση τις αναλογίες ισοτόπων άνθρακα και υδρογόνου, επιτρέποντας τη διαφοροποίηση μεταξύ δειγμάτων από διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές (Αντωνάκου, 2023).

Τέλος, στην τέταρτη περίπτωση, η χρωματογραφική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε για την ανίχνευση νοθείας σε βρεφική φόρμουλα. Αυτή η τεχνική επέτρεψε την εντοπισμό και την ποσοτικοποίηση των νοθευτών μέσω αέριας χρωματογραφίας-φασματοσκοπίας μάζας και υγρής χρωματογραφίας-φασματομετρίας μάζας (Καλλέ, 2024).

Οι περιπτώσεις αυτές αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα των προηγμένων αναλυτικών τεχνικών στον έλεγχο ταυτότητας γαλακτοκομικών προϊόντων. Από φασματοσκοπικές μεθόδους και ανάλυση βάσει DNA έως ανάλυση ισοτόπων και χρωματογραφικές τεχνικές, αυτές οι τεχνικές προσφέρουν αξιόπιστα εργαλεία για την αντιμετώπιση της απάτης στα τρόφιμα και τη διασφάλιση της εμπιστοσύνης των καταναλωτών. Με τη χρήση αυτών των τεχνικών, οι ενδιαφερόμενοι στη γαλακτοβιομηχανία μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα και την ασφάλεια των προϊόντων τους, διατηρώντας την εμπιστοσύνη του κοινού. Με την εφαρμογή αυτών των τεχνικών, οι παραγωγοί μπορούν να παρακολουθούν και να βελτιώνουν τις διαδικασίες παραγωγής τους, ενώ ταυτόχρονα μειώνουν τον κίνδυνο παραγωγής πλαστών ή ακατάλληλων προϊόντων. Επιπλέον, η αποτελεσματική προσδιορισμός της προέλευσης των προϊόντων μπορεί να συμβάλει στη μείωση του κινδύνου διασποράς ασθενειών και στη βελτίωση της ασφάλειας των τροφίμων (Ποουρκού, 2023).

Επιπλέον, η χρήση αυτών των τεχνικών μπορεί να ενισχύσει την εμπιστοσύνη των καταναλωτών στην αγορά γαλακτοκομικών προϊόντων, βοηθώντας τους να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις αγοράς και ενθαρρύνοντάς τους να επιλέγουν προϊόντα υψηλής ποιότητας και αυθεντικότητας. Συνολικά, η εφαρμογή αυτών των σύγχρονων αναλυτικών τεχνικών στον έλεγχο ταυτότητας γαλακτοκομικών προϊόντων είναι ένα βήμα προς την κατεύθυνση της αειφορίας, της ασφάλειας και της ποιότητας στον κλάδο της γαλακτοβιομηχανίας (Παπαδέδες, 2017).

6.2 Προοπτικές του κλάδου σχετικά με την εφαρμογή μεθόδων ανάλυσης γνησιότητας τροφίμων

Η εφαρμογή μεθόδων ανάλυσης γνησιότητας τροφίμων είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της ακεραιότητας του προϊόντος, την εκπλήρωση των κανονιστικών απαιτήσεων και τη διασφάλιση της εμπιστοσύνης των καταναλωτών. Τα ενδιαφερόμενα μέρη του κλάδου, συμπεριλαμβανομένων των κατασκευαστών τροφίμων, των λιανοπωλητών και των ρυθμιστικών φορέων, διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στην υιοθέτηση και την ενσωμάτωση αυτών των μεθόδων στις δραστηριότητές τους (Κρουντσέλης, 2020).

Τα ενδιαφερόμενα μέρη του κλάδου αναγνωρίζουν τη σημασία της συμμόρφωσης με τις κανονιστικές απαιτήσεις που διέπουν την αυθεντικότητα των τροφίμων. Πολλές χώρες έχουν θεσπίσει κανονισμούς και πρότυπα για την πρόληψη της απάτης στα τρόφιμα και τη διασφάλιση της ακεραιότητας των προϊόντων. Εφαρμόζοντας μεθόδους ανάλυσης γνησιότητας τροφίμων, οι εταιρείες μπορούν να αποδείξουν τη συμμόρφωση με αυτούς τους κανονισμούς και να μετριάσουν τον κίνδυνο κυρώσεων για μη συμμόρφωση, ανακλήσεις και ζημιά στη φήμη (Καρακατσάνη, 2018).

Η διασφάλιση της γνησιότητας των προϊόντων διατροφής είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της ποιότητας και της ασφάλειας των προϊόντων. Με την εφαρμογή ισχυρών μεθόδων ανάλυσης γνησιότητας, οι εταιρείες μπορούν να ανιχνεύσουν νοθεία, μόλυνση και εσφαλμένη επισήμανση νωρίς στη διαδικασία παραγωγής, αποτρέποντας τα προϊόντα κατώτερης ποιότητας από το να φτάσουν στους καταναλωτές. Αυτή η προληπτική προσέγγιση συμβάλλει στην προστασία της υγείας των καταναλωτών, στη δημιουργία φήμης της επωνυμίας και στην ελαχιστοποίηση του κινδύνου εμφάνισης τροφιμογενών ασθενειών (Παππά, 2021).

Η εμπιστοσύνη των καταναλωτών είναι πρωταρχικής σημασίας στη βιομηχανία τροφίμων, ιδιαίτερα σε μια εποχή αυξημένης διαφάνειας και ευαισθητοποίησης. Η εφαρμογή μεθόδων ανάλυσης γνησιότητας τροφίμων αποδεικνύει τη δέσμευση για διαφάνεια, ειλικρίνεια και προστασία των καταναλωτών, ενισχύοντας έτσι την εμπιστοσύνη και την εμπιστοσύνη στις μάρκες και τα προϊόντα. Παρέχοντας διασφάλιση αυθεντικότητας προϊόντων, οι εταιρείες μπορούν να διαφοροποιηθούν στην αγορά και να καλλιεργήσουν πιστές σχέσεις με τους πελάτες (Μερκούρη, 2024).

Η πολυπλοκότητα των παγκόσμιων αλυσίδων εφοδιασμού τροφίμων παρουσιάζει προκλήσεις όσον αφορά τη διασφάλιση της αυθεντικότητας και της ιχνηλασιμότητας των προϊόντων. Η εφαρμογή μεθόδων ανάλυσης γνησιότητας τροφίμων επιτρέπει στις εταιρείες να παρακολουθούν και να επαληθεύουν την ακεραιότητα των συστατικών, των πρώτων υλών και των τελικών προϊόντων σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού. Με τη δημιουργία ισχυρών συστημάτων ιχνηλασιμότητας και πρωτοκόλλων διαχείρισης κινδύνου, οι εταιρείες μπορούν να εντοπίσουν και να μετριάσουν τους κινδύνους αυθεντικότητας, όπως η υποκατάσταση συστατικών, η νοθεία και η παραχάραξη (Βλαχούλης, 2024).

Η επιτυχής εφαρμογή μεθόδων ανάλυσης γνησιότητας τροφίμων απαιτεί επενδύσεις σε τεχνολογία, υποδομές και τεχνογνωσία. Οι εταιρείες πρέπει να αξιοποιήσουν προηγμένες αναλυτικές τεχνικές, όπως φασματοσκοπία, χρωματογραφία, ανάλυση DNA και φασματομετρία μάζας, για να ανιχνεύσουν και να ποσοτικοποιήσουν με ακρίβεια τους δείκτες γνησιότητας. Επιπλέον, οι εταιρείες πρέπει να επενδύσουν σε προγράμματα κατάρτισης και ανάπτυξης για την οικοδόμηση εσωτερικής τεχνογνωσίας και ικανοτήτων στην ανάλυση της αυθεντικότητας των τροφίμων (Ρουμελιώτης, 2023).

Η συνεργασία και η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών του κλάδου είναι ουσιαστικής σημασίας για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των προκλήσεων αυθεντικότητας. Οι εταιρείες μπορούν να επωφεληθούν από τη συνεργασία με προμηθευτές, εργαστήρια, ακαδημαϊκούς και ρυθμιστικούς φορείς για την ανταλλαγή γνώσεων, βέλτιστων πρακτικών και δεδομένων σχετικά με τις μεθόδους ανάλυσης γνησιότητας. Με τη συνεργασία, οι ενδιαφερόμενοι του κλάδου μπορούν να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα των δοκιμών γνησιότητας, να προωθήσουν την έρευνα και την καινοτομία και να ενισχύσουν τη συνολική ακεραιότητα της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων (Κόκκας, 2023).

Το τοπίο της αυθεντικότητας των τροφίμων εξελίσσεται συνεχώς, με νέες προκλήσεις και απειλές να εμφανίζονται τακτικά. Οι εταιρείες πρέπει να υιοθετήσουν μια προληπτική προσέγγιση για τις δοκιμές γνησιότητας, αξιολογώντας και ενημερώνοντας συνεχώς τις μεθόδους ανάλυσής τους για την αντιμετώπιση των εξελισσόμενων κινδύνων και των τάσεων του κλάδου. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει επενδύσεις στην έρευνα και ανάπτυξη, την παρακολούθηση των αναδυόμενων τεχνολογιών και την παρακολούθηση των ρυθμιστικών αλλαγών και των προτύπων του κλάδου (Στέφου & Γεωργουλάκη, 2022).

Οι προοπτικές του κλάδου σχετικά με την εφαρμογή μεθόδων ανάλυσης γνησιότητας τροφίμων υπογραμμίζουν τη σημασία της προληπτικής διαχείρισης κινδύνου, της

κανονιστικής συμμόρφωσης και της εμπιστοσύνης των καταναλωτών. Αγκαλιάζοντας προηγμένες αναλυτικές τεχνικές, επενδύοντας σε τεχνολογία και τεχνογνωσία και ενισχύοντας τη συνεργασία σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού, οι εταιρείες μπορούν να ενισχύσουν την ακεραιότητα των προϊόντων, να προστατεύσουν τα συμφέροντα των καταναλωτών και να διατηρήσουν την ανταγωνιστικότητα της αγοράς σε ένα ολοένα πιο περίπλοκο και δυναμικό περιβάλλον τροφίμων (Δημητρακόπουλος, 2014).

Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, η διασφάλιση της αυθεντικότητας των προϊόντων διατροφής, ιδιαίτερα των γαλακτοκομικών, είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της εμπιστοσύνης των καταναλωτών, της ποιότητας των προϊόντων και της συμμόρφωσης με τους κανονισμούς. Η υιοθέτηση προηγμένων αναλυτικών τεχνικών, όπως η φασματοσκοπία, η χρωματογραφία, η ανάλυση DNA και η ανάλυση ισοτόπων, παίζει καθοριστικό ρόλο στην επαλήθευση της αυθεντικότητας των γαλακτοκομικών προϊόντων με την ανίχνευση νοθείας, εσφαλμένης επισήμανσης και μόλυνσης. Τα ενδιαφερόμενα μέρη του κλάδου δίνουν προτεραιότητα στη συμμόρφωση με τους κανονισμούς, την ποιότητα και την ασφάλεια των προϊόντων, την εμπιστοσύνη των καταναλωτών και τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η συνεχής έρευνα και η καινοτομία είναι απαραίτητες για την προώθηση των μεθόδων ανάλυσης γνησιότητας, την αντιμετώπιση αναδυόμενων κινδύνων και προκλήσεων και τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας των δοκιμών γνησιότητας. Τα αυθεντικά γαλακτοκομικά προϊόντα έχουν σημαντική σημασία για τους καταναλωτές και τη βιομηχανία, αντιπροσωπεύοντας εμπιστοσύνη, ποιότητα και θρεπτική αξία. Διατηρώντας την αυθεντικότητα, η γαλακτοβιομηχανία μπορεί να διατηρήσει τη φήμη της, να ενισχύσει την πίστη των καταναλωτών και να προωθήσει την ανάπτυξη. Συμπερασματικά, η σημασία των αυθεντικών γαλακτοκομικών προϊόντων εκτείνεται πέρα από την κατανάλωση, περιλαμβάνοντας εμπιστοσύνη, ακεραιότητα και υπερηφάνεια για μια κληρονομιά ποιότητας και δεξιολογίας.

[92%CE%91%CE%A3%CE%A3%CE%9F%CE%A3%20%CE%94%CE%97%CE%9C%CE%97%CE%A4%CE%A1%CE%99%CE%9F%CE%A3%202009.pdf](https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/handle/11400/5642)

Βάχου-Πειραντάκου, Μ. Γ., & Πουρνάρα, Μ. (2023). Ανάπτυξη προϊόντων ζαχαροπλαστικής υψηλής θρεπτικής αξίας εμπλουτισμένα με προβιοτικά ή/και πρεβιοτικά. <https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/handle/11400/5642>

Βλαχούλης, Κ. (2024). Εντοπισμός νοθείας στα αλκοολούχα ποτά με χρήση υγρής χρωματογραφίας-φασματομετρίας μάζας και μεταβολομικής. <https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/handle/11400/6063>

Γεωργίου, Σ. (2022). Εφαρμογές λογισμικού κινητών τηλεφώνων (smartphone) στην υπηρεσία διαγνωστικών αναλύσεων σε τρόφιμα. <https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/handle/11400/2105>

Δημακοπούλου, Α. (2022). Αναγνώριση καρκινικών κυττάρων σε ιστούς του παχέος εντέρου με φασματοσκοπία Raman.

Δημητρακόπουλος, Θ. (2014). *Ανάλυση και σύγκριση του ναυπηγικού τομέα διεθνώς. Σύγκριση των πλεονεκτημάτων-μειονεκτημάτων Κίνας-Κορέας. Προοπτικές εξέλιξης μεταξύ των δυο χωρών* (Doctoral dissertation, University of Piraeus (Greece)).

Δριγγόπουλος, Π. (2022). *Μελέτη μαλακών πολυκρυσταλλικών φερριτών με φασματοσκοπία Raman* (Doctoral dissertation, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης).

Δρίτσουλα, Α. (2018). Χαρακτηρισμός χρωστικών ελληνιστικών ειδωλίων από τη Βοιωτία με τις τεχνικές XRF και φασματοσκοπία Raman.

Ευσταθίου, Ν. (2024). Μελέτη περίπτωσης επισήμανσης υποκατάστατων ζωικών προϊόντων. <https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/handle/11400/6574>

Ζερβού, Σ. Κ. (2018). *Ανάπτυξη μεθόδων προσδιορισμού κυανοτοξινών και οργανικών ρύπων σε νερά με υγροχρωματογραφία- συζευγμένη φασματομετρία μαζών* (Doctoral dissertation, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ). Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Χημείας. Τομέας Ι. Εργαστήριο Αναλυτικής Χημείας).

Ζώης, Ξ. (2012). *Η εφαρμογή της Πράσινης Βίβλου για μια μελλοντική θαλάσσια πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης και η εξέλιξη της στη Μπλε Βίβλο. Καταγραφή και προσδιορισμός των μέτρων που θα εφαρμοστούν για την αειφόρο χρήση των θαλασσών και τη διατήρηση των θαλάσσιων οικοσυστημάτων* (Doctoral dissertation, University of Piraeus (Greece)).

Ιωαννίδου, Ν. Μ. (2024). Μη αξιοποιούμενα τρόφιμα: ο ρόλος των ΣΔΑΤ.

<https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/handle/11400/6393>

Καλλέ, Α. (2024). Αντιοξειδωτική δράση και συγκέντρωση πεπτιδίων υδατικών εκχυλισμάτων Φέτας, Μετσοβόνε και συναφών τυριών (Master's thesis).

<https://olympias.lib.uoi.gr/jspui/bitstream/123456789/36822/1/%CE%9C.%CE%95.%20%CE%9A.%CE%B1.%CE%BB.%CE%BB.%CE%AD.%20%CE%91.%CE%B8.%CE%B7.%CE%BD.%CE%AC.%20%282024%29.pdf>

Καμινάρη, Α. (2008). Μελέτη ανίχνευσης πολυμορφισμών σε μιτοχονδριακά tRNA γονίδια σε φυσιολογικό ανθρώπινο ελληνικό πληθυσμό (Bachelor's thesis).

Καρακατσάνη, Δ. (2018). Ανάλυση του κλάδου της οινοποιίας-Προοπτικές ανάπτυξης του ελληνικού κρασιού στην εγχώρια και διεθνή αγορά.

Καρακοντάκη, Δ. (2018). Ο ρόλος και η σημασία των δικλίδων ασφαλείας στον εσωτερικό και εξωτερικό έλεγχο (Master's thesis).

<https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/48577/17585.pdf?sequence=1>

Καρναχωρίτη, Μ. (2018). Μελέτη Περοβσκιτών Cs₂SnX₆ (X= I, Br, Cl) σε Υψηλές Υδροστατικές Πιέσεις με Φασματοσκοπία Raman.

<https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/46797/Karnachoriti%20Maria.pdf?sequence=1>

Καρούντζος, Γ. (2003). Η φασματοσκοπία Raman ως εργαλείο ποιοτικής μελέτης των ενώσεων του Βολφραμίου σε τήγματα χλωριούχων αλκαλίων και ποσοτικής ανάλυσης του μετασχηματισμού φάσεων της πολυκρυσταλλικής ζirkονίας (Doctoral dissertation, Πανεπιστήμιο Πατρών. Σχολή Πολυτεχνική. Τμήμα Χημικών Μηχανικών).

Καρύδας, Δ. (2023). Η χρήση του Digital Marketing και των Social Media ως εργαλεία για την ανάπτυξη των πωλήσεων οινικών προϊόντων. Μελέτη περίπτωσης ελληνικών επιχειρήσεων. <https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/handle/11400/5454>

Κατσικαδάκου, Χ., & Γεωργίου, Γ. (2023). Κατανόηση και εφαρμογή της τεχνολογίας Blockchain και η ανάδειξη της χρησιμότητάς της στη διαχείριση ιατρικών φακέλων ασθενών: Προκλήσεις και ευκαιρίες. <https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/handle/11400/5451>

Κατεβάτη, Ε. (2018). Δράσεις & Πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την προστασία των καταναλωτών στον τομέα των τροφίμων (Doctoral dissertation, University of Piraeus (Greece)).

Κεσίδου, Μ. (2016). Μελέτη των δυνατοτήτων αξιοποίησης των Ευρωπαϊκών

Προγραμμάτων & Πρωτοβουλιών που επιδρούν στη διατροφή του ανθρώπου.
<https://amitos.library.uop.gr/xmlui/handle/123456789/2999>

Κόκκαλη, Μ. (2019). *Ανάπτυξη καινοτόμων φαρμάκων στην ελληνική φαρμακοβιομηχανία* (Master's thesis).
<https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/52406/20404.pdf?sequence=1>

Κόκκας, Π. (2023). Pharma 4.0: Η εφαρμογή των τεχνολογιών του Industry 4.0 στον κλάδο της φαρμακοβιομηχανίας και μελλοντικές προοπτικές.
<https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/handle/11400/4782>

Κορώνας, Ε. (2010). *Μελέτη πολυμορφισμών μιτοχονδριακού DNA στο φυσιολογικό πληθυσμό* (Master's thesis).

Κοτσανόπουλος, Κ. Β. (2023). Συγκριτική και κριτική ανάλυση στοιχείων επιθεωρήσεων ασφάλειας και ποιότητας τροφίμων πραγματοποιούμενων σε βιομηχανίες τροφίμων της Ελλάδας, του Ηνωμένου Βασιλείου και των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής.
<https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/82576/27955.pdf?sequence=4>

Κρουντσέλης, Π. (2020). Καινοτομίες και αποδοτικότητα στις αλυσίδες προσφοράς τροφίμων. <https://kypseli.ouc.ac.cy/handle/11128/4455>

Κωτσάκη, Π. (2018). Μέθοδοι ανίχνευσης αντιβιοτικών ουσιών σε προϊόντα ζωικής προέλευσης. <http://dspace.aua.gr/xmlui/handle/10329/6714>

Λαγουδάκη, Ε. (2014). *Η νέα θαλάσσια πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης: η νέα πράσινη βίβλος για τους ωκεανούς και τις θαλάσσες, η άρση της απομόνωσης των νησιών, η περίπτωση της Ελλάδας* (Doctoral dissertation, University of Piraeus (Greece)).

Λεοντίδου, Ε. (2020). Εφαρμογές τεχνολογιών υψηλής απόδοσης και ανάλυσης (Omics) στην αγροδιατροφή. <https://hellanicus.lib.aegean.gr/handle/11610/21712>

Μασούρας, Δ. (2022). Μέθοδοι και συστήματα ιχνηλασιμότητας για την αντιμετώπιση της παραποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας των οινοπνευματωδών ποτών.

Μερκούρη, Φ. (2024). *Οι ομικές τεχνολογίες στη διασφάλιση της ποιότητας και της αυθεντικότητας τροφίμων* (Master's thesis).
<https://olympias.lib.uoi.gr/jspui/bitstream/123456789/36817/1/%CE%9C.%CE%95.%20%CE%9C%CE%B5%CF%81%CE%BA%CE%BF%CF%8D%CF%81%CE%B7%20%CE%A6%CE%B9%CE%BB%CE%BF%CE%B8%CE%AD%CE%B7%20%282024%29.pdf>

Μιχάλα, Ε. Ρ. Γ. (2023). *Μελέτη της μονοαζονικής παραμόρφωσης ιών άνθρακα με*

- φασματοσκοπία Raman (Doctoral dissertation, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης).
- Μουράτης, Ν. (2013). Στρατηγικό σχέδιο για την διεθνοποίηση των δραστηριοτήτων της «ΚΡΙ ΚΡΙ ΑΕ» σε Αγγλία και Γερμανία. Μέρος Α': αξιολόγηση των στοχευμένων αγορών Αγγλίας και Γερμανίας.
- Μπαλαμάτση, Μ. (2021). Εφαρμογή της έξυπνης συσκευασίας στα τρόφιμα: Σύγχρονες πρακτικές και προοπτικές. <https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/handle/11400/1012>
- Μπαλαμώτη, Ν. (2018). Ανεξάρτητες αρχές μια διασυγκριτική ανάλυση στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης. <https://hellanicus.lib.aegean.gr/handle/11610/20931>
- Μυλωνά, Α. (2023). Το αρωματικό προφίλ των τυριών. <https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/handle/11400/3763>
- Μώρος, Σ. (2023). Οι εφαρμογές της αλυσίδας κατανεμημένης εγγραφής στο κλάδο της υγείας. <https://amitos.library.uop.gr/xmlui/handle/123456789/7573>
- Νίκας, Β. (2014). Σύγκριτική ανάλυση/αξιολόγηση των δεικτών επίδοσης δόσης της Ελλάδας στον τομέα των Logistics και προτάσεις για την βελτίωση της Ελλάδα επί αυτών (Doctoral dissertation, University of Piraeus (Greece)).
- Παναγιωτίδου, Ε. Π. (2023). Επίδραση του sulfamethoxazole στην ανάπτυξη μικροβιακής αντοχής σε αντιβιοτικά μετά από επαναλαμβανόμενες εφαρμογές σε μικρόκοσμους εδάφους (Bachelor's thesis).
- Παππά, Ι. (2021). Μελέτη και ανάπτυξη ηλεκτρονικών συστημάτων ιχνηλασιμότητας για την εγγύηση της αυθεντικότητας ελληνικών γαλακτοκομικών προϊόντων. <http://dspace.aua.gr/xmlui/handle/10329/7234>
- Παπαγεωργίου, Ε. (2022). Προσδιορισμός της συνολικής πολυφαινολικής περιεκτικότητας και αντιοξειδωτικής ικανότητας εκχυλισμάτων σάρκας χαρουπιού με τη χρήση φασματοσκοπίας FTIR και χημειομετρίας (Master's thesis, Πανεπιστήμιο Κύπρου, Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών/University of Cyprus, Faculty of Pure and Applied Sciences).
- Παπαδέδες, Ε. (2017). Επίδραση της θερμικής επεξεργασίας του πρόβειου γάλακτος επί των ιδιοτήτων μαλακού τυριού με μειωμένη λιποπεριεκτικότητα. <http://dspace.aua.gr/xmlui/handle/10329/6608>
- Παπαδόπουλος, Ν. Κ. (2015). Μελέτη με φασματοσκοπία Raman φουλεριδίων αλκαλίων (Doctoral dissertation, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης).

- Παπαϊωαννίδης, Δ. (2010). *Μελέτη νανοσωματιδίων χρυσού με φασματοσκοπία Raman και εφαρμογές* (Doctoral dissertation, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης).
- Παπακωνσταντίνου, Α. (2022). Εναλλακτικές Μορφές Τουρισμού, Αγροτουρισμός και Τοπική Οικονομική Ανάπτυξη. Η Περίπτωση της Περιφέρειας Θεσσαλίας. <http://repository.library.teiwest.gr/xmlui/handle/123456789/9987>
- Ποουρκού, Λ. Π. (2023). Μελέτη των τυριών ΠΟΠ της Ελλάδας υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές. <http://dspace.aua.gr/xmlui/handle/10329/7825>
- Ράζου, Ι. (2020). Διερεύνηση Σύγχρονων Τάσεων Πιστοποίησης στη Βιομηχανία Τροφίμων-Μελέτη Περίπτωσης: Coca-Cola 3E. Ράζου, Ι. (2020). Διερεύνηση Σύγχρονων Τάσεων Πιστοποίησης στη Βιομηχανία Τροφίμων-Μελέτη Περίπτωσης: Coca-Cola 3E.
- Ράπτη, Π. (2023). Η επίδραση της ωρίμανσης στη σύσταση των σκληρών τυριών. <https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/handle/11400/5245>
- ΡΗΓΑΣ, Χ. Α. (2021). Ο κλάδος των τροφίμων στην Ελληνική οικονομία. <http://repository.library.teiwest.gr/xmlui/handle/123456789/9754>
- Ρουμελιώτης, Ε. (2023). Ανασκόπηση στις αναλυτικές μεθόδους προσδιορισμού των υδατοδιαλυτών και λιποδιαλυτών βιταμινών στα τρόφιμα.
- Σαλγκάμης, Β. (2010). *Μελέτη πολυμορφισμών μιτοχονδριακού DNA στο φυσιολογικό πληθυσμό* (Master's thesis).
- Σαντορινάκη, Η. (2023). Μεταβολικά σύνδρομα και λειτουργικά τρόφιμα: προσδιορισμός δεικτών φλεγμονής (ισοπροστανίων) με χρήση χρωματογραφικών τεχνικών σε δείγματα κλινικών μελετών. <https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/handle/11400/3760>
- Στέφου, Α., & Γεωργουλάκη, Α. (2022). Μελέτη της χρήσης φασματοσκοπίας υπερύθρου μετασχηματισμού Fourier (FT-IR) στο διαχωρισμό οίνων από περισσότερες από μια ποικιλίες. <https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/handle/11400/2107>
- Σφετσιώρης, Ε. (2020). Επιχειρηματικό σχέδιο για μονάδα παραγωγής βουτύρου στην Κέρκυρα. <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/51524/%CE%95%CF%85%CF%83%CF%84%CF%81%CE%AC%CF%84%CE%B9%CE%BF%CF%82%20%CE%A3%>
- Τάσιος, Γ. (2023). Νάνο δομημένες πολυμερικές και μεταλλικές επιφάνειες για αύξηση ευαισθησίας ανίχνευσης οργανικών ουσιών με φασματοσκοπία Raman.

- Τσοτάκης, Α. (2018). *Σύγχρονες τεχνολογίες στην εφοδιαστική αλυσίδα τροφίμων* (Doctoral dissertation, University of Piraeus (Greece)).
- Τουμαράς, Α. Χ. (2016). *Μελέτη μαγνητικών νανοσωματιδίων οξειδίων του σιδήρου με φασματοσκοπία Raman* (Doctoral dissertation, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης).

Ξενογλώσση

- Abbas, O., Zadavec, M., Baeten, V., Mikuš, T., Lešić, T., Vulić, A., ... & Pleadin, J. (2018). Analytical methods used for the authentication of food of animal origin. *Food chemistry*, 246, 6-17.
- Abid, H. M. R., Khan, N., Hussain, A., Anis, Z. B., Nadeem, M., & Khalid, N. (2024). Quantitative and qualitative approach for accessing and predicting food safety using various web-based tools. *Food Control*, 110471.
- Alcolea-Medina, A., Fernandez, M. C., Montiel, N., García, M. L., Sevilla, C. D., North, N., ... & Wilks, M. (2019). An improved simple method for the identification of Mycobacteria by MALDI-TOF MS (Matrix-Assisted Laser Desorption-Ionization mass spectrometry). *Scientific reports*, 9(1), 20216.
- Ali, M. M., & Hashim, N. (2022). Non-destructive methods for detection of food quality. In *Future Foods* (pp. 645-667). Academic Press.
- Alrobaish, W. S., Vlerick, P., Luning, P. A., & Jacxsens, L. (2021). Food safety governance in Saudi Arabia: Challenges in control of imported food. *Journal of Food Science*, 86(1), 16-30.
- Arvanitoyannis, I. S., & Tzouros, N. E. (2005). Implementation of quality control methods in conjunction with chemometrics toward authentication of dairy products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(4), 231-249.
- Baeten, V., & Dardenne, P. (2002). Spectroscopy: Developments in instrumentation and analysis. *Grasas y aceites*, 53(1), 45-63.
<https://grasasyaceites.revistas.csic.es/index.php/grasasyaceites/article/view/289>
- Bagheripoor-Fallah, N., Mortazavian, A., Hosseini, H., Khoshgozaran-Abras, S., & Rad, A.

- H. (2015). Comparison of molecular techniques with other methods for identification and enumeration of probiotics in fermented milk products. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(3), 396-413.
- Baptista, M., Cunha, J. T., & Domingues, L. (2021). DNA-based approaches for dairy products authentication: A review and perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 386-397.
- Barcaccia, G., Lucchin, M., & Cassandro, M. (2015). DNA barcoding as a molecular tool to track down mislabeling and food piracy. *Diversity*, 8(1), 2. <https://www.mdpi.com/1424-2818/8/1/2>
- Benagli, C., Rossi, V., Dolina, M., Tonolla, M., & Petrini, O. (2011). Matrix-assisted laser desorption ionization-time of flight mass spectrometry for the identification of clinically relevant bacteria. *PloS one*, 6(1), e16424.
- Beske, P., Land, A., & Seuring, S. (2014). Sustainable supply chain management practices and dynamic capabilities in the food industry: A critical analysis of the literature. *International journal of production economics*, 152, 131-143.
- Bessède, E., Angla-Gre, M., Delagarde, Y., Hieng, S. S., Ménard, A., & Mégraud, F. (2011). Matrix-assisted laser-desorption/ionization biotyper: experience in the routine of a University hospital. *Clinical microbiology and infection*, 17(4), 533-538.
- Bhala, R., Gantz, D., Keating, S. B., & Simoes, B. G. (2017). World Trade Organization Case Review 2016. *Ariz. J. Int'l & Comp. L.*, 34, 281.
- Biswas, A., & Chaudhari, S. R. (2024). Exploring the role of NIR spectroscopy in quantifying and verifying honey authenticity: A review. *Food Chemistry*, 138712.
- Bizzini, A., & Greub, G. (2010). Matrix-assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry, a revolution in clinical microbial identification. *Clinical Microbiology and infection*, 16(11), 1614-1619.
- Briscoe, C. J., Stiles, M. R., & Hage, D. S. (2007). System suitability in bioanalytical LC/MS/MS. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 44(2), 484-491.
- Calderaro, A., Arcangeletti, M. C., Rodighiero, I., Buttrini, M., Gorrini, C., Motta, F., ... & De Conto, F. (2014). Matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight (MALDI-TOF) mass spectrometry applied to virus identification. *Scientific reports*, 4(1), 6803.

- Câmara, J. S., Martins, C., Pereira, J. A., Perestrelo, R., & Rocha, S. M. (2022). Chromatographic-based platforms as new avenues for scientific progress and sustainability. *Molecules*, 27(16), 5267.
- Câmara, J. S., Perestrelo, R., Berenguer, C. V., Andrade, C. F., Gomes, T. M., Olayanju, B., ... & Pereira, J. A. (2022). Green extraction techniques as advanced sample preparation approaches in biological, food, and environmental matrices: a review. *Molecules*, 27(9), 2953.
- Carroll, G. R., & Wheaton, D. R. (2009). The organizational construction of authenticity: An examination of contemporary food and dining in the US. *Research in organizational behavior*, 29, 255-282.
- Chapman, J., Power, A., Netzel, M. E., Sultanbawa, Y., Smyth, H. E., Truong, V. K., & Cozzolino, D. (2022). Challenges and opportunities of the fourth revolution: a brief insight into the future of food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(10), 2845-2853.
- Charlebois, S., Sterling, B., Haratifar, S., & Naing, S. K. (2014). Comparison of global food traceability regulations and requirements. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 13(5), 1104-1123.
- Chaudhary, V., Kajla, P., Dewan, A., Pandiselvam, R., Socol, C. T., & Maerescu, C. M. (2022). Spectroscopic techniques for authentication of animal origin foods. *Frontiers in Nutrition*, 9, 979205.
- Cheng, J. H., Dai, Q., Sun, D. W., Zeng, X. A., Liu, D., & Pu, H. B. (2013). Applications of non-destructive spectroscopic techniques for fish quality and safety evaluation and inspection. *Trends in food science & technology*, 34(1), 18-31.
- Cigić, I. K., & Prosen, H. (2009). An overview of conventional and emerging analytical methods for the determination of mycotoxins. *International journal of molecular sciences*, 10(1), 62-115.
- Clark, A. E., Kaleta, E. J., Arora, A., & Wolk, D. M. (2013). Matrix-assisted laser desorption ionization–time of flight mass spectrometry: a fundamental shift in the routine practice of clinical microbiology. *Clinical microbiology reviews*, 26(3), 547-603.
- Croft, W. J. (2006). *Under the microscope: a brief history of microscopy* (Vol. 5). World Scientific.
- <https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=caTUCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=The+invention+of+the+microscope+in+the+17th+century+revolutionized+food+analysis,+allowing+food+structures+to+be+observed+at+the+microscopic+level.+The+microscopic+analysis>

[&ots=qU8n3tPIM&sig=D65QEOiEBW1mqtpRW0o_emZjbvg&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false](#)

da Costa, M. P., da Silva Frasao, B., da Costa Lima, B. R. C., Rodrigues, B. L., & Junior, C. C. (2016). Simultaneous analysis of carbohydrates and organic acids by HPLC-DAD-RIfor monitoring goat's milk yogurts fermentation. *Talanta*, 152, 162-170.

De La Fuente, M. A., & Juárez, M. (2005). Authenticity assessment of dairy products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(7-8), 563-585.

Da Cruz, A. G., Walter, E. H. M., Cadena, R. S., Faria, J. A. F., Bolini, H. M. A., & Fileti, A. F. (2009). Monitoring the authenticity of lowfat yogurts by an artificial neural network. *Journal of Dairy Science*, 92(10), 4797-4804.

De La Fuente, M. A., & Juárez, M. (2005). Authenticity assessment of dairy products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(7-8), 563-585.

da Paixao Teixeira, J. L., dos Santos Carames, E. T., Baptista, D. P., Gigante, M. L., & Pallone, J. A. L. (2021). Rapid adulteration detection of yogurt and cheese made from goat milk by vibrational spectroscopy and chemometric tools. *Journal of Food Composition and Analysis*, 96, 103712.

DeSoucey, M. (2010). Gastronationalism: Food traditions and authenticity politics in the European Union. *American Sociological Review*, 75(3), 432-455.

Farah, J. S., Silva, M. C., Cruz, A. G., & Calado, V. (2018). Differential calorimetry scanning: current background and application in authenticity of dairy products. *Current Opinion in Food Science*, 22, 88-94.

Fitzgerald, M., Heinrich, M., & Booker, A. (2020). Medicinal plant analysis: A historical and regional discussion of emergent complex techniques. *Frontiers in pharmacology*, 10, 423244.

Franca, A. S., & Nollet, L. M. (Eds.). (2017). *Spectroscopic methods in food analysis*. CRC press.

Gallo, M., & Ferranti, P. (2016). The evolution of analytical chemistry methods in foodomics. *Journal of Chromatography A*, 1428, 3-15.

Galvez, J. F., Mejuto, J. C., & Simal-Gandara, J. (2018). Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 107, 222-232.

- Genis, D. O., Bilge, G., Sezer, B., Durna, S., & Boyaci, I. H. (2019). Identification of cow, buffalo, goat and ewe milk species in fermented dairy products using synchronous fluorescence spectroscopy. *Food chemistry*, 284, 60-66.
- Giadinis, N. D., Loukopoulos, P., Petridou, E. J., Filioussis, G., Koutsoumpas, A., Pourliotis, N. K., & Karatzias, H. (2011). Cases of abortions in ruminants associated with selenium deficiency. In *2nd Greek veterinary conference on farm animal medicine, hygiene and safety of food of animal origin, and public health*.
- Gallagher, J., & McKevitt, A. (2019). Laws and regulations of traditional foods: past, present and future. *Traditional Foods: History, Preparation, Processing and Safety*, 239-271.
- Galimberti, A., De Mattia, F., Losa, A., Bruni, I., Federici, S., Casiraghi, M., ... & Labra, M. (2013). DNA barcoding as a new tool for food traceability. *Food research international*, 50(1), 55-63.
- Gimonkar, S., Van Fleet, E. E., & Boys, K. A. (2021). Dairy product fraud. In *Food fraud* (pp. 249-279). Academic Press.
- Hai, X., Liu, G. Q., Luo, J. X., Guo, Y. S., Qian, J. P., Ya, M., & Guo, L. (2020). Triplex real-time PCR assay for the authentication of camel-derived dairy and meat products. *Journal of dairy science*, 103(11), 9841-9850.
- Haynes, E., Jimenez, E., Pardo, M. A., & Helyar, S. J. (2019). The future of NGS (Next Generation Sequencing) analysis in testing food authenticity. *Food control*, 101, 134-143.
- Hoekman, B. M., & Mavroidis, P. C. (2015). *World Trade Organization (WTO): law, economics, and politics*. Routledge.
<https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781315742212/world-trade-organization-wto-bernard-hoekman-petros-mavroidis>
- Hofherr, J., Martinsohn, J., Cawthorn, D., Rasco, B., & Naaum, A. M. (2016). Regulatory frameworks for seafood authenticity and traceability. In *Seafood authenticity and traceability* (pp. 47-82). Academic Press.
- Hrabák, J., Chudáčková, E., & Walková, R. (2013). Matrix-assisted laser desorption ionization–time of flight (MALDI-TOF) mass spectrometry for detection of antibiotic resistance mechanisms: from research to routine diagnosis. *Clinical microbiology reviews*, 26(1), 103-114.
- Ibañez, E., & Cifuentes, A. (2001). New analytical techniques in food science. *Critical*

- reviews in food science and nutrition*, 41(6), 413-450.
- Ibañez, Elena, and Alejandro Cifuentes. "New analytical techniques in food science." *Critical reviews in food science and nutrition* 41.6 (2001): 413-450.
- Ibañez, E., & Cifuentes, A. (2001). New analytical techniques in food science. *Critical reviews in food science and nutrition*, 41(6), 413-450.
- Jagadeesan, B., Gerner-Smidt, P., Allard, M. W., Leuillet, S., Winkler, A., Xiao, Y., ... & Grant, K. (2019). The use of next generation sequencing for improving food safety: Translation into practice. *Food microbiology*, 79, 96-115.
- James, C. S. (Ed.). (2013). *Analytical chemistry of foods*. Springer Science & Business Media.
https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=y2vTBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=Titrimetric+techniques+involve+measuring+the+volume+of+a+reagent+solution+required+to+react+with+a+specific+analyte+in+a+food+sample.+These+techniques+are+based+on+the+principles+of+volumetric+analysis+and+titration,+where+a+known+concn&ots=vPf1tHUrAw&sig=CgEIK0zlUg_w6Pg8Mdkj_jtlMkw&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Janiszewski, J. S., Rogers, K. J., Whalen, K. M., Cole, M. J., Liston, T. E., Duchoslav, E., & Fouda, H. G. (2001). A high-capacity LC/MS system for the bioanalysis of samples generated from plate-based metabolic screening. *Analytical chemistry*, 73(7), 1495-1501.
- Jemal, M. (2000). High-throughput quantitative bioanalysis by LC/MS/MS. *Biomedical Chromatography*, 14(6), 422-429.
- Jia, W., Georgouli, K., Martinez-Del Rincon, J., & Koidis, A. (2024). Challenges in the Use of AI-Driven Non-Destructive Spectroscopic Tools for Rapid Food Analysis. *Foods*, 13(6), 846.
- Justé, A., Thomma, B. P. H. J., & Lievens, B. (2008). Recent advances in molecular techniques to study microbial communities in food-associated matrices and processes. *Food microbiology*, 25(6), 745-761.
- Qin, C., Liu, L., Wang, Y., Leng, T., Zhu, M., Gan, B., ... & Chen, Y. (2022). Advancement of omics techniques for chemical profile analysis and authentication of milk. *Trends in Food Science & Technology*, 127, 114-128.
- Kaloo, I., Naqash, S., Majid, D., Makroo, H. A., & Dar, B. N. (2024). Traditional analytical methods in food industry: Current challenges and issues in food analysis. *Green Chemistry in Food Analysis*, 1-22.

- Kamiloglu, S., Ozdal, T., & Capanoglu, E. (2021). Regulatory aspects. In *Food Authentication and Traceability* (pp. 303-330). Academic Press.
- Kharbach, M., Alaoui Mansouri, M., Taabouz, M., & Yu, H. (2023). Current application of advancing spectroscopy techniques in food analysis: data handling with chemometric approaches. *Foods*, 12(14), 2753.
- Khan, I. C. (2015). *Spreads microbiology in association with product matrix, structure and chemistry* (Doctoral dissertation, University of Nottingham).
- King, T., Cole, M., Farber, J. M., Eisenbrand, G., Zabaras, D., Fox, E. M., & Hill, J. P. (2017). Food safety for food security: Relationship between global megatrends and developments in food safety. *Trends in Food Science & Technology*, 68, 160-175.
- Kuehnbaum, N. L., & Britz-McKibbin, P. (2013). New advances in separation science for metabolomics: resolving chemical diversity in a post-genomic era. *Chemical reviews*, 113(4), 2437-2468.
- Lacroix, C., Gicquel, A., Sendid, B., Meyer, J., Accoceberry, I., François, N., ... & Bognoux, M. E. (2014). Evaluation of two matrix-assisted laser desorption ionization-time of flight mass spectrometry (MALDI-TOF MS) systems for the identification of *Candida* species. *Clinical Microbiology and Infection*, 20(2), 153-158.
- Lahou, E., Jacxsens, L., Van Landeghem, F., & Uyttendaele, M. (2014). Microbiological sampling plan based on risk classification to verify supplier selection and production of served meals in food service operation. *Food microbiology*, 41, 60-75.
- Laiko, V. V., Baldwin, M. A., & Burlingame, A. L. (2000). Atmospheric pressure matrix-assisted laser desorption/ionization mass spectrometry. *Analytical chemistry*, 72(4), 652-657.
- Lama-Muñoz, A., & Contreras, M. D. M. (2022). Extraction systems and analytical techniques for food phenolic compounds: A review. *Foods*, 11(22), 3671.
- Lamine, C., Renting, H., Rossi, A., Wiskerke, J. S. C., & Brunori, G. (2012). Agri-food systems and territorial development: innovations, new dynamics and changing governance mechanisms. *Farming systems research into the 21st century: The new dynamic*, 229-256.
- Lee, M. S., & Kerns, E. H. (1999). LC/MS applications in drug development. *Mass spectrometry reviews*, 18(3-4), 187-279.

- Lu, X., Zhao, X., Bai, C., Zhao, C., Lu, G., & Xu, G. (2008). LC–MS-based metabonomics analysis. *Journal of Chromatography B*, 866(1-2), 64-76.
- Lu, Y., Ishikawa, H., Kwon, Y., Hu, F., Miyakawa, T., & Tanokura, M. (2018). Real-time monitoring of chemical changes in three kinds of fermented milk products during fermentation using quantitative difference nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66(6), 1479-1487.
- Luykx, D. M., & Van Ruth, S. M. (2008). An overview of analytical methods for determining the geographical origin of food products. *Food chemistry*, 107(2), 897-911.
- Luykx, D. M., Peters, R. J., van Ruth, S. M., & Bouwmeester, H. (2008). A review of analytical methods for the identification and characterization of nano delivery systems in food. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(18), 8231-8247.
<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf8013926>
- Mafra, I., Honrado, M., & Amaral, J. S. (2022). Animal species authentication in dairy products. *Foods*, 11(8), 1124.
- Marchetti, P., Mottola, A., Tantillo, G., Castrica, M., & Di Pinto, A. (2021). Detection of undeclared presence of bovine milk in buffalo yogurt. *Journal of Dairy Science*, 104(4), 4056-4061.
- Marsden, T. (2018). Theorising food quality: some key issues in understanding its competitive production and regulation. In *Qualities of food* (pp. 129-155). Manchester University Press.
- Martínez-Villaluenga, C., Cardelle-Cobas, A., Corzo, N., & Olano, A. (2008). Study of galactooligosaccharide composition in commercial fermented milks. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(7), 540-544.
- Marvin, L. F., Roberts, M. A., & Fay, L. B. (2003). Matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry in clinical chemistry. *Clinica chimica acta*, 337(1-2), 11-21
- Mania, I., Delgado, A. M., Barone, C., & Parisi, S. (2018). Traceability in the dairy industry in Europe. *Traceability in the Dairy Industry in Europe*.
- McMaster, M. C. (2005). *LC/MS: a practical user's guide*. John Wiley & Sons.
https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=tImK_UY9vKQC&oi=fnd&pg=PR7&dq=LC-MS+systems&ots=vWbQq-npQt&sig=z-egssMNbSsqFYT_ZqWaBVDDYWg&redir_esc=y#v=onepage&q=LC-MS%20systems&f=false

- Misra, N. N., Koubaa, M., Roohinejad, S., Juliano, P., Alpas, H., Inácio, R. S., ... & Barba, F. J. (2017). Landmarks in the historical development of twenty first century food processing technologies. *Food Research International*, 97, 318-339.
- Molkentin, J. (2013). Applicability of organic milk indicators to the authentication of processed products. *Food chemistry*, 137(1-4), 25- 30.
- Montgomery, H., Haughey, S. A., & Elliott, C. T. (2020). Recent food safety and fraud issues within the dairy supply chain (2015–2019). *Global Food Security*, 26, 100447.
- Müller-Maatsch, J., & van Ruth, S. M. (2021). Handheld devices for food authentication and their applications: A review. *Foods*, 10(12), 2901.
- Muncan, J., Tei, K., & Tsenkova, R. (2020). Real-time monitoring of yogurt fermentation process by aquaphotomics near-infrared spectroscopy. *Sensors*, 21(1), 177.
- Muñoz-Olivas, R. (2004). Screening analysis: an overview of methods applied to environmental, clinical and food analyses. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 23(3), 203-216.
- Murdoch, J., Marsden, T., & Banks, J. (2017). Quality, nature, and embeddedness: Some theoretical considerations in the context of the food sector. In *The Rural* (pp. 107-126). Routledge.
- Nomura, F. (2015). Proteome-based bacterial identification using matrix-assisted laser desorption ionization–time of flight mass spectrometry (MALDI-TOF MS): A revolutionary shift in clinical diagnostic microbiology. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Proteins and Proteomics*, 1854(6), 528-537.
- Okonko, I. O., Ogunnusi, T. A., Ogunjobi, A. A., Adedeji, A. O., Adejoye, O. D., Babalola, E. T., & Ogun, A. A. (2008). Microbial studies on frozen shrimps processed in Ibadan and Lagos, Nigeria. *Scientific research and essay*, 3(11), 537-546.
- Peris, M., & Escuder-Gilabert, L. (2009). A 21st century technique for food control: Electronic noses. *Analytica chimica acta*, 638(1), 1-15.
- Pizzano, R., Nicolai, M. A., Manzo, C., & Addeo, F. (2011). Authentication of dairy products by immunochemical methods: a review. *Dairy science & technology*, 91, 77-95.
- Prache, S., Lebret, B., Baéza, E., Martin, B., Gautron, J., Feidt, C., ... & Sans, P. (2022). Quality and authentication of organic animal products in Europe. *Animal*, 16, 100405.

- Rahman, M. M., & Ahmad, Z. (2024). Lifelong Learning and Technologic Advancement in the Halal Industry: Navigating the Digital Age Embracing Technological Advancements for Lifelong Learning. In *Embracing Technological Advancements for Lifelong Learning* (pp. 186-216). IGI Global.
- Rasmussen, R. S., & Morrissey, M. T. (2008). DNA-based methods for the identification of commercial fish and seafood species. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 7(3), 280-295.
- Robards, K., & Ryan, D. (2021). *Principles and practice of modern chromatographic methods*. Academic Press.
- Romero-González, R., & Frenich, A. G. (Eds.). (2017). *Applications in High Resolution Mass Spectrometry: Food Safety and Pesticide Residue Analysis*. Elsevier.
- Ropodi, A. I., Panagou, E. Z., & Nychas, G. J. (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 & Technology*, 50, 11-25.
- Rudge, S. R., & Monnig, C. A. (2000). Electrophoresis techniques. *Separation and Purification Methods*, 29(1), 129-148
- Seng, P., Drancourt, M., Gouriet, F., La Scola, B., Fournier, P. E., Rolain, J. M., & Raoult, D. (2009). Ongoing revolution in bacteriology: routine identification of bacteria by matrix-assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry. *Clinical infectious diseases*, 49(4), 543-551.
- Shawky, E., Nahar, L., Nassief, S. M., Sarker, S. D., & Ibrahim, R. S. (2024). Dairy products authentication with biomarkers: A comprehensive critical review. *Trends in Food Science & Technology*, 104445.
- Surugau, N., & Urban, P. L. (2009). Electrophoretic methods for separation of nanoparticles. *Journal of separation science*, 32(11), 1889-1906.
- Tietje, C. (2010). International Trade Centre. In *Handbook of Transnational Economic Governance Regimes* (pp. 213-226). Brill Nijhoff.
- Tsuchida, S., Umemura, H., & Nakayama, T. (2020). Current status of matrix-assisted laser desorption/ionization–time-of-flight mass spectrometry (MALDI-TOF MS) in clinical diagnostic microbiology. *Molecules*, 25(20), 4775.

- National Research Council, Division on Earth, Life Studies, & Committee on Twenty-First Century Systems Agriculture. (2010). *Toward sustainable agricultural systems in the 21st century*. National Academies Press.
- UmaMaheswari, T., Anbukkarasi, K., Hemalatha, T., & Singh, R. (2021). GTG5 fingerprinting of native *Streptococcus thermophilus* strains and its authentication by principal component analysis—A road to value added commercial yoghurt starter cultures. *International Dairy Journal*, 122, 105161.
- Wang, K., Sun, D. W., & Pu, H. (2017). Emerging non-destructive terahertz spectroscopic imaging technique: Principle and applications in the agri-food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 67, 93-105.
- Wang, K., Li, Z., Li, J., & Lin, H. (2021). Raman spectroscopic techniques for nondestructive analysis of agri-foods: A state-of-the-art review. *Trends in Food Science & Technology*, 118, 490-504.
- Ward, R. E., & Legako, J. F. (2017). Traditional methods for mineral analysis. *Food analysis*, 371-386.
- Wilkinson, C., Dijksterhuis, G. B., & Minekus, M. (2000). From food structure to texture. *Trends in Food Science & Technology*, 11(12), 442-450. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224401000334>
- Xiong, Q. (2019). *Magnetic nanochain enabled microarray and microfluidic bioassays* (Doctoral dissertation).
- Zachmann, K., & Østby, P. (2011). Food, technology, and trust: an introduction. *History and Technology*, 27(1), 1-10.
- Zareef, M., Arslan, M., Hassan, M. M., Ahmad, W., Ali, S., Li, H., ... & Chen, Q. (2021). Recent advances in assessing qualitative and quantitative aspects of cereals using nondestructive techniques: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 815-828.