



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“Έντοπισμός νοθείας σε αρωματικά φυτά και μπαχαρικά με χρήση σύγχρονων αναλυτικών τεχνικών”



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ:

ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΑΛΕΞΙΑ-ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

ΑΜ: 20684014

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΜΠΡΑΤΑΚΟΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF FOOD SCIENCES
DEPARTMENT OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY

DIPLOMA THESIS

“Detection of adulteration in aromatic herbs and spices using high throughput modern analytical techniques”



NAME OF STUDENT:

GEORGAKOPOULOU ALEXIA-AIKATERINI

RN: 20684014

NAME OF SUPERVISOR:

MPRATAKOS SOTIRIOS

ATHENS, SEPTEMBER 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

“Έντοπισμός νοθείας σε αρωματικά φυτά και μπαχαρικά με χρήση σύγχρονων αναλυτικών τεχνικών”

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/a	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΜΠΡΑΤΑΚΟΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ	ΕΔΙΠ	
2	ΤΣΙΑΚΑ ΘΑΛΕΙΑ	ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	
3	ΚΡΙΤΣΗ ΕΥΤΥΧΙΑ	ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	

Δήλωση συγγραφέα πτυχιακής εργασίας

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Γεωργακοπούλου Αλεξία-Αικατερίνη του Κωνσταντίνου με αριθμό μητρώου 20684014, φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, της Σχολής Επιστημών Τροφίμων, του Τμήματος Επιστήμης & Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η ΔΗΛΟΥΣΑ



Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή Μπρατάκο Σωτήριο, για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος και για τη βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Τσιάκα Θάλεια για την πολύτιμη καθοδήγηση που μου πρόσφερε κατά την περίοδο της συγγραφής. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Κρίτση Ευτυχία, ως μέλος της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Περίληψη

Η νοθεία των τροφίμων αποτελεί ένα παγκόσμιο πρόβλημα, που αφορά τόσο την ποιότητα και ασφάλεια των τροφίμων, όσο και την υγεία των καταναλωτών. Πρόκειται για την σκόπιμη υποβάθμιση της αξίας των τροφίμων, με κύριο στόχο το οικονομικό όφελος. Συγκεκριμένα, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια αξιοσημείωτη αύξηση στα καταγεγραμμένα περιστατικά απάτης στον τομέα των αρωματικών φυτών και μπαχαρικών στην ελληνική αλλά και στην παγκόσμια αγορά. Ως εκ τούτου, είναι αναγκαία η ανάπτυξη σύγχρονων, ειδικών και αξιόπιστων αναλυτικών μεθόδων εντοπισμού της νοθείας των φυτικών αυτών προϊόντων, για την αποτελεσματική ανίχνευση και διασφάλιση της αυθεντικότητάς τους.

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να πραγματοποιήσει μια βιβλιογραφική ανασκόπηση με θέμα την νοθεία των αρωματικών φυτών και μπαχαρικών και να ερευνήσει τις κατάλληλες αναλυτικές τεχνικές για τον εντοπισμό της. Αρχικά, παρουσιάζονται τα κυριότερα αρωματικά φυτά και μπαχαρικά, η αγορά και ζήτησή τους, οι ευεργετικές τους ιδιότητες και οι βασικότερες χημικές ενώσεις τους. Έπειτα, περιγράφονται τα διαφορετικά είδη νοθείας που απαντώνται στα πιο συχνά νοθευμένα τρόφιμα, συμπεριλαμβανομένων των αρωματικών φυτών και μπαχαρικών και γίνεται αναφορά στις επιπτώσεις που προκαλούνται στην υγεία των καταναλωτών. Τέλος, αναλύονται οι μέθοδοι ανίχνευσης της νοθείας με συγκεκριμένα παραδείγματα για τα διάφορα αρωματικά φυτά και μπαχαρικά.

Λέξεις-κλειδιά: αρωματικά φυτά, μπαχαρικά, νοθεία, τρόφιμα, αναλυτικές τεχνικές/μέθοδοι

Abstract

Food adulteration is a global problem, affecting both the quality and safety of food, as well as the health of consumers. It is the deliberate degradation of the value of food, with the main objective being financial profit. In particular, in recent years there has been a noticeable increase in recorded cases of fraud in the field of aromatic herbs and spices in the Greek and global markets. Therefore, it is necessary to develop modern, specific and reliable analytical methods for identifying the adulteration of these herbal products, to effectively detect and ensure their authenticity.

The purpose of this thesis is to carry out a literature review on the subject of adulteration of aromatic herbs and spices and to investigate the appropriate analytical techniques for its detection. To achieve that, the main aromatic herbs and spices are presented along with their demand in the global market, their beneficial properties and their main chemical compounds. Additionally, a thorough investigation is being conducted on the different types of adulteration found in the most commonly adulterated foods, including aromatic herbs and spices, as well as their negative effects on consumers' health. Finally, the methods of detecting adulteration are analyzed, with specific examples given for the various aromatic herbs and spices.

Keywords: aromatic herbs, spices, adulteration, food, analytical techniques/methods

Περιεχόμενα

Δήλωση συγγραφέα πτυχιακής εργασίας	4
Ευχαριστίες.....	5
Περίληψη.....	6
Abstract	7
Κεφάλαιο 1: Αρωματικά Φυτά και Μπαχαρικά.....	10
1.1 Γενικά για τα αρωματικά φυτά και μπαχαρικά.....	10
1.2 Αγορά και ζήτηση των αρωματικών φυτών και μπαχαρικών.....	17
1.3 Ευεργετικές ιδιότητες και δράσεις των αρωματικών φυτών και μπαχαρικών.....	21
1.4 Βασικές ενώσεις των αρωματικών φυτών και μπαχαρικών.....	26
Κεφάλαιο 2: Νοθεία Αρωματικών Φυτών και Μπαχαρικών	32
2.1 Γενικά για τη νοθεία των τροφίμων.....	32
2.2 Νοθεία των αρωματικών φυτών και μπαχαρικών.....	38
2.3 Επιπτώσεις την νοθείας στην υγεία.....	42
2.4 Νομοθεσία για την νοθεία των μπαχαρικών και αρωματικών φυτών.....	45
Κεφάλαιο 3: Μέθοδοι για τον εντοπισμό νοθείας στα αρωματικά φυτά και μπαχαρικά.....	52
3.1 Γενικά.....	52
3.2 Χρωματογραφικές Μέθοδοι.....	53
3.3 Μέθοδοι Ανάλυσης DNA.....	57
3.4 Φασματοσκοπικές μέθοδοι.....	60
3.5 Φασματομετρία μάζας (MS).....	65
3.6 Άλλες μέθοδοι ανίχνευσης.....	67
3.6.1 Ανοσολογικές δοκιμές.....	67
3.6.2 Φυσικές και αισθητηριακές αναλύσεις.....	68
3.6.3 Τεχνικές Μικροσκοπίας.....	69
Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα και Μελλοντικές Προοπτικές.....	72
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	75

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1 Αρωματικά φυτά και μπαχαρικά και οι ευεργετικές τους δράσεις.....	25
Πίνακας 1.2 Χημική σύνθεση των φαινολικών οξέων και φλαβονοειδών σε υδροαιθανολικά εκχυλίσματα ($\text{mg} \times 100 \text{g}^{-1}$) (Kosakowska et al., 2021)	30
Πίνακας 2.1 Τρόφιμα που νοθεύονται συχνά και το κύριο είδος νοθείας τους (FDA,2024).....	37
Πίνακας 2.2 Νοθεία μπαχαρικών και οι επιπτώσεις στην υγεία (Mohiuddin et al.,2019).....	41

Πίνακας 2.3 Τρόφιμα που υπόκεινται σε νοθεία και οι αρνητικές επιπτώσεις τους στην υγεία (Tomar and Alka, 2022).....	44
Πίνακας 2.4 Οι πιθανές επιπτώσεις στην υγεία από συχνές παράνομες βαφές (RASFF portal, EFSA, 2005;Galvin-King, 2020).....	50
Πίνακας 3.1 Παραδείγματα νοθείας αρωματικών φυτών και μπαχαρικών και οι μέθοδοι ανίχνευσής τους.....	70

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1 Φυτό ρίγανης και ρίγανη (Kosakowska et al., 2020).....	12
Εικόνα 1.2 Φύλλα δάφνης (Nawade et al., 2022).	13
Εικόνα 1.3 Γλυκάνισος (Vázquez-Fresno et al.,2019).....	14
Εικόνα 1.4 Μαύρο πιπέρι (Sharif et al., 2019).....	14
Εικόνα 1.5 Πιπεριά Τσίλι (Vázquez-Fresno et al.,2019).....	15
Εικόνα 1.6 Κανέλα (Vázquez-Fresno et al.,2019).....	16
Εικόνα 1.7 Ρίζωμα τζίντζερ (Vikou et al., 2023).....	17
Εικόνα 1.8 Ιδιότητες και χρήσεις των αρωματικών φυτών (Christaki et al., 2020).....	25
Εικόνα 2.1 Τα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας των αρωματικών φυτών και μπαχαρικών και τα τρωτά σημεία της (BRC-FDF-SSA, 2016;Galvin-King, 2020).....	50
Εικόνα 2.2 Ειδοποιήσεις σχετικά με πιθανούς κινδύνους που αντιμετωπίζουν τα αρωματικά φυτά και τα μπαχαρικά κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 33 ετών (1989–2020)(RASFF, 2023).....	51
Εικόνα 3.1 Χαρακτηριστικά χρωματογραφικά προφίλ στα 280 nm για κάθε τύπο μπαχαρικού και αρωματικού φυτού (Pages-Rebull et al., 2023).....	56
Εικόνα 3.2 Φάσματα FT-IR του (A) Metanil yellow (B) Κουρκουμά σε σκόνη (Dhakal et al., 2016; Bharathi et al., 2019).....	62
Εικόνα 3.3 Αρωματική περιοχή του φάσματος 1H NMR των χρωστικών Sudan I-IV και του αγνού ελληνικού σαφράν. Τα πλαίσια δηλώνουν συγκεκριμένα σήματα που αξιοποιούνται για τη ταυτοποίηση κάθε χρωστικής στο νοθευμένο σαφράν (Pettrakis et al., 2017).....	65
Εικόνα 3.4 Δακτυλικά αποτυπώματα UHPLC-(ESI+)-HRMS σαφράν και των πιθανών νοθευτών του (Kvirencova et al., 2023).....	66
Εικόνα 3.5 Δακτυλικά αποτυπώματα UHPLC-(ESI-)-HRMS σαφράν και των πιθανών νοθευτών του (Kvirencova et al., 2023).....	66
Εικόνα 3.6 Διάφοροι τρόποι για την ανίχνευση νοθείας στην πάπρικα και στο τσίλι σε σκόνη..	71

Κεφάλαιο 1: Αρωματικά Φυτά και Μπαχαρικά

1.1 Γενικά για τα αρωματικά φυτά και μπαχαρικά

Τα αρωματικά φυτά και τα μπαχαρικά αποτελούν ουσίες φυτικής προέλευσης, κυρίως αφυδατωμένες, με σταθερά φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά. Ένας γενικός ορισμός για τα μπαχαρικά, σύμφωνα με τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA), τα ορίζει ως αρωματικές φυτικές ουσίες, σε ολόκληρη, σπασμένη ή αλεσμένη μορφή, των οποίων η πρωταρχική τους χρήση στα τρόφιμα είναι ως καρυκεύματα. Τα αρωματικά φυτά ορίζονται ως τα φυτά τα οποία διαθέτουν ως κύριο γνώρισμα τους το άρωμα που αναδύουν, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε πτητικές χημικές ενώσεις. Η κύρια διαφορά μεταξύ των μπαχαρικών και των αρωματικών φυτών, είναι ότι τα τελευταία προέρχονται από τα φυλλώδη μέρη των φυτών, ενώ τα μπαχαρικά από τα υπόλοιπα μέρη του φυτού, όπως τη ρίζα, τον σπόρο ή τον φλοιό.

Τα μπαχαρικά και τα αρωματικά φυτά είχαν πάντα μεγάλη ιστορική σημασία στην ανθρώπινη διατροφή και στις ολιστικές προσεγγίσεις σε θέματα υγείας. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν στην αρχαιότητα τόσο στον τομέα των τροφίμων, για τη συντήρηση και την βελτίωση της γεύσης και του αρώματος, όσο και στον ιατρικό τομέα και σε πολλές θρησκευτικές τελετουργίες. Είναι τεκμηριωμένα ως πλούσια πηγή βιοδραστικών ενώσεων που συνδέονται με οφέλη για την υγεία (Cicero et al., 2022). Τα περισσότερα από τα γνωστά αρωματικά φυτά και μπαχαρικά προέρχονται από μεσογειακές χώρες, τη Μέση Ανατολή ή την Ασία και πολλά από αυτά, έχουν χρησιμοποιηθεί από την αρχαία Αιγυπτιακή και Ρωμαϊκή εποχή. Τις τελευταίες δεκαετίες, η έρευνα για τα οφέλη τους στην υγεία έχει αυξηθεί σημαντικά, καθώς πολλά από αυτά είναι γνωστό ότι διαθέτουν ιδιότητες που σχετίζονται με τη μείωση του κινδύνου εμφάνισης χρόνιων ασθενειών. Ορισμένα από τα πιθανά οφέλη για την υγεία, σχετίζονται με την προστασία από καρδιαγγειακές παθήσεις, νευροεκφυλιστικές καταστάσεις, χρόνια φλεγμονή, καρκίνο, παχυσαρκία και διαβήτη τύπου II.

Πιο συγκεκριμένα, για τα αρωματικά φυτά ισχύει ότι είναι μία ομάδα του φυτικού βασιλείου με ιδιαίτερες ιδιότητες, λόγω της περιεκτικότητας τους σε αιθέρια έλαια, τα οποία χρησιμοποιούνται στα τρόφιμα κυρίως για το άρωμα που προσφέρουν, αλλά ταυτόχρονα έχουν και φαρμακευτικό σκοπό. Γενικά, ο κόσμος των φυτών περιλαμβάνει 350.000 διαφορετικά είδη από τα οποία τα 18.000 έχουν χαρακτηριστεί αρωματικά. Χαρακτηρίζονται από τη σύνθεση δευτερογενών μεταβολιτών χαμηλού μοριακού βάρους, τερπενικής συνήθως σύστασης, στους οποίους και οφείλουν το χαρακτηριστικό τους άρωμα. Τα πτητικά αυτά συστατικά απαντώνται σε μίγματα

(αιθέρια έλαια), η σύσταση των οποίων μπορεί να αλλάζει, λόγω ενδογενών ή/και εξωγενών παραγόντων, προκαλώντας τη διαμόρφωση διαφορετικών χημειοτύπων για το ίδιο φυτό. Εκτός των αιθερίων ελαίων, τα αρωματικά φυτά συνθέτουν κι άλλες, λιγότερο πτητικές τερπενοειδείς και φαινολικές ουσίες, οι οποίες συμμετέχουν στις αλληλεπιδράσεις του φυτού με το περιβάλλον του. Συγκεκριμένα, οι μεταβολίτες αυτοί: α) προσελκύουν άλλους οργανισμούς διευκολύνοντας την επικοινωνία – μεταφορά σπόρων μακριά από το μητρικό φυτό, β) έχουν απωθητική ή/και τοξική δράση σε θηρευτές, μικροοργανισμούς και άλλα φυτά συμμετέχοντας στους αμυντικούς μηχανισμούς των φυτών και γ) ενέχονται στην προστασία των φυτών από αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης, όπως υψηλή ένταση φωτός και υπερϊώδη ακτινοβολία.

Οι σπουδαιότερες οικογένειες των αρωματικών φυτών είναι: Compositae, Lamiaceae, Lauraceae, Pinaceae, Rutaceae και Apiaceae και χαρακτηριστικοί αντιπρόσωποι είναι ο βασιλικός, ο δυόσμος, η ρίγανη, η δάφνη, το πράσο, το σχοινόπρασο, το εστραγγόν, ο άνηθος, το σέλινο, ο μαϊντανός, το σκόρδο, η μέντα κα.. Κυρίως για την οικογένεια των Lamiaceae, οι ιδιότητες των δευτερογενών μεταβολιτών είναι οι αντιμικροβιακές, οι εντομοαπωθητικές και οι αντιοξειδωτικές. Συγκεκριμένα για την αντιοξειδωτική δράση των δευτερογενών μεταβολιτών στα Lamiaceae, ισχύει ότι οφείλεται κυρίως στα φαινολικά τους συστατικά και δευτερευόντως στα τερπενοειδή.

Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα αρωματικά φυτά στη μεσογειακή μαγειρική είναι ο μαϊντανός, ο δυόσμος, η δάφνη, η ρίγανη, το θυμάρι, το δεντρολίβανο, ο κόλιανδρος, ο άνηθος, ο βασιλικός, το εστραγγόν, το σχοινόπρασο, το φασκόμηλο, η μαντζουράνα και το μάραθο, τα περισσότερα από τα οποία είναι μέλη των Lamiaceae και Apiaceae οικογενειών. Η μέντα, το φασκόμηλο, το φλησκούνι, το τσάι του βουνού και πολλά είδη ρίγανης και θυμαριού αποτελούν δημοφιλή αφεψήματα από βότανα. Επίσης, η μέντα, ο βασιλικός, η λεβάντα, το δεντρολίβανο και η δάφνη χρησιμοποιούνται συχνά για να αρωματίσουν πιάτα με γλυκιά γεύση.

Με τον όρο “μπαχαρικά” χαρακτηρίζονται όλα τα αποξηραμένα τμήματα του φυτού, όπως καρποί, σπόροι, ρίζες, άνθη και βλαστοί, τα οποία διαθέτουν έντονο άρωμα και γεύση. Αυτή η ιδιαίτερα καυστική γεύση και το έντονο άρωμά τους, οφείλεται κυρίως σε αιθέρια έλαια και σε ρητινώδεις ουσίες, που περιέχονται σε αυτά. Στα τρόφιμα και τα ποτά χρησιμοποιούνται συνήθως υπό τη μορφή σκόνης, εκχυλίσματος ή και ολόκληρα και αξιοποιούνται ως πρόσθετες αρωματικές ύλες ή ως πρόσθετες ουσίες που ενισχύουν τη γεύση. Μια ακόμη σημαντική εφαρμογή τους αποτελεί η προσθήκη τους με σκοπό να αποτραπεί η υποβάθμιση των λιπιδίων και το τάγγισμα στα τρόφιμα. Η συγκεκριμένη λειτουργία τους ως συντηρητικά οφείλεται στις αντιοξειδωτικές ιδιότητες που διαθέτουν (De-Montijo-Prieto et al., 2021).

Μερικά από τα βασικότερα αρωματικά φυτά και μπαχαρικά είναι:

Ρίγανη (*Origanum sp.*)

Η ρίγανη που αποτελεί ένα από τα πιο γνωστά αρωματικά φυτά, ανήκει στην οικογένεια Lamiaceae/Labiatae και πρόκειται για ένα πολυετές ποώδες φυτό που συναντάται σε παραμεσόγειες χώρες και αξιοποιείται παγκοσμίως σε πολλούς τομείς. Όσον αφορά τις χημικές ενώσεις που περιέχει η ρίγανη, σε αφθονία βρίσκονται οι φλαβόνες και ακολουθούν οι φλαβονόλες, φλαβανόνες ως υποομάδες των φλαβονοειδών. Μεταξύ των πιο κοινών φαινολικών οξέων έχουν εντοπιστεί το υδροξυκιναμωμικό οξύ και τα παράγωγα υδροξυβενζοϊκού οξέος (Gutiérrez-Grijalva et al., 2017). Τα αιθέρια έλαια της ρίγανης είναι επίσης πλούσια σε φαινολικά συστατικά. Σε υψηλή περιεκτικότητα εντοπίζονται τα μονοτερπενοειδή και ακολουθεί σε χαμηλότερη περιεκτικότητα η θυμόλη. Η χρήση της ρίγανης στην βιομηχανία γίνεται συνήθως με την μορφή λαδιού ρίγανης ή ρητίνης ρίγανης, με εφαρμογές σε αλκοολούχα ποτά, αρτοσκευάσματα, κρέατα και προϊόντα κρέατος, καρκεύματα, γαλακτοκομικά προϊόντα, επεξεργασμένα λαχανικά, σνακ, λίπη και έλαια.



Εικόνα 1.1 Φυτό ρίγανης και ρίγανη (Kosakowska et al., 2020)

Δάφνη (*Laurus nobilis*)

Η δάφνη πρόκειται για αρωματικό φυτό της οικογένειας των Lauraceae, η οποία είναι εγγενής στη Νότια Ευρώπη και στην περιοχή της Μεσογείου, ενώ στην Ελλάδα απαντάται και αυτοφυής. Έχει μορφή θάμνου ή μικρού δέντρου, τα φύλλα της είναι εναλλασσόμενα, ακέραια, λογχοειδή, βαθυπράσινα με μικρό μίσχο και με ελαφρά κυματοειδή μορφή. Η οσμή της είναι αρωματική και η γεύση της λίγο πικρή. Τα άνθη βγαίνουν τον Μάρτιο με Απρίλιο και η εξαγωγή των φύλλων δάφνης στην Ελλάδα υπολογίζεται στους 200 τόνους ετησίως. Τα αποξηραμένα φύλλα του φυτού και το αιθέριο έλαιο που προέρχεται από αυτά, έχουν διάφορες χρήσεις τόσο στη μαγειρική όσο και στη βιομηχανία τροφίμων. Συγκεκριμένα, τα φύλλα δάφνης χρησιμοποιούνται ως άρτυμα στη μαγειρική και στη συσκευασία ξηρών καρπών, όπως σύκα ή σταφίδες. Το αιθέριο έλαιο που έχουν τα φύλλα και οι καρποί (δαφνέλαιο) χρησιμοποιείται για την παρασκευή εντομοκτόνων και

παρασιτοκτόνων, ενώ παράλληλα παρουσιάζει αντιμικροβιακές και αντιοξειδωτικές ιδιότητες. Βασικές χημικές ενώσεις που παρατηρούνται σε αυτό είναι τα οξυγονωμένα μονοτερπένια που αντιπροσωπεύουν το 48,6%, με τα κύρια συστατικά να είναι η 1,8-κινεόλη (31,9%), το σαβινένιο (12,2%) και η λιναλοόλη (10,2%). Τα σесκιτερπένια αντιπροσωπεύουν το 3,4% του ελαίου, οι υδρογονάνθρακες το 3,2% και οι οξυγονωμένες ενώσεις το 0,2% (Caruto et al., 2017).



Εικόνα 1.2 Φύλλα δάφνης (Nawade et al., 2022).

Γλυκάνισος (*Pimpinella anisum*)

Ο γλυκάνισος αποτελεί αρωματικό ανθοφόρο φυτό που ανήκει στην οικογένεια Apiaceae και προέρχεται από την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου και της Νοτιοδυτικής Ασίας. Συγκεκριμένα, είναι ένα ποώδες πολυετές φυτό, το οποίο εξελίσσεται σε ύψος ίσο με 0,9 μ. ή περισσότερο. Η χαρακτηριστική γεύση και άρωμα γλυκόριζας από τον γλυκάνισο προέρχεται από την ανηθόλη, η οποία είναι ένα παράγωγο φαινυλοπροπενίου που βρίσκεται στον γλυκάνισο (*Pimpinella anisum*) και στο μάραθο (*Foeniculum vulgare*). Εμφανίζεται φυσικά σε υψηλές συγκεντρώσεις σε πτητικά έλαια όπως στο έλαιο γλυκάνισου (80-90%), στο έλαιο αστεροειδούς γλυκάνισου (πάνω από 90%) και στο έλαιο μάραθου (80%). Παρατηρείται τόσο σε *cis* όσο και σε *trans* ισομερές, με το *trans* ισομερές να είναι πιο άφθονο και να αποτελεί το κύριο συστατικό του αιθέριου ελαίου του γλυκάνισου (80-90%). Βρίσκεται επίσης στον μάραθο, το βασιλικό και το εστραγκόν, ενώ παράλληλα έχει ευρεία χρήση σε φαρμακευτικά προϊόντα και ως αρωματικό πρόσθετο (Vázquez-Fresno et al., 2019).



Εικόνα 1.3 Γλυκάνισος (Vázquez-Fresno et al., 2019).

Πιπέρι (*Piper nigrum*)

Το πιπέρι, ένα από τα πιο γνωστά μπαχαρικά, είναι ένα ανθοφόρο αναρριχώμενο φυτό της οικογένειας των Piperaceae. Αποτελεί φυτό τροπικών κλιμάτων και συγκεκριμένα το μαύρο πιπέρι καλλιεργείται ευρύτατα στη Νότια Ινδία, τη Βραζιλία και την Ινδονησία. Έκτος από το μαύρο πιπέρι, οι καρποί του *Piper nigrum* χρησιμοποιούνται για την παραγωγή λευκού και πράσινου πιπεριού. Θεωρείται ως «ο Βασιλιάς των μπαχαρικών» ανάμεσα σε διάφορα μπαχαρικά, με πολλές μαγειρικές χρήσεις αλλά και φαρμακευτικές και συντηρητικές ιδιότητες. Συγκεκριμένα, η πικάντικη γεύση του μαύρου πιπεριού οφείλεται στη χημική ουσία πιπερίνη, η οποία ορίζεται ως ένα καυστικό αλκαλοειδές που προέρχεται τόσο από τον εξωτερικό καρπό όσο και από τους σπόρους. Το μαύρο πιπέρι περιέχει μεταξύ 4,6% και 9,7% πιπερίνη κατά μάζα και το λευκό πιπέρι λίγο περισσότερο από αυτό. Η πιπερίνη έχει σημαντική βιοενισχυτική δράση, καθώς μπορεί να βελτιώσει την απορρόφηση πολλών θρεπτικών συστατικών, όπως την βιταμίνη C, το σελήνιο, το β-καροτένιο, την βιταμίνη A, την βιταμίνη B6 και το συνένζυμο Q10. Επίσης, αποτελεί ένα πολύ αποτελεσματικό αντιοξειδωτικό, αφού μετριάζει τις οξειδωτικές βλάβες παρεμποδίζοντας τη λιπιδική υπεροξείδωση. Η πιπερίνη διεγείρει τα ένζυμα του παγκρέατος και του εντέρου που βοηθούν στην πέψη, ενώ παράλληλα αυξάνει τη βιοδιαθεσιμότητα πολλών φαρμάκων και θρεπτικών συστατικών ενισχύοντας την απορρόφησή τους (Takoooree et al., 2019).



Εικόνα 1.4 Μαύρο πιπέρι (Sharif et al., 2019)

Πιπεριά τσίλι (*Capsicum sp.*)

Η πιπεριά αποτελεί ένα ποώδες και θαμνώδες φυτό, που ανήκει στο γένος *Capsicum*, της οικογένειας Solanaceae. Συγκεκριμένα, η πιπεριά τσίλι προέρχεται από το Μεξικό και μεταφέρθηκε στην Ασία από Πορτογάλους θαλασσοπόρους κατά τον 16ο αιώνα, ενώ σήμερα η Ινδία αποτελεί τον μεγαλύτερο παραγωγό και εξαγωγέα παγκοσμίως. Τα πέντε πιο κοινά είδη πιπεριάς είναι το *Capsicum annuum*, το *C. frutescens*, το *C. chinense*, το *C. pubescens* και το *C. baccatum*. Οι

πιπεριές τσίλι έχουν γεύση πικάντικη, καυτερή και κάπως γλυκιά (ανάλογα με την ποικιλία και το είδος). Οι ήπιες ή γλυκές πιπεριές περιέχουν παρόμοια συστατικά όπως το Capsicum αλλά με λίγα ή καθόλου πικάντικα συστατικά. Χρησιμοποιούνται ως χρωστικές τροφίμων, αρωματικοί παράγοντες, ως αποθητικά αρπακτικών και ως πηγή ανακούφισης από τον πόνο. Οι ενώσεις που ευθύνονται για την καυτερή γεύση της πιπεριάς τσίλι ονομάζονται καψαϊκιοειδή, με την καψαϊκίνη να είναι η πιο γνωστή. Η καψαϊκίνη αποτελεί ένα αλκαλοειδές που εμφανίζεται φυσικά σε φυτά της οικογένειας Solanaceae. Μαζί με τα άλλα καψαϊκιοειδή, που παράγονται ως δευτερογενείς μεταβολίτες της κόκκινης και άλλων ειδών πιπεριάς, δρουν κυρίως ως αποθητικές-προστατευτικές ουσίες των φυτών της πιπεριάς απέναντι στα φυτοφάγα ζώα. Είναι πρακτικά αδιάλυτη στο νερό, αλλά αρκετά διαλυτή στους συνήθεις οργανικούς διαλύτες, στα λίπη και τα φυτικά έλαια αλλά και εξαιρετικά σταθερή ουσία, καθώς δεν διασπάται κατά το μαγείρεμα. Χρησιμοποιείται τόσο σε τρόφιμα όσο και σε φάρμακα, ως δραστικό συστατικό διαφόρων αλοιφών για πόνους στους μύες που συνδέονται με την αρθρίτιδα, πόνους πλάτης και εξάρθρωσεις. Η πιπεριά τσίλι περιέχει έως και 1,5% (κατά βάρος) πικάντικες ενώσεις, που συνήθως αποτελούνται από καψαϊκίνη, διυδροκαψαϊκίνη και άλλες ουσίες. Επίσης, παρατηρούνται και άλλα συστατικά, όπως καροτενοειδή, βιταμίνες Α, C και μικρές ποσότητες πτητικών ελαίων με περισσότερα από 125 γνωστά συστατικά. Μια άλλη κατηγορία ενώσεων που μοιάζουν με την καψαϊκίνη και βρίσκονται στις πιπεριές τσίλι και στις μη πικάντικες πιπεριές τσίλι είναι τα καψινοειδή. Τα καψινοειδή έχουν ένα εκτιμώμενο «όριο καυτερής γεύσης» που είναι περίπου 1/1000 εκείνο της καψαϊκίνης, καθιστώντας δυνατή τη χρήση καψινοειδών σε εφαρμογές τροφίμων χωρίς την έντονη θερμική επίδραση που παρατηρείται στις καψαϊκίνη. Πολλά θετικά οφέλη για την υγεία έχουν αποδοθεί τόσο στην καψαϊκίνη όσο και στα καψινοειδή, συμπεριλαμβανομένων των αντικαρκινικών, αντιφλεγμονωδών και αναλγητικών επιδράσεων (Vázquez-Fresno et al.,2019).



Εικόνα 1.5 Πιπεριά Τσίλι (Vázquez-Fresno et al.,2019).

Κανέλα (*Cinnamomum verum*)

Η κανέλα αποτελεί ένα μπαχαρικό που λαμβάνεται από τον εσωτερικό φλοιό πολλών ειδών δέντρων από το γένος *Cinnamomum*, της οικογένειας των Lauraceae. Μόνο μερικά είδη *Cinnamomum* καλλιεργούνται εμπορικά (σε μεγάλο βαθμό από την Ασία) για μπαχαρικά. Η κανέλα είναι εγγενής στην Ινδία, τη Σρι Λάνκα, το Μπαγκλαντές και τη Μιανμάρ, και εισήχθη στην Αίγυπτο πριν από 4000 χρόνια. Η παγκόσμια ετήσια παραγωγή της κανέλας ανέρχεται στους 27.500-35.000 τόνους, με το *Cinnamomum verum* να αποτελεί τους 7.500-10.000 τόνους της παραγωγής. Τα κυριότερα είδη κανέλας είναι το *Cinnamomum verum*, το *Cinnamomum cassia*, το *Cinnamomum burmannii* και το *Cinnamomum loureirii*. Εκτός από την κοινή μαγειρική χρήση της ως καρύκευμα και αρωματικό υλικό, η κανέλα είναι ευρέως γνωστή για την αντιδιαβητική της δράση και για τη συμμετοχή της στη μείωση της γλυκόζης. Η γεύση της οφείλεται σε ένα αρωματικό αιθέριο έλαιο που αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από κινναμαλδεΐδη (έως και 90%). Ωστόσο, υπάρχουν τουλάχιστον 80 άλλες ενώσεις που είναι γνωστό ότι βρίσκονται στο έλαιο κανέλας, συμπεριλαμβανομένης της κινναμυλικής αλκοόλης, της ευγενόλης και διαφόρων κουμαρινών που συμβάλλουν στη συνολική γεύση και το άρωμά της (Vázquez-Fresno et al.,2019).



Εικόνα 1.6 Κανέλα (Vázquez-Fresno et al.,2019).

Τζίντζερ (*Zingiber officinale*)

Το τζίντζερ (*Zingiber officinale*) της οικογένειας Zingiberaceae είναι ένα ποώδες φυτό με λευκά ή κόκκινα άνθη, εγγενές στην Ασία, του οποίου το σαρκόδες και αρωματικό ρίζωμα χρησιμοποιείται στη μαγειρική και την παραδοσιακή ιατρική. Αυτό το ρίζωμα, με πικάντικη γεύση, χρησιμοποιείται φρέσκο, ζαχαρωμένο σε ζάχαρη ή σε σκόνη. Η χημική σύνθεση του τζίντζερ αποτελείται από άμυλο, που αντιπροσωπεύει το μεγάλο μέρος του βάρους του φυτού (περίπου 60%), από ελαιορητίνη, από 10 έως 40 mL/kg αιθέριο έλαιο και από πρωτεΐνες, βιταμίνες και μέταλλα. Οι φαινολικές ενώσεις που παρατηρούνται στο τζίντζερ είναι υπεύθυνες τόσο για την πικάντικη γεύση του, όσο για το άρωμα και τις θεραπευτικές του ιδιότητες. Τα εκχυλίσματα τζίντζερ έχουν επιδείξει αντιμικροβιακή δράση ενάντια σε ένα ευρύ φάσμα παθογόνων μικροοργανισμών. Αυτά

περιλαμβάνουν τόσο θετικά κατά Gram όσο και αρνητικά κατά Gram βακτήρια, συμπεριλαμβανομένων των *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes* και *Haemophilus influenzae* και της ζύμης *Candida albicans* (Vikou et al., 2023).



Εικόνα 1.7 Ρίζωμα τζίντζερ (Vikou et al., 2023).

1.2 Αγορά και ζήτηση των αρωματικών φυτών και μπαχαρικών

Τα μπαχαρικά και τα αρωματικά φυτά αποτελούν φυτικά προϊόντα με κυρίως αρωματικές ιδιότητες στα τρόφιμα αλλά και ορισμένες φαρμακευτικές δράσεις. Χρησιμοποιούνται κυρίως για θεραπευτικούς και μαγειρικούς σκοπούς, σε βιομηχανίες τροφίμων, καλλυντικών και φαρμακευτικών προϊόντων. Στη σύγχρονη εποχή, η αυξανόμενη γνώση σχετικά με τις ευεργετικές ιδιότητες ορισμένων αρωματικών φυτών και μπαχαρικών, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ζήτησης και κατανάλωσής τους. Η αγορά αρωματικών φυτών και μπαχαρικών ξεπερνά τα 20 δις ευρώ παγκοσμίως. Το ενδιαφέρον για τα φυτικά αυτά προϊόντα αφορά τις φαρμακοβιομηχανίες και βιομηχανίες καλλυντικών για την αξιοποίηση των αιθέριων ελαίων τους. Ισχύει ότι περίπου το 40% των πρόσφατα εγκεκριμένων φαρμάκων κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχουν διαμορφωθεί από ουσίες φυσικής προέλευσης. Επίσης, παρατηρείται ραγδαία χρήση στις βιομηχανίες τροφίμων, με κύρια πηγή τα ξηρά φύλλα από όπου παρασκευάζονται ροφήματα ενώ παράλληλα χρησιμοποιούνται σε κονσερβοποιημένα προϊόντα, στη μαγειρική και στη ζαχαροπλαστική.

Σε επίπεδο παραγωγής, ηγέτιδες χώρες είναι αυτές της Ασίας, ενώ σε επίπεδο κατανάλωσης οι ΗΠΑ, η Γερμανία, η Ιαπωνία και η Γαλλία. Η Τουρκία, η Αίγυπτος, και η Τυνησία παράγουν και εξάγουν μεγάλες ποσότητες αρωματικών φυτών, μπαχαρικών και προϊόντων τους. Το ασιατικό εμπόριο ανέρχεται στα 14 δισεκατομμύρια δολάρια με 7 εκατομμύρια τόνους και αντιπροσωπεύει το 44,35% και το 53,13% του παγκόσμιου εμπορίου σε αξία και όγκο, αντίστοιχα. Μετά τον ηγετικό ρόλο της Κίνας με μερίδιο 14,8% στις εξαγωγές, η Ινδία είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος εξαγωγέας με μερίδιο 8,75% στο ασιατικό εμπόριο (Riaz et al., 2021). Γενικά ισχύει ότι η Κίνα, η Ινδία, ο Καναδάς, οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Γερμανία ευθύνονται για το 60% των

εξαγωγών παγκοσμίως, ενώ οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Γερμανία, η Κίνα, η Ιαπωνία και η Σιγκαπούρη συγκροτούν το 50% των παγκόσμιων εισαγωγών (Bhatkar et al., 2023).

Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ραγδαία αύξηση στο εμπόριο μπαχαρικών και αρωματικών φυτών με αύξηση 7,04% από το 2019 έως το 2020 (Shirkole, 2023). Το 2020, οι συνολικές εισαγωγές και εξαγωγές των μπαχαρικών και των αρωματικών φυτών ήταν 6.299.556 και 6.580.052 τόνοι, αντίστοιχα, στις παγκόσμιες αγορές. Σήμερα, πολλά φάρμακα και προϊόντα υγείας παρασκευάζονται από αρωματικά φυτά και μπαχαρικά που είναι γνωστό ότι διαθέτουν φαρμακευτικές ιδιότητες. Χρησιμοποιούνται όχι μόνο στη σύγχρονη ιατρική πρακτική αλλά και στην παραδοσιακή και συμπληρωματική ιατρική. Επίσης, συχνά συνιστάται στους καταναλωτές να καταναλώνουν μόνο φυτικά συμπληρώματα εγκεκριμένα από τις υγειονομικές αρχές για την αποφυγή δυσμενών επιπτώσεων (Shirkole et al., 2023).

Για παράδειγμα, η Τουρκία εξάγει αρωματικά φυτά και μπαχαρικά σε περίπου 100 χώρες παγκοσμίως. Η Βόρεια Αμερική, η Ευρωπαϊκή Ένωση, η Λατινική Αμερική, η Άπω Ανατολή και η Βόρεια Αφρική αντιπροσωπεύουν σημαντικό μέρος των διεθνών εσόδων της. Η λίστα περιλαμβάνει τις Ηνωμένες Πολιτείες, τη Γερμανία, το Βιετνάμ, την Ολλανδία, την Πολωνία, τη Βραζιλία, τον Καναδά, την Ιταλία, το Βέλγιο, την Ελλάδα, τη Γαλλία και την Ιαπωνία. Συνολικά εξήχθησαν 80 χιλιάδες τόνοι αρωματικών φυτών το 2018, και τα έσοδα ανήλθαν συνολικά σε 265 εκατομμύρια δολάρια. Στην Τουρκία καλλιεργούνται μεγάλες ποσότητες θυμαριού, κύμινου και γλυκάνισου, μάραθου, δεντρολίβανου, βασιλικού, με τα προϊόντα που εξάγονται περισσότερο να είναι η ρίγανη και η δάφνη. Αντίθετα, οι κύριες εισαγωγές στην Τουρκία περιλαμβάνουν πιπέρι και τζίντζερ (Riaz et al., 2021).

Η παραγωγή και η χρήση αιθέριων ελαίων αυξάνεται ολοένα και περισσότερο λόγω της πολλαπλής χρήσης τους. Τα αιθέρια έλαια χρησιμοποιούνται στην αρωματοποιία, στη βιομηχανία τροφίμων, στη βιομηχανία καρυκευμάτων και στην παρασκευή γλυκών και ποτών, καθώς και σε φαρμακευτικά προϊόντα αρωματοθεραπείας φυτικής προέλευσης. Τα αιθέρια έλαια αποτελούν περίπου το 17% της παγκόσμιας αγοράς των αρωματικών ουσιών. Η παγκόσμια παραγωγή αιθέριων ελαίων υπολογίστηκε το 2017 ως περισσότερη από 150.000 τόνους, αξίας περίπου 6 δισεκατομμυρίων δολαρίων, που αντιπροσωπεύει τριπλασιασμό σε όγκο από το 1990 (45.000 τόνοι), εκ των οποίων το 50% έχει συμβεί από το 2007.

Οι κύριοι παραγωγοί αιθέριων ελαίων σε όλο τον κόσμο είναι η Κίνα και η Ινδία, ακολουθούμενες από την Ινδονησία, τη Σρι Λάνκα και το Βιετνάμ. Το μέγεθος της αγοράς αιθέριων ελαίων αποτιμήθηκε σε 20,19 δισεκατομμύρια δολάρια το 2021 και αναμένεται να αυξηθεί από 21,79 δισεκατομμύρια δολάρια το 2022 σε 40,12 δισεκατομμύρια δολάρια έως το 2030. Οι παγκόσμιες πωλήσεις αιθέριων ελαίων της Τουρκίας για το 2018 ανήλθαν σε περίπου 42

εκατομμύρια δολάρια. Το Χονγκ Κονγκ, η Ιαπωνία, η Κίνα, η Κορέα, το Πακιστάν και η Σιγκαπούρη είναι οι κορυφαίοι εξαγωγείς από τη Νότια Ασία. Από το 2018, η Γαλλία, η Γερμανία, η Αυστραλία, οι ΗΠΑ, η Ελβετία, η Αγγλία, η Ελλάδα, η Ιρλανδία, ο Καναδάς και η Ισπανία ήταν οι μεγαλύτερες εξαγωγικές χώρες σε αιθέρια έλαια. Το μερίδιο της Γαλλίας στις συνολικές εξαγωγές είναι 53% (Riaz et al., 2021). Συγκεκριμένα για το 2022, οι κορυφαίοι εξαγωγείς αιθέριων ελαίων ήταν η Ινδία (879 εκατομμύρια δολάρια), οι Ηνωμένες Πολιτείες (693 εκατομμύρια δολάρια), η Βραζιλία (425 εκατομμύρια δολάρια), η Γαλλία (424 εκατομμύρια δολάρια) και η Κίνα (407 εκατομμύρια δολάρια). Κατά μέσο όρο, στη χρονική περίοδο 2011-2020, η Ινδία ηγείται της λίστας των 5 κορυφαίων χωρών για τις εξαγωγές αιθέριων ελαίων στον κόσμο με μερίδιο 15,7%. Άλλοι σημαντικοί εξαγωγείς κατά μέσο όρο είναι οι ΗΠΑ (13,4%), η Κίνα (8,7%), η Γαλλία (8,2%) και η Βραζιλία (6,3%).

Ενώ η Ελλάδα κλιματολογικά ευνοεί την καλλιέργεια αρωματικών φυτών και μπαχαρικών, θεωρείται ως νέα μορφή καλλιέργειας και δεν έχει αναπτυχθεί επαρκώς. Στην Ελλάδα καλλιεργούνται περίπου 20.000 - 30.000 στρέμματα αρωματικών αλλά και φαρμακευτικών φυτών. Η συγκεκριμένη μορφή καλλιέργειας δύναται να αξιοποιήσει πολλές κατηγορίες εδαφών, ακόμη και ορεινών αλλά και μειονεκτικών περιοχών. Τα αρωματικά φυτά και μπαχαρικά δίνουν την ευκαιρία αντικατάστασης των χημικών ουσιών με φυσικές, που γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς στο ευρύ καταναλωτικό κοινό της Ελλάδας. Παράλληλα οι απαιτήσεις τους σε εισροές (φάρμακα και λιπάσματα) είναι μειωμένες καθώς μπορούν να καλλιεργηθούν ή να βιοκαλλιεργηθούν χωρίς να προσβάλλονται εύκολα από εχθρούς και ασθένειες.

Κάποια από τα αρωματικά φυτά που έχουν καλλιεργηθεί στην Ελλάδα είναι ο βασιλικός (*Ocimum basilicum* - Ωκιμον το βασιλικόν), ο γλυκάνισος (*Pimpinella anisum* - Πιμπινέλλη το άνισον), ο δίκταμος (*Origanum dictamnus* - Ορίγανον ο δίκταμος), ο κορίανδρος (*Coriandrum sativum* - Κορίανδρον το ήμερον), ο κρόκος (*Crocus sativus* - Κρόκος ο ήμερος), το κύμινο (*Cuminum cyminum* - Κούμινον το κύμινον) κ.ά. Ο κύριος όγκος των αρωματικών φυτών που είτε συλλέγονται από τη φύση είτε καλλιεργούνται, εξάγονται, με ένα μικρό ποσοστό να διατίθεται στην ελληνική αγορά. Η αύξηση της κατανάλωσης και χρήσης των αρωματικών φυτών ολοένα και αυξάνεται, γεγονός που οφείλεται τόσο στην μεγάλη ζήτηση για φυσικά προϊόντα, όσο και στη διάδοση της αρωματοθεραπείας και των ερευνών που αποδεικνύουν την ισχυρή βιολογική δράση των αιθέριων ελαίων τους.

Όσον αφορά την αξία του παγκόσμιου εμπορίου, οι πιο σημαντικές καλλιέργειες μπαχαρικών από τις τροπικές περιοχές είναι το πιπέρι, το μοσχοκάρυδο, το κάρδαμο, το πιμίντο, η βανίλια, το γαρίφαλο, το τζίντζερ, η κανέλα και ο κουρκουμάς. Ο κόλιανδρος, το κύμινο, η

μουστάρδα και το σουσάμι και τα αρωματικά φυτά φασκόμηλο, ρίγανη, θυμάρι, δάφνη και μέντα είναι οι πιο σημαντικές καλλιέργειες από μη τροπικά περιβάλλοντα. Το μεγαλύτερο μέρος των αρωματικών φυτών εξάγεται από αναπτυσσόμενες χώρες, ενώ οι μεγάλες αγορές βρίσκονται στις ανεπτυγμένες χώρες. Σύμφωνα με τα στοιχεία της ITC την περίοδο 2011-2020, οι εξαγωγές αυξήθηκαν κατά 5% και έφτασαν τα 68,5 εκατομμύρια δολάρια. Οι ασιατικές και ευρωπαϊκές χώρες κυριαρχούν στην εξαγωγική αγορά, ενώ περίπου το 46,8% των παγκόσμιων εισαγωγών διατίθεται σε ευρωπαϊκές χώρες. Αυτή η αύξηση οφείλεται στο γεγονός ότι οι εναλλακτικές μέθοδοι θεραπείας με αρωματικά φυτά έχουν προσελκύσει πρόσφατα περισσότερη προσοχή ειδικά στις ανεπτυγμένες χώρες.

Τα πιο σημαντικά μπαχαρικά που παραδοσιακά διακινούνται σε όλο τον κόσμο είναι προϊόντα τροπικών περιβαλλόντων. Οι κύριες εξαιρέσεις σε αυτήν την ομάδα είναι οι πιπεριές (πιπεριές τσίλι, πάπρικα) και ο κόλιανδρος που καλλιεργούνται σε ένα πολύ ευρύτερο φάσμα τροπικών και μη τροπικών περιβαλλόντων. Η παραγωγή μπαχαρικών και αιθέριων ελαίων σε αυτά τα υγρά περιβάλλοντα φέρνει ιδιαίτερες δυσκολίες στη διαχείριση των καλλιεργειών και των προϊόντων. Έτσι, η ξήρανση της καλλιέργειας για τη διασφάλιση ενός σταθερού αποθηκευμένου προϊόντος είναι ιδιαίτερης σημασίας.

Η ΕΕ παράγει ετησίως περίπου 100.000 τόνους μπαχαρικών και αρωματικών φυτών ενώ εισάγει τριπλάσια ποσότητα κυρίως μπαχαρικών, από την Ασία, την Αφρική, τη Λατινική Αμερική και την Καραϊβική. Το 2019 εισήχθησαν 379.000 τόνοι μπαχαρικών από χώρες εκτός ΕΕ. Τα αρωματικά φυτά χρησιμοποιούνται από δισεκατομμύρια ανθρώπους για διάφορους σκοπούς υγειονομικής περίθαλψης. Πράγματι, υπολογίζεται ότι πάνω από το 70% του παγκόσμιου πληθυσμού εξαρτάται αποκλειστικά από αυτά. Η χρήση τους επεκτείνεται από την Αφρική, την Ασία, την Αυστραλία και τη Βόρεια Αμερική, μέχρι και την Ευρώπη, όπου πάνω από 100 εκατομμύρια πολίτες χρησιμοποιούν αρωματικά φυτά (WHO, 2013). Σύμφωνα με τον WHO, το 80% του πληθυσμού της Αφρικής και της Ινδίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από γηγενή φυτικά προϊόντα και συμπληρώματα για τη θεραπεία κοινών παθήσεων. Ως εκ τούτου, υπήρξε μια συνεχής άνοδος της προσφοράς και της ζήτησης αυτών των φυτικών συμπληρωμάτων (Bahorun et al., 2019).

Συνοψίζοντας, τις τελευταίες δύο δεκαετίες, το ενδιαφέρον για τη χρήση μπαχαρικών και αρωματικών φυτών στην υγειονομική περίθαλψη έχει αυξηθεί αισθητά στις ανεπτυγμένες χώρες, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη της βιομηχανίας φυτικών φαρμάκων. Οι νομικοί περιορισμοί στις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στη συντήρηση τροφίμων, αλλά και η αναγνώριση των φυτικών προϊόντων ως ασφαλών και υγιεινών ουσιών με λίγες παρενέργειες, ήταν αποτελεσματικοί παράγοντες σε αυτήν την εξέλιξη. Έτσι, γίνεται κατανοητό ότι ο βιομηχανικός τομέας που

βασίζεται στη χρήση των αρωματικών φυτών και μπαχαρικών, έχει τεράστιες δυνατότητες για την οικονομική ανάπτυξη μιας χώρας, με την ζήτηση της αγοράς για αρωματικά φυτικά προϊόντα να παραμένει ισχυρή και στο εγγύς μέλλον (Gunjan et al., 2015).

1.3 Ευεργετικές ιδιότητες και δράσεις των αρωματικών φυτών και μπαχαρικών

Τα αρωματικά φυτά και τα μπαχαρικά χρησιμοποιούνται ευρέως από την αρχαιότητα τόσο για διατροφικούς όσο και για φαρμακευτικούς σκοπούς. Στις μαγειρικές πρακτικές, χρησιμοποιούνται ως συντηρητικά, ενισχυτικά γεύσης, χρωστικές και υποκατάστατα γεύσης για το αλάτι και τη ζάχαρη. Στην ιατρική, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση του κινδύνου ή τη θεραπεία μη μεταδοτικών χρόνιων ασθενειών που σχετίζονται με το οξειδωτικό στρες και τη φλεγμονή. Ορισμένα φυτοχημικά όπως φαινολικές ενώσεις, καροτενοειδή, στερόλες, τερπένια, αλκαλοειδή, γλυκοσινολικά οξέα και άλλες ενώσεις που περιέχουν θείο, μπορεί να ευθύνονται για τα θεραπευτικά τους αποτελέσματα (De-Montijo-Prieto et al., 2021).

Η χρήση αρωματικών φυτών για την πρόληψη ή τη θεραπεία ασθενειών ήταν μια από τις πρώτες θεραπευτικές πρακτικές στην ανθρώπινη ιστορία. Τα αρωματικά αποτελούν πηγή αντιοξειδωτικών και φυσικών αντιβακτηριακών, που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων. Όσον αφορά τα μπαχαρικά, πρόκειται για αρωματικές ουσίες φυτικής προέλευσης που χρησιμοποιούνται για την καρύκευση των πιάτων. Είναι ουσίες που προστίθενται στα τρόφιμα για να τροποποιήσουν τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά, και εκτός του ότι τα καθιστούν πιο γευστικά, παρέχουν μεγάλο όφελος για την υγεία. Έτσι, τα αρωματικά φυτά και τα μπαχαρικά μπορούν να χαρακτηριστούν ως χρήσιμα λειτουργικά συστατικά τροφίμων, με σκοπό τη μείωση του κινδύνου και τη θεραπεία χρόνιων ασθενειών.

Τα μπαχαρικά είναι μέρη φυτών, που λόγω των ιδιοτήτων τους χρησιμοποιούνται ως χρωστικές, συντηρητικά ή φάρμακα. Οι χρήσεις των μπαχαρικών είναι γνωστές από παλιά και το ενδιαφέρον για τις δυνατότητες των μπαχαρικών είναι αξιοσημείωτο λόγω των χημικών ενώσεων που περιέχονται σε αυτά, όπως τα φαινυλοπροπανοειδή, τα τερπένια, τα φλαβονοειδή και τις ανθοκυανίνες. Μπαχαρικά όπως το κύμινο (κουμιναλδεΐδη), το γαρύφαλλο (ευγενόλη) και η κανέλα (κινναμαλδεΐδη) μεταξύ άλλων, είναι γνωστά και μελετημένα για τις αντιμικροβιακές και αντιοξειδωτικές τους ιδιότητες λόγω των κύριων χημικών τους ενώσεων. Αυτά τα μπαχαρικά έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ως συντηρητικά σε πολλά τρόφιμα και συγκεκριμένα στο επεξεργασμένο κρέας για να αντικαταστήσουν τα χημικά συντηρητικά.

Όσον αφορά την χημική τους σύσταση, τα μπαχαρικά και αρωματικά φυτά περιέχουν ορισμένους δευτερογενείς μεταβολίτες όπως φλαβονοειδή, τανίνες, κουμαρίνες, αλκαλοειδή, στεροειδή, τερπένια, σαπωνίνες και πολυφαινόλες. Αυτή η ποικιλία των δευτερογενών μεταβολιτών μόνη της ή σε μια πιθανή συνέργεια μπορεί να είναι υπεύθυνη για πολλές ευεργετικές ιδιότητες που αποδίδονται στα μπαχαρικά και τα αρωματικά φυτά. Οι κύριες χημικές ενώσεις στα μπαχαρικά προσδίδουν και άλλες ιδιότητες παρέχοντας μια ποικιλία εφαρμογών σε αυτά, όπως εντομοκτόνα, φάρμακα, χρωστικές και φυσικά αρωματικά. Τα μπαχαρικά παρέχουν ευεργετικά αποτελέσματα, όπως επίπεδα αντιοξειδωτικής δραστηριότητας που είναι συγκρίσιμα με τα συνήθη χημικά αντιοξειδωτικά. Έτσι, ως εναλλακτική λύση, τα αρωματικά φυτά και τα μπαχαρικά, μπορούν και αντικαθιστούν τα συνθετικά συντηρητικά, ως φυσικές, αποτελεσματικές και μη τοξικές ενώσεις.

Υπάρχουν πλέον άφθονες ενδείξεις ότι τα μπαχαρικά και τα αρωματικά φυτά διαθέτουν αντιοξειδωτικές, αντιφλεγμονώδεις, αντικαρκινογόνες δράσεις, αλλά και μειώνουν τα επίπεδα γλυκόζης και χοληστερόλης. Πολλές έρευνες της τελευταίας δεκαετίας υπογραμμίζουν το ποικίλο φάσμα δράσεων που διαθέτουν, όσον αφορά την υγεία, μέσω των βιοδραστικών συστατικών τους, συμπεριλαμβανομένων των ενώσεων που περιέχουν θείο, τανίνες, αλκαλοειδή, φαινολικά διτερπένια και βιταμίνες, ιδιαίτερα φλαβονοειδή και πολυφαινόλες. Συγκεκριμένα το γαρύφαλλο, το δεντρολίβανο, το φασκόμηλο, η ρίγανη και η κανέλα είναι εξαιρετικές πηγές αντιοξειδωτικών, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε φαινολικές ενώσεις (Jiang et al., 2019).

Τα τελευταία χρόνια, έχει αποδειχθεί η αλληλένδετη σχέση μεταξύ της ανθρώπινης υγείας και της διατροφής. Αρκετά τρόφιμα όπως φρούτα, λαχανικά, μπαχαρικά, κ.α. περιέχουν θρεπτικά συστατικά και βιοδραστικές ενώσεις που επηρεάζουν τη λειτουργία του σώματος. Αυτή η ιδιότητα οφείλεται στην περιεκτικότητά τους σε αντιοξειδωτικά, ιδιαίτερα σε βιταμίνη C, βιταμίνη E, καροτενοειδή και πολυφαινόλες (φλαβονοειδή, κατεχίνες, ισοφλαβόνες, γλυκοζινολικό άλας). Επίσης, η συχνή κατανάλωση πικάντικων τροφών συνδέθηκε με χαμηλότερο κίνδυνο θανάτου από καρκίνο και ισχαιμικές παθήσεις της καρδιάς και του αναπνευστικού συστήματος (Jiang et al., 2019).

Τα αρωματικά φυτά και τα μπαχαρικά χρησιμοποιούνται παραδοσιακά για τις φαρμακευτικές τους ιδιότητες. Για παράδειγμα, ο κουρκουμάς, ένα μπαχαρικό που χρησιμοποιείται συνήθως στην ινδική κουζίνα, περιέχει κουρκουμίνη, η οποία έχει αντιφλεγμονώδεις και αντιοξειδωτικές ιδιότητες και μπορεί να βοηθήσει στην υποστήριξη ενός υγιούς ανοσοποιητικού συστήματος αλλά και στην μείωση του κινδύνου χρόνιων ασθενειών όπως ο καρκίνος, ο διαβήτης και η νόσος του Αλτσχάιμερ (Rani et al., 2023). Το τζίντζερ είναι πλούσιο σε αντιοξειδωτικές ενώσεις όπως η τζίντζερόλη και η σογκαόλη, οι οποίες έχουν αντιφλεγμονώδεις και αντιοξειδωτικές ιδιότητες. Το έλαιο γαρύφαλλου χρησιμοποιείται για την ανακούφιση του πόνου εδώ και αιώνες και

χαρακτηρίζεται από αναλγητικές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει πολλές μελέτες για τις φαρμακευτικές ιδιότητες του μαϊντανού και του δεντρολίβανου. Μπορεί να σημειωθεί ότι αυτά τα αρωματικά φυτά έχουν αντιφλεγμονώδεις και αντιοξειδωτικές ιδιότητες μέσω της χημικής τους σύνθεσης, με σημαντική την εφαρμογή τους στη μαγειρική, τόσο για τη γεύση όσο και για το άρωμα που προσφέρουν. Επίσης, η κανέλα ένα δημοφιλές μπαχαρικό που χρησιμοποιείται σε γλυκά και αλμυρά πιάτα, αλλά και στην παρασκευή τσαγιού, έχει αποδειχθεί ότι έχει αντιοξειδωτικές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες και μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των επιπέδων σακχάρου στο αίμα (Rani et al., 2023). Τα φύλλα δάφνης χρησιμοποιούνται ευρέως στη μαγειρική, κυρίως για το έντονο άρωμά τους, καθώς προστίθενται σε κρέατα, σούπες και σάλτσες για να ενισχύσουν τη γεύση. Ορισμένες σημαντικές ενώσεις που μπορούν να βρεθούν σε αυτά, είναι η λιναλοόλη και η κινεόλη, με έντονη αντιμικροβιακή δράση κατά των βακτηρίων και των μυκήτων. Τέλος, ευρεία είναι η χρήση των αρωματικών φυτών και τα μπαχαρικών, εδώ και αιώνες, στη συντήρηση των τροφίμων. Το αιθέριο έλαιο της ρίγανης περιέχει ενώσεις που έχουν αντιμικροβιακές ιδιότητες και μπορούν να αναστείλουν την ανάπτυξη βακτηρίων και μυκήτων (Rani et al., 2023).

Σε γενικές γραμμές, πολλά μπαχαρικά και αρωματικά φυτά έχουν ιδιότητες ενίσχυσης του ανοσοποιητικού συστήματος λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε διάφορα φυτοχημικά, όπως φλαβονοειδή, τερπενοειδή και αλκαλοειδή, τα οποία έχει αποδειχθεί ότι ρυθμίζουν το ανοσοποιητικό σύστημα. Τόσο *in vitro* όσο και *in vivo* μελέτες έχουν δείξει πως αυτές οι ουσίες δρουν ως αντιοξειδωτικά, διεγερτικά του πεπτικού συστήματος και υπολιπιδαιμικά, δηλαδή μειώνουν τις συγκεντρώσεις των λιποπρωτεϊνών, των παραγόντων που μεταφέρουν τη χοληστερόλη και των τριγλυκεριδίων στο αίμα. Επίσης, παρουσιάζουν αντιβακτηριδιακές, αντιφλεγμονώδεις, αντικές και αντικαρκινικές δράσεις και παράλληλα μπορεί να έχουν πιθανές προληπτικές εφαρμογές σε μια ποικιλία παθολογιών.

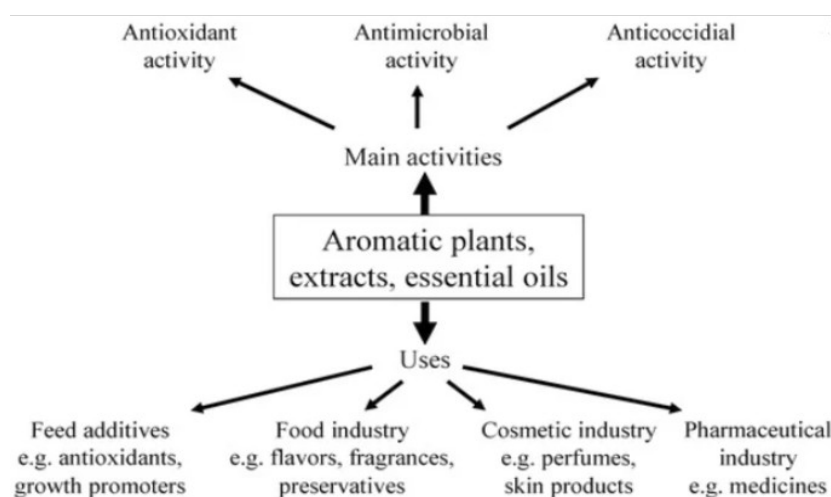
Επιπλέον, αυτά τα φαρμακευτικά φυτά διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη δημόσια υγεία, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, το 60% του παγκόσμιου πληθυσμού εξαρτάται από την παραδοσιακή ιατρική και το 80% του πληθυσμού στις αναπτυσσόμενες χώρες εξαρτάται σχεδόν εξ ολοκλήρου από τις παραδοσιακές ιατρικές πρακτικές, ιδίως τη φυτική ιατρική για τις ανάγκες πρωτοβάθμιας φροντίδας υγείας. Όσον αφορά τις ανεπτυγμένες χώρες, αναφέρεται ότι όσοι πάσχουν από χρόνιες ασθένειες στρέφονται στα φυτικά φάρμακα ως εναλλακτικά των σύγχρονων συνθετικών φαρμάκων. Αυτό το ανανεωμένο ενδιαφέρον για τη χρήση βοτανοθεραπείας στις ανεπτυγμένες χώρες πιστεύεται ότι υποκινείται από διάφορους παράγοντες, όπως τις παρενέργειες των σύγχρονων φαρμάκων, την αποτελεσματικότητα των φυτικών θεραπειών και το υψηλό κόστος των συνθετικών φαρμάκων.

Το χαρακτηριστικό των αρωματικών φυτών είναι η παρουσία των αιθέριων ελαίων που τους προσδίδουν πολλές δράσεις. Τα αιθέρια έλαια (essential oils) είναι εξαιρετικά συμπυκνωμένες, πτητικές, υδρόφοβες ενώσεις, οι οποίες βρίσκονται στα αρωματικά φυτά και μπαχαρικά και είναι εκείνες που χαρίζουν τις αρωματικές και θεραπευτικές ιδιότητες στα φυτά. Μέχρι σήμερα έχουν ταυτοποιηθεί 2.000 διαφορετικά φυτά που τις παράγουν. Είναι υπεύθυνες για το άρωμα και την γεύση και μπορούν να παραληφθούν από διάφορα μέρη των φυτών όπως τα άνθη, τα μπουμπούκια, τα φύλλα, τα κλαδιά, το φλοιό, τους καρπούς και τις ρίζες, με το μεγαλύτερο περιεχόμενο σε αιθέρια έλαια να περιέχεται στα άνθη και τα φύλλα και το μικρότερο στους βλαστούς. Τα αιθέρια έλαια αποτελούνται από περισσότερα από 70 συστατικά, μερικά από τα οποία μπορεί να αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 85% της συνολικής περιεκτικότητας, ενώ άλλα μπορεί να υπάρχουν μόνο σε ίχνη. Ωστόσο, ο ρόλος που διαδραματίζουν αυτές οι δευτερεύουσες ενώσεις είναι πολύ σημαντικός, καθώς αποδεικνύεται ότι μπορεί να συμβάλλουν σημαντικά στις λειτουργικές ιδιότητες των αιθέριων ελαίων. Τα αιθέρια έλαια αποτελούνται από τερπένια, μονοτερπένια και σεσκιτερπένια (όπως υδρογονάνθρακες, αλκοόλες, κετόνες κ.λπ., τα οποία μπορεί να είναι άκυκλα, μονοκυκλικά, δικυκλικά, τρικυκλικά). Τα αιθέρια έλαια και τα συστατικά τους διαθέτουν πολλαπλές λειτουργικές ιδιότητες, συμπεριλαμβανομένων αντιοξειδωτικών, αντιβακτηριδιακών, αντιφλεγμονωδών, αντικών και αντικαρκινικών δράσεων (El-Zaeddi et al., 2016).

Οι περισσότερες από τις θετικές επιδράσεις των αρωματικών φυτών και των μπαχαρικών στην υγεία, για την πρόληψη ή τη βελτίωση χρόνιων ασθενειών όπως ο καρκίνος, οι καρδιαγγειακές παθήσεις, η αρθρίτιδα και ο νευροεκφυλισμός φαίνεται να προκαλούνται μέσω της άμεσης δράσης των φυτοχημικών τους, ιδιαίτερα πολυφαινολών ή προϊόντων διάσπασης πολυφαινολών. Αυτά στοχεύουν σε συγκεκριμένους υποδοχείς ή ένζυμα που εμπλέκονται σε διάφορες αντιφλεγμονώδεις οδούς ή ανοσοαποκρίσεις. Τα φυτικά αυτά προϊόντα, ειδικά στην αποξηραμένη μορφή τους, περιέχουν υψηλά επίπεδα πολυφαινολών και άλλων φυσιολογικά ενεργών φυτοχημικών.

Τα αρωματικά φυτά και τα μπαχαρικά που αναγνωρίζονται πιο συχνά ως αντιφλεγμονώδη, είναι το θυμάρι, η ρίγανη, το δεντρολίβανο, το φασκόμηλο, ο βασιλικός, η μέντα, ο κουρκουμάς, ο άνηθος, ο μαϊντανός, η κανέλα, το γαρύφαλλο, το μοσχοκάρυδο, το λεμονόχορτο, το τζίντζερ, η πιπεριά τσίλι, η μέντα και η πιπεριά. Πολλές από τις αντιφλεγμονώδεις ενώσεις που βρίσκονται σε αρωματικά φυτά και μπαχαρικά, όπως η κουρκουμίνη, η τζιντζερόλη και η καψαϊκίνη, φαίνεται να λειτουργούν αναστέλλοντας ένα ή περισσότερα από τα στάδια που συνδέουν τα προφλεγμονώδη ερεθίσματα με την ενεργοποίηση της κυκλοοξυγενάσης (COX).

Οι πιο βασικές βιομηχανίες στις οποίες χρησιμοποιούνται τα αρωματικά φυτά και παράγωγά τους περιλαμβάνουν την βιομηχανία τροφίμων, την φαρμακοβιομηχανία, τα καλλυντικά και την αρωματοποιία. Συγκεκριμένα, στην βιομηχανία τροφίμων, τα συχνότερα χρησιμοποιούμενα αρωματικά φυτά είναι το τσάι του βουνού, το φασκόμηλο και το χαμομήλι. Άλλα, όπως η ρίγανη, το δεντρολίβανο, ο βασιλικός και ο δυόσμος χρησιμοποιούνται ως ενισχυτικά γεύσης και αρώματος στη βιομηχανία τροφίμων. Διαθέτουν αντιμικροβιακές ιδιότητες δρώντας ως φυσικά συντηρητικά και καθυστερώντας την οξειδωτική τάγγιση. Επιπλέον διαθέτουν ορισμένες φυτικές χρωστικές ουσίες που αξιοποιούνται για τον χρωματισμό των τροφίμων. Τέτοιες ουσίες είναι η κουρκουμίνη, οι ριβοφλαβίνες, η χλωροφύλλη και άλλες, οι οποίες προσδίδουν στα τρόφιμα το επιθυμητό χρώμα χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση χημικών ουσιών. Τέλος τα αρωματικά φυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως λειτουργικά συστατικά, λόγω του υψηλού περιεχομένου τους σε βιοδραστικές ενώσεις, όπως τα καροτενοειδή, οι πολυφαινόλες, κ.ά. (Christaki et al., 2020).



Εικόνα 1.8 Ιδιότητες και χρήσεις των αρωματικών φυτών (Christaki et al., 2020)

Πίνακας 1.1 Αρωματικά φυτά και μπαχαρικά και οι ευεργετικές τους δράσεις

Αρωματικά φυτά/ Μπαχαρικά	Δραστικές ουσίες	Οφέλη για την υγεία	Βιβλιογραφικές αναφορές
Πιπέρι	Πιπερίνη	Μείωση της αντίστασης στην ινσουλίνη, αντιφλεγμονώδη δράση, βελτίωση της ηπατικής στεάτωσης.	Takooree et al., 2019
Κουρκούμη	Κουρκουμίνη	Αντιμικροβιακή, αντική, αντιοξειδωτική, αντιφλεγμονώδη δράση	Sharifi et al., 2020
Τζίντζερ	Τζιντζερόλη	Καρδιαγγειακή προστασία, αντιδιαβητική δράση, προστασία	Mao et al., 2019

		του αναπνευστικού	
Σκόνη μουστάρδας	Φαινόλες, φλαβονοειδή, καροτενοειδή	Μείωση των επιπέδων σακχάρου στο αίμα, προστασία από ορισμένους τύπους καρκίνου	Nawaz et al., 2018
Σκόρδο	Αλλισίνη	Μείωση της αρτηριακής πίεσης, καταστολή της φλεγμονής, υποστήριξη λειτουργίας του ανοσοποιητικού	Zhang et al., 2020
Βανίλια	Βανιλίνη	Αντιοξειδωτική, αντιφλεγμονώδη δράση, βελτίωση υγείας εγκεφάλου	Vijayalakshmi et al., 2019
Ρίγανη	Καρβακρόλη	Αντιβακτηριδιακή, αναλγητική δράση, βελτίωση υγείας εντέρου	Coccimiglio et al., 2016
Φύλλα δάφνης	Ευκαλυπτόλη, μεθυλευγενόλη	Μείωση υπεργλυκαιμίας και γλυκόζης στο αίμα	Fidan et al., 2019
Δενδρολίβανο	Ροσμαρινικό οξύ, καρνοσικό οξύ	Αναλγητική δράση, βελτίωση λειτουργίας εγκεφάλου	Rahbardar and Hosseinzadeh, 2020
Ύσσωπος	Λουτεολίνη, απιγενίνη	Βελτίωση πεπτικών, εντερικών και ηπατικών προβλημάτων	Tahir et al., 2018
Μάραθος	Ανηθόλη	Αντιφλεγμονώδη δράση, βελτίωση συμπτωμάτων αναιμίας	Alam et al., 2019

1.4 Βασικές ενώσεις των αρωματικών φυτών και μπαχαρικών

Οι φαρμακευτικές και θεραπευτικές ιδιότητες των μπαχαρικών και των αρωματικών φυτών οφείλονται στον πλούτο τους σε δευτερογενείς μεταβολίτες που ονομάζονται ενεργά συστατικά και δρουν απευθείας στο σώμα. Πρόκειται για ουσίες που δεν συμμετέχουν στην φωτοσυνθετική ή μεταβολική διαδικασία, αλλά αποτελούν βασικά συστατικά των φυτών. Προστατεύουν τα φυτά από την ηλιακή ακτινοβολία, τους παθογόνους μικροοργανισμούς και παράλληλα ενισχύουν διάφορες ιδιότητες όπως το χρώμα και την γεύση. Τα βιοδραστικά συστατικά τους δεν αποτελούν μεμονωμένες ενώσεις αλλά μίγματα ουσιών. Στο ευρύ φάσμα χημικών ενώσεων που περιλαμβάνονται στα αρωματικά φυτά είναι οι υδρογονάνθρακες, οι εστέρες, τα τερπένια, οι λακτόνες, οι φαινόλες, οι αλδεΐδες, τα οξέα, οι αλκοόλες και οι κετόνες, με τις φαινολικές ενώσεις να αποτελούν την κύρια ομάδα των φυτοχημικών συστατικών (Manousi et al., 2019).

Οι πολυφαινόλες, τα τερπενοειδή και άλλα αλκαλοειδή που προέρχονται από τα μπαχαρικά (όπως τα καψαϊκίνοειδή) είναι γνωστό ότι διαθέτουν αντιβακτηριακές, αντικές και αντιμυκητιακές ιδιότητες. Αυτός είναι ένας λόγος για τον οποίο τα αρωματικά φυτά και τα

μπαχαρικά χρησιμοποιούνται τόσο συχνά ως συντηρητικά στα τρόφιμα. Οι αντιμικροβιακές ιδιότητες τους έχουν αποδοθεί στα πτητικά έλαια και ελαιορητίνες τους. Για παράδειγμα, συγκριτικές μελέτες που αφορούσαν το γαρίφαλο, την κανέλα, την ρίγανη, το δεντρολίβανο, το φασκόμηλο και το θυμάρι έδειξαν ότι το έλαιο θυμαριού ήταν ιδιαίτερα δραστικό κατά του *Aeromonas hydrophila* —ένα παθογόνο βακτήριο ευρέως διανεμημένο στο περιβάλλον, στα κατοικίδια ζώα και στα τρόφιμα. Ομοίως, τα αιθέρια έλαια που βρέθηκαν στο θυμάρι, τη ρίγανη, τη μέντα, την κανέλα και το γαρύφαλλο βρέθηκαν να διαθέτουν ισχυρές αντιβακτηριακές ιδιότητες έναντι πολλών βακτηρίων και μυκήτων που μεταδίδονται από τα τρόφιμα.

Επίσης, πολλές από τις ουσίες που συμβάλλουν στη σύνθεση των αρωματικών φυτών και των μπαχαρικών είναι οι πρωτεΐνες, οι φυτικές ίνες, τα σάκχαρα, τα μέταλλα, οι χρωστικές ουσίες μαζί με τις βιοδραστικές ενώσεις, δηλαδή φαινολικά οξέα, φλαβονοειδή, στερόλες και κουμαρίνες. Πολλές από τις λειτουργικές ιδιότητες που παρουσιάζουν, σχετίζονται με την παρουσία, τον τύπο και τη συγκέντρωση φαινολικών ενώσεων, αν και η ακριβής σύνθεση τους εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το μέρος του φυτού που χρησιμοποιείται, την βλαστική του κατάσταση, τις περιβαλλοντικές συνθήκες, την τεχνική συγκομιδής κ.α..

Συγκεκριμένα για τις βιοδραστικές ενώσεις των αρωματικών φυτών και των μπαχαρικών:

Φαινολικά συστατικά

Φαινόλες χαρακτηρίζονται οι χημικές ενώσεις που αποτελούνται από έναν τουλάχιστον αρωματικό δακτύλιο, ο οποίος μπορεί να διαθέτει έναν ή περισσότερους υδροξυλικούς υποκαταστάτες -OH. Μέσω των αντιδράσεων συμπύκνωσης, προσθήκης, πολυμερισμού του βασικού αρωματικού δακτυλίου, προκύπτει ένας μεγάλος αριθμός παραγώγων. Τα φαινολικά συστατικά μπορούν να διαχωριστούν σε μικρότερες ομάδες, τις πολυφαινόλες που μπορούν να χωριστούν περαιτέρω σε άλλες ενώσεις, τις φλαβόνες, φλαβανόλες, ισοφλαβόνες, ανθοκυανίνες, τα φαινολικά οξέα, και σε άλλες ενώσεις όπως τις λιγνάνες και τα στυλβένια (Christaki et al., 2020).

Φλαβονοειδή

Αποτελούν μόρια χαμηλού μοριακού βάρους που σχηματίζουν ένα ανθρακικό σκελετό 15 ατόμων άνθρακα που διατάσσονται σε δύο αρωματικούς δακτυλίους (A και B) και ενώνονται με μια γέφυρα τριών ανθράκων. Τα φλαβονοειδή χαρακτηρίζονται ως πολυφαινολικές ενώσεις που αποτελούνται από διάφορες κατηγορίες όπως φλαβονόλες, φλαβανόνες, φλαβανόλες, φλαβόνες και κατεχίνες, ανάλογα με την παρουσία ή μη ορισμένων ομάδων στη βασική δομή τους. Επίσης διακρίνονται και

στις ανθοκυανίνες και τα ισοφλαβονοειδή που παρουσιάζουν διαφορετικές αντιοξειδωτικές, αντιβακτηριακές, αντιφλεγμονώδεις, αντιακές και αντικαρκινικές δράσεις (Campos et al.,2018).

Ταννίνες

Οι ταννίνες είναι ενώσεις μέσου ως υψηλού μοριακού βάρους με βασικό χαρακτηριστικό ότι αποτελούν oligo- και πολυμερή των πολυφαινολών. Μπορούν να διακριθούν σε υδρολυμένες και συμπυκνωμένες. Στο μόριο τους φέρουν πολλές υδροξυλικές ομάδες και έτσι καθίσταται δυνατός ο σχηματισμός αδιάλυτων συμπλόκων με πολυσακχαρίτες και πρωτεΐνες. Οι υδρολυόμενες και συμπυκνωμένες ταννίνες είναι οι δύο κύριες οικογένειες. Χαρακτηριστικό των υδρολυομένων ταννινών είναι ο γλυκοζιτικός δεσμός που σχηματίζουν με το μόριο σακχάρου (γλυκόζη) ή πολυσακχαρίτη όπου τα περισσότερα υδροξύλια βρίσκονται εστεροποιημένα με φαινολικά οξέα όπως το γαλλικό και ελλαγικό οξύ. Αντίθετα οι συμπυκνωμένες ταννίνες αποτελούν μια ομάδα oligομερών ή πολυμερών όπου τα μόρια των φλαβονοειδών ενώνονται με δεσμό άνθρακα-άνθρακα και είναι γνωστές και ως προανθοκυανίνες. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η ικανότητα καθυστέρησης στην απορρόφηση των υδατανθράκων και των λιπών με αποτέλεσμα την μείωση των επιπέδων LDL λιποπρωτεϊνών (Soares et al.,2020).

Φαινολικά οξέα

Μία από τις κύριες ενώσεις που ευθύνονται για τις περισσότερες από τις λειτουργικές ιδιότητες πολλών τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων των αρωματικών φυτών και των μπαχαρικών, είναι τα φαινολικά οξέα σε οποιαδήποτε από τις μορφές τους, που υπάρχουν στους εδάδιμους φυτικούς ιστούς. Διαθέτουν τουλάχιστον έναν αρωματικό δακτύλιο, όπου ένα άτομο υδρογόνου αντικαθίσταται από μια υδροξυλομάδα. Διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τα υδροξυβενζοϊκά και υδροξυκινναμικά οξέα. Τα τελευταία βρίσκονται σε μεγαλύτερη αφθονία στα φυτά (Pinto et al., 2021). Οι δομές των φαινολικών οξέων είναι ποικίλες. Τα υδροξυβενζοϊκά οξέα βασίζονται σε έναν σκελετό C6-C1, ενώ τα κινναμωμικά οξέα είναι μια σειρά από τρανς-φαινυλ-3-προπενοϊκά οξέα με δομές C6-C3 που διαφέρουν ως προς την υποκατάσταση του δακτυλίου τους. Πρόκειται για αρωματικές ενώσεις που διαθέτουν μια πλευρική ομάδα τριών ατόμων άνθρακα με κυριότερα το φεουλικό οξύ, το καφεϊκό οξύ, το π-κουμαρικό οξύ και το σιναπικό οξύ. Αντίστοιχα τα υδροβενζοϊκά εντοπίζονται κυρίως με την μορφή γλυκοζιτών ή ως εστέρες του τρυγικού, σικιμικού και κινναμικού οξέος με κυριότερες μορφές το π-υδροξυβενζοϊκό, το βανιλλικό και το πρωκατεχικό οξύ (Pinto et al., 2021).

Τερπένια

Τα τερπένια και τα τερπενοειδή (οξυγονωμένη μορφή) αποτελούν μια κατηγορία φυσικών προϊόντων που διαθέτουν μια ή περισσότερες μονάδες ισοπρενίου που συνδέονται μεταξύ τους με πολλούς συνδυασμούς. Ταξινομούνται σε μονοτερπένια (10 άτομα C), σεσκιτερπένια (15 άτομα C), διτερπένια (20 άτομα, C), τριτερπένια (30 άτομα C), τετρατερπένιο (40 άτομα C). Ωστόσο λόγω των χημικών ενώσεων που είναι ευρέως καταναμημένες στα φυτά διακρίνονται κυρίως σε δύο μεγάλες ομάδες, τα μονοτερπένια και τα σεσκιτερπένια. Πιο συγκεκριμένα, τα μονοτερπένια αποτελούν μια σημαντική ομάδα φυτικών συστατικών με κοινή βιοσυνθετική προέλευση, καθώς αποτελούν το θεμελιώδες συστατικό των αιθέριων ελαίων στα μπαχαρικά. Τα μονοτερπένια που έχουν διερευνηθεί περισσότερο είναι η ευγενόλη, η καρβακρόλη, η γ-τερπινένιο, η θυμόλη και το λιμονένιο, ειδικά όσον αφορά την αντικαρκινική τους δράση, τις αντιοξειδωτικές ιδιότητες και τη συμβολή τους στη μείωση της LDL- χοληστερόλης.

Κουμαρίνες

Οι κουμαρίνες αντιπροσωπεύουν μια σημαντική οικογένεια φυσικών ενώσεων βενζοπυρόνης, οι οποίες αποτελούνται όλες από έναν δακτύλιο βενζολίου που συνδέεται με τον δακτύλιο πυρόνης. Στη φύση, η κουμαρίνη και τα παράγωγά της μπορούν να βρεθούν σε ελεύθερη μορφή ή συζευγμένα με άλλα μόρια ως γλυκοσίδες (Molnar et al., 2020). Οι περισσότερες από τις συγκεκριμένες ενώσεις απομονώνονται από τα φυτικά υλικά τα οποία περιέχουν χλωροφύλλη. Οι φυσικές κουμαρίνες μπορούν να χωριστούν σε έξι βασικές ομάδες ως εξής: απλές κουμαρίνες, φουρανοκουμαρίνες, πυρανοκουμαρίνες, δισουμαρίνες, βενζοκουμαρίνες και κουμεστάνες (Molnar et al., 2020). Οι κουμαρίνες θεωρούνται δευτερεύοντες φυτικοί μεταβολίτες που προστατεύουν το φυτό από μολύνσεις, με σημαντικό ρόλο στη φυσιολογία των φυτών, καθώς δρουν ως αντιοξειδωτικά, αναστολείς ενζύμων και πρόδρομοι τοξικών ουσιών. Συγκεκριμένα, αυτές οι ενώσεις εμπλέκονται στη δραστηριότητα των φυτικών αυξητικών ορμονών και ρυθμιστών ανάπτυξης, στον έλεγχο της αναπνοής και στη φωτοσύνθεση. Κατανέμονται διαφορετικά σε όλα τα μέρη του φυτού και μπορούν να βρεθούν σε σπόρους, άνθη, φύλλα, ρίζες και μίσχους. Έχει παρατηρηθεί ότι μέρη του φυτού που περιέχουν τουλάχιστον ένα τμήμα κουμαρίνης διαθέτουν εξαιρετικές βιολογικές δράσεις, όπως αντιμικροβιακές, αντιμυκητιακές, αντιαρκινικές, αντιβακτηριακές, αγγειοδιασταλτικές, αναλγητικές και αντιφλεγμονώδεις (Pintos et al., 2021).

Λιγνάνες

Οι λιγνάνες ανήκουν στην ποικιλόμορφη ομάδα των φαινολικών ενώσεων. Αποτελούν μια μεγάλη ομάδα φυσικών ενώσεων που προέρχονται από την βιοσυνθετική οδό του σικιμικού οξέος. Ως φαινολικά διμερή, διαθέτουν δομή 2,3-διβενζυλβουτανίου και είναι γνωστό ότι υπάρχουν ως δευτερεύοντα συστατικά πολλών φυτών, όπου αποτελούν τα δομικά στοιχεία για το σχηματισμό λιγνίνης στο φυτικό κυτταρικό τοίχωμα. Οι ενώσεις αυτές εμφανίζονται κυρίως σε γλυκοσιδική μορφή. Η δομή τους προκύπτει από την σύζευξη δύο μονάδων φαινυλοπροπανίου και τα μονομερή που σχηματίζουν τις λιγνάνες είναι το κινναμικό, η κινναμυλική αλκοόλη, το προπενυλοβενζόλιο και το αλλυλοβενζόλιο. (Cui et al., 2020). Οι λιγνάνες είναι ευρέως διαδεδομένες στα φυτά και εντοπίζονται στις ρίζες, στο μίσχο στα φύλλα και στα άνθη. Συνήθως υπάρχουν ως διμερή αλλά μπορούν να υπάρξουν και ως τριμερή ή τετραμερή. Αποτελούν βιοδραστικές ενώσεις που βοηθούν σε διάφορες δομικές λειτουργίες των κυτταρικών μεμβρανών και παρουσιάζουν διάφορες βιολογικές ιδιότητες, συμπεριλαμβανομένων των αντιφλεγμονωδών, αντιοξειδωτικών και αντικαρκινικών δράσεων (Toledo et al., 2019).

Καροτενοειδή

Τα καροτενοειδή είναι χρωστικές τετρατερπενίου, οι οποίες εμφανίζουν κίτρινα, πορτοκαλί, κόκκινα και μοβ χρώματα. Τα καροτενοειδή είναι οι πιο ευρέως διαδεδομένες χρωστικές στη φύση και υπάρχουν σε φωτοσυνθετικά βακτήρια, ορισμένα είδη αρχαίων και μυκήτων, φύκια, φυτά και ζώα. Τα περισσότερα καροτενοειδή αποτελούνται από οκτώ μονάδες ισοπρενίου με σκελετό 40 ατόμων άνθρακα (Maoka, 2020). Οι γενικές δομές τους συνήθως αποτελούνται από μια αλυσίδα πολυενίου με εννέα συζευγμένους διπλούς δεσμούς και μια ακραία ομάδα στα δύο άκρα της αλυσίδας. Περισσότερες από 750 διαφορετικές δομές καροτενοειδών έχουν απομονωθεί μέχρι στιγμής από φυσικές πηγές (Rodríguez-Amaya, 2016). Με βάση τη δομή τους, τα καροτένια και οι ξανθοφύλλες είναι δύο κύριες υποκατηγορίες καροτενοειδών (Ngamwonglumlert et al., 2017). Διαφορετικές δομές καροτενοειδών έχουν φυσικά διαφορετικές φυσικές, χημικές και λειτουργικές ιδιότητες καθώς και σταθερότητες. Τα καροτενοειδή ως πολύχρωμες λιποδιαλυτές χρωστικές ουσίες, παρέχουν πρόσθετα οφέλη για την υγεία, καθώς παίζουν ουσιαστικό ρόλο ως πηγές προβιταμίνης Α και αντιοξειδωτικών. Με βάση τα διάφορα οφέλη τους, τα καροτενοειδή έχουν χρησιμοποιηθεί από καιρό από τις βιομηχανίες τροφίμων και φαρμάκων (Alcaíno et al., 2016). Επιπλέον, διάφορα καροτενοειδή χρησιμοποιούνται ως χρωστικές τροφίμων αντί των συνθετικών. Τα καροτενοειδή κατέχουν αρκετές ευεργετικές λειτουργίες. Οι ενώσεις μπορούν να βοηθήσουν,

για παράδειγμα, στο να προσελκύσουν επικονιαστές στα λουλούδια, να υποδεικνύουν την ωριμότητα των καρπών, να απορροφούν το ορατό φως στη φωτοσύνθεση και να προστατεύουν τις βλάβες των κυττάρων που προκαλούνται από το φως στις περιπτώσεις φωτοσυνθετικών βακτηρίων, φυκιών και πράσινων φυτών (Lerfall, 2016).

Πίνακας 1.2 Χημική σύνθεση των φαινολικών οξέων και φλαβονοειδών σε υδροαιθανολικά εκχυλίσματα ($\text{mg} \times 100 \text{ g}^{-1}$) (Kosakowska et al., 2021)

Χημική ένωση	Ελληνική Ρίγανη	Κοινή Ρίγανη
Φαινολικά οξέα		
Πρωτοκατεχουϊκό οξύ	35.78 ± 0.24	99.66 ± 0.51
Καφεϊκό οξύ	98.55 ± 1.28	91.98 ± 0.72
Χλωρογενικό οξύ	56.81 ± 0.90	-
Ροσμαρινικό οξύ	10809.37 ± 552.32	8260.68 ± 69.61
Λιθοσπερμικό οξύ Β	7065.67 ± 39.94	-
Σύνολο	18066.18	8452.32
Φλαβονοειδή		
Λουτεολίνη	611.68 ± 1.88	862.16 ± 6.49
Απιγενίνη	81.73 ± 1.18	75.77 ± 0.40
Ναριγκενίνη	451.46 ± 5.27	1196.02 ± 8.14
Ισοβιτεξίνη	273.44 ± 1.89	-
Κατεχίνη	14.68 ± 1.07	10.08 ± 0.30
Επικατεχίνη	196.74 ± 0.31	51.47 ± 0.60
Σύνολο	1629.73	2195.5

Κεφάλαιο 2: Νοθεία Αρωματικών Φυτών και Μπαχαρικών

2.1 Γενικά για τη νοθεία των τροφίμων

Η νοθεία των τροφίμων αποτελεί ένα παγκόσμιο φαινόμενο, που αφορά τόσο τη βιομηχανία τροφίμων όσο και τους καταναλωτές. Σύμφωνα με την εθνική νομοθεσία (Ν. 4235/2014), νοθευμένα τρόφιμα ορίζονται ως «εκείνα στα οποία προστέθηκαν ύλες συνήθως ευτελέστερης αξίας για κερδοσκοπία ή για καλύτερη εμφάνιση των προϊόντων, στην οποία δεν ανταποκρίνονται πραγματικά» (ΕΦΕΤ, 2021). Αποτελεί μια πράξη σκόπιμης υποβάθμισης της ποιότητας των τροφίμων που προσφέρονται προς πώληση, με στόχο το οικονομικό όφελος.

Η απάτη στον τομέα των τροφίμων ήταν μια ανησυχία από την αρχή του ανθρώπινου πολιτισμού, καθώς όχι μόνο μειώνει την ποιότητα των προϊόντων διατροφής αλλά έχει ως αποτέλεσμα μια σειρά από αρνητικές επιπτώσεις για την υγεία. Τα προϊόντα διατροφής ήταν πάντα εύαλτα σε δόλια πρόσμιξη ή νοθεία με φθηνότερα και κατώτερα υλικά. Η αλλοίωση των τροφίμων συμβαίνει κυρίως κατά τον χειρισμό από τους πρωτογενείς παραγωγούς στους καταναλωτές (Choudhary et al., 2020). Οι βασικοί λόγοι για τη νόθευση των τροφίμων από παραγωγούς, μεταποιητές και εμπόρους λιανικής είναι τόσο η ενίσχυση του εισοδήματός και η αύξηση του όγκου τους, όσο και η έλλειψη αξιολόγησης της ποιότητας των ύποπτων προϊόντων (Asrat and Zelalem, 2014).

Ακόμη κι αν η απάτη στα τρόφιμα δεν είναι ένα νέο φαινόμενο, η αυθεντικότητα των τροφίμων και η ειλικρίνεια των ετικετών των τροφίμων είναι επί του παρόντος σημαντικές ανησυχίες για πολλούς, συμπεριλαμβανομένων των μελετητών, των καταναλωτών, των ρυθμιστικών αρχών και της βιομηχανίας τροφίμων σε όλα τα επίπεδα της διατροφικής συνέχειας. Η απάτη στα τρόφιμα χρονολογείται από την Ελληνική και τη Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία, αλλά η πρόσβαση στην τεχνολογία, τα τελευταία χρόνια, επέτρεψε στους ανθρώπους να αναγνωρίσουν τις αποτυχίες διανομής των τροφίμων (Charlebois & Haratifar, 2015). Ένα αυθεντικό τελικό προϊόν διατροφής πρέπει να συμμορφώνεται με τους κανονισμούς επισήμανσης, κυρίως όσον αφορά τη σύνθεση των συστατικών, τα πρωτόκολλα και τις πρακτικές παραγωγής, την τεχνολογία και τη γενετική ταυτότητα.

Η αυξανόμενη ζήτηση για τα τρόφιμα και η παγκοσμιοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού οδήγησαν σε αύξηση της απάτης στον τομέα των τροφίμων και σε πρόσφατες υψηλού προφίλ υποθέσεις. Μία από αυτές, αποτελεί η προσθήκη μελαμίνης στις σκόνες βρεφικού γάλακτος από κινέζικες εταιρείες το 2008, γεγονός που οδήγησε στην ασθένεια αλλά και στον θάνατο πολλών

βρεφών (WHO, 2009). Άλλη περίπτωση νοθείας, αποτελεί το σκάνδαλο με το κρέας αλόγου στην Ε.Ε. το 2013, που είχε ως αποτέλεσμα να μειωθούν οι πωλήσεις επεξεργασμένου κρέατος και προϊόντων του, και παράλληλα επηρέασε την εμπιστοσύνη των καταναλωτών προς τις επιχειρήσεις τροφίμων και τις σχετικές αρμόδιες αρχές (Barnett et al., 2016). Τα γεγονότα αυτά, τόνισαν την ευπάθεια του συστήματος προμήθειας τροφίμων στη νοθεία και την απάτη γνησιότητας.

Πιο συγκεκριμένα, η νοθεία επιτυγχάνεται μέσω χημικών ουσιών που προστίθενται σκόπιμα στα τρόφιμα, αντί για πιο ακριβές ουσίες, ώστε να αυξηθεί η ποσότητα του προϊόντος και να μειωθεί το κόστος παραγωγής ή για κάποιον άλλο παραπλανητικό ή κακόβουλο σκοπό (Anita and Neetu, 2013). Καθώς η χρήση νοθευτών στα τρόφιμα έχει αυξηθεί δραματικά τα τελευταία χρόνια, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον μεταξύ των καταναλωτών για την ασφάλεια και την ιχνηλασιμότητα των προϊόντων διατροφής. Η ευαισθητοποίηση των καταναλωτών παίζει σημαντικό ρόλο στην πρόληψη της νοθείας τροφίμων.

Η απάτη, ενδέχεται, να εγκυμονεί κινδύνους για τη δημόσια υγεία όταν οδηγεί σε μη ασφαλή τρόφιμα. Σε κάθε περίπτωση, όμως, επιφέρει οικονομικές απώλειες, τόσο για τους καταναλωτές, όσο και τις επιχειρήσεις. Η απάτη κλονίζει την εμπιστοσύνη των καταναλωτών, απειλεί την εύρυθμη λειτουργία της αγοράς και έχει σοβαρές επιπτώσεις στο νόμιμο εμπόριο και τις νόμιμα λειτουργούσες επιχειρήσεις. Καθώς ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς, τα τρόφιμα συχνά νοθεύονται για να καλύψουν τις ανάγκες αυτού του αυξανόμενου πληθυσμού μεγάλης κλίμακας.

Η σκόπιμη νόθευση αποτελεί την εσκεμμένη απάτη στα τρόφιμα. Πρόκειται κυρίως για την συμπερίληψη κατώτερων ουσιών που έχουν ιδιότητες παρόμοιες με τις ήδη προϋπάρχουσες ουσίες του εκάστοτε τροφίμου και έτσι είναι δύσκολο να εντοπιστούν. Οι ουσίες αυτές μπορεί να είναι φυσικής ή βιολογικής φύσης. Παραδείγματα σκόπιμης νοθείας αποτελούν η προσθήκη νερού στο γάλα, ξένης ουσίας σε αλεσμένα μπαχαρικά και η αφαίρεση ή αντικατάσταση στερεών του γάλακτος από το φυσικό προϊόν. Αποτελεί την πιο επικίνδυνη μορφή νοθείας λόγω των ποσοτήτων των θρεπτικών συστατικών που αφαιρούνται και των ξένων ουσιών που προστίθενται στα τρόφιμα (Banti, 2020).

Η νοθεία τροφίμων μπορεί επίσης να περιλαμβάνει διεργασίες που συγκαλύπτουν την πραγματική σύνθεση του προϊόντος ή του προσδίδουν χαρακτηριστικά που υποδηλώνουν ψευδώς επαρκή ποιότητα. Ωστόσο, δεν αφορά μόνο την αυθεντικότητα του προϊόντος, αλλά και την παραπλανητική ονομασία του, τις ψευδείς πληροφορίες σχετικά με τη σύνθεση του, την ημερομηνία παραγωγής και λήξης, τον τόπο παραγωγής του και οποιαδήποτε άλλη εσφαλμένη επισήμανση. Τα τρόφιμα νοθεύονται κυρίως για να μεγιστοποιήσουν το κέρδος, μειώνοντας το

κόστος παραγωγής, με στόχο την αύξηση της ανταγωνιστικότητας και την παραπλάνηση των καταναλωτών για την πραγματική ποιότητα του προϊόντος (Habza-Kowalska et al., 2019).

Οι ουσίες που προκαλούν τη νοθεία στα τρόφιμα μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες. Αρχικά, παρατηρούνται οι εκ προθέσεως νοθευτές, δηλαδή ουσίες που προστίθενται σκόπιμα σε τρόφιμα, όπως νερό, άμμο, πέτρες, σκόνη κιμωλίας, μάρμαρα, τάλκη. Επίσης, μπορεί να προκληθεί τυχαία νοθεία τροφίμων, αν υπάρχουν στα τρόφιμα περιττώματα τρωκτικών, προνύμφες ή υπολείμματα φυτοφαρμάκων, τα οποία βρίσκονται κατά λάθος στα τρόφιμα. Τέλος, υπάρχουν και οι μεταλλικοί νοθευτές, όπως μόλυβδος, αρσενικό ή λύματα από χημικές βιομηχανίες, που μπορούν να μολύνουν τα τρόφιμα (FSSAI, 2012).

Η απάτη τροφίμων προκύπτει από εσκεμμένη εγκληματική πρόθεση νοθείας ή παραποίησης τροφίμων, συστατικών ή συσκευασιών και υποκινείται από οικονομικό όφελος. Η εμφάνισή του φαινομένου αυτού, έχει εντοπιστεί σε διάφορες αλυσίδες εφοδιασμού εντός τοπικών, περιφερειακών και παγκόσμιων συστημάτων τροφίμων, συμπεριλαμβανομένης και της Ευρώπης. Τα περιστατικά διατροφικής απάτης επηρεάζουν αρνητικά την εμπιστοσύνη των καταναλωτών στη βιομηχανία τροφίμων και στους ρυθμιστικούς μηχανισμούς που έχουν σχεδιαστεί για την πρόληψη ή τον μετριασμό της απάτης στα τρόφιμα. Σύμφωνα με την Europol-Interpol (OPSON) το 2017, κατασχέθηκαν 9800 τόνοι, 26,4 εκατομμύρια λίτρα και 13 εκατομμύρια είδη παραποιημένων και δυνητικά επιβλαβών τροφίμων και ποτών από 21 κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Οι ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια και τον έλεγχο των τροφίμων έχουν εξασφαλίσει την ανάπτυξη διαφόρων τεχνικών όπως φυσικές, βιοχημικές/ανοσολογικές και μοριακές, για την ανίχνευση νοθείας στα τρόφιμα. Συγκεκριμένα, οι μοριακές μέθοδοι θεωρούνται προτιμότερες, όταν πρόκειται για την ανίχνευση βιολογικών νοθευτών στα τρόφιμα, ενώ οι αναλυτικές τεχνικές χρησιμοποιούνται περισσότερο στην περίπτωση των συνθετικών νοθευτών. Τα προϊόντα που είναι πιο ευαίσθητα στη νοθεία, είναι το κρέας και τα προϊόντα κρέατος, το γάλα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα, τα προϊόντα ζαχαροπλαστικής, τα ποτά (συμπεριλαμβανομένων των αλκοολούχων ποτών), τα μπαχαρικά, τα φρούτα, τα λαχανικά, καθώς και τα έλαια, το μέλι, ο καφές και το τσάι (Habza-Kowalska et al., 2019).

Ο αυξανόμενος αριθμός περιπτώσεων απάτης τροφίμων μπορεί να αποδοθεί εν μέρει στην αύξηση του παγκόσμιου εμπορίου και στις αναδυόμενες νέες αγορές καθώς και στη σταθερή αύξηση των τιμών των τροφίμων σε όλο τον κόσμο (DeKieffer, 2006, Holbrook, 2013). Οι μεταποιητές και οι διανομείς συχνά μπαίνουν στον πειρασμό να υποκαταστήσουν συστατικά ή προϊόντα για να καθορίσουν την κατάλληλη τιμή για μια στοχευμένη αγορά (Charlebois & Haratifar, 2015). Η έλλειψη πόρων, η δυνατότητα για μεγαλύτερα κέρδη και η ανεπαρκής

νομοθεσία έχουν ενθαρρύνει την εσφαλμένη επισήμανση, η οποία συχνά οδηγεί στην απάτη των καταναλωτών. Ορισμένες κατηγορίες τροφίμων έχουν επηρεαστεί περισσότερο από άλλες.

Συγκεκριμένα, το γάλα αποτελεί ένα από τα πιο συχνά νοθευμένα προϊόντα διατροφής. Τα κύρια είδη νοθείας, τα οποία έχουν καταγραφεί για το γάλα και τα προϊόντα του, είναι η ανάμιξη ενός είδους γάλακτος υψηλής αξίας με γάλα διαφορετικού είδους ή και χαμηλότερης αξίας, η αφαίρεση ή η υποκατάσταση ενός συστατικού υψηλής διατροφικής αξίας από το γάλα και τα προϊόντα του, όπως είναι το λίπος ή η κρέμα, η παραπλανητική επισήμανση στα γαλακτοκομικά προϊόντα και η προσθήκη διάφορων βλαβερών και μη εγκεκριμένων ουσιών, όπως η απορρυπαντική σκόνη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ανάμιξης διαφορετικών ειδών γάλακτος αποτελεί η ανάμιξη κατσικίσιου γάλακτος με αγελαδινό, καθώς το αγελαδινό γάλα διαθέτει παρόμοια εμφάνιση και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά με το κατσικίσιο, είναι φθηνότερο και η παραγωγή του είναι μεγαλύτερη (Pereira et al., 2020). Η νόθευση γάλακτος περιλαμβάνει επίσης την προσθήκη νερού στο γάλα και την αφαίρεση των ευεργετικών λιπαρών του, δηλαδή την εξαγωγή πολύτιμων συστατικών όπως το λίπος του γάλακτος που αφαιρείται ως κρέμα. Συχνά παρατηρείται η προσθήκη φθηνών ουσιών όπως το άμυλο και η ουρία για την αύξηση της αξίας των συνολικών στερεών σε ένα επίπεδο που είναι αποδεκτό από τους καταναλωτές (El-Ioly et al., 2013). Διάφορα συντηρητικά όπως μεθανάλη και ορισμένα αντιβιοτικά προστίθενται επίσης στο γάλα για να αυξηθεί η διάρκεια ζωής του, γεγονός που μειώνει αισθητά τη θρεπτική αξία του (Awan et al., 2014). Ορισμένες ουσίες που χρησιμοποιούνται για την νοθεία του γάλακτος είναι πολύ επιβλαβείς για να αγνοηθούν. Μερικές από αυτές είναι η ουρία, η φορμαλίνη, τα απορρυπαντικά, το θειικό αμμώνιο, το βορικό οξύ, η καυστική σόδα, το βενζοϊκό οξύ, το σαλικυλικό οξύ, το υπεροξειδίο του υδρογόνου, τα σάκχαρα και η μελαμίνη (Azad & Ahmed, 2016).

Επίσης, συχνά νοθευμένο προϊόν διατροφής αποτελεί ο χυμός. Η υψηλή οικονομική και θρεπτική αξία, η αυξανόμενη ζήτηση και ο μεγάλος όγκος της αγοράς των χυμών φρούτων, τους καθιστούν έναν αρκετά συχνό στόχο της νοθείας. Παρά τους κανονισμούς, αυτά τα προϊόντα υπόκεινται συχνά σε νοθεία στην αγορά, και συγκεκριμένα αποτέλεσαν ένα από τα επτά πιο κοινά τρόφιμα για νόθευση από το 1980 μέχρι το 2010. Μεταξύ των πιο συχνών νοθειών των χυμών, είναι η αραίωση με νερό, η προσθήκη τεχνητών γλυκαντικών ή λιγότερο ακριβοί χυμοί φρούτων (Fernández et al., 2022). Ο τελευταίος τρόπος είναι πολύ δημοφιλής λόγω της δύσκολης ανίχνευσης του. Η προσθήκη άλλων χυμών φρούτων και η μη ενημέρωση του καταναλωτή συνεπάγεται επιπλέον κίνδυνο αλλεργικών αντιδράσεων. Επομένως, πρόκειται για απάτη τροφίμων για οικονομικά οφέλη, η οποία θα μπορούσε επίσης να επηρεάσει την υγεία του καταναλωτή. Τα διάφορα είδη νοθείας που παρατηρούνται στους χυμούς φρούτων είναι η υποκατάσταση, η

διάλυση, η προσθήκη και η παραπλανητική επισήμανση. Τα είδη αυτά είναι δυνατό να εφαρμοστούν ξεχωριστά ή σε συνδυασμό, με αποτέλεσμα ο προσδιορισμός της νοθείας να καθίσταται δυσκολότερος. Οι χυμοί πορτοκαλιού, μήλου και ροδιού ανήκουν στα πιο συχνά είδη χυμών φρούτων που υπόκεινται σε νοθεία (Jandrić and Cannavan, 2018).

Το αλκοόλ είναι ένα από τα τέσσερα κορυφαία πιο συχνά αναφερόμενα προϊόντα απάτης τροφίμων μετά το κρέας, τα θαλασσινά και το γάλα (Bouzembrak et al., 2018; Rezazade, Summers & Lai Teik, 2022). Συγκεκριμένα, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας εκτιμά ότι παγκοσμίως από τα 6,2 λίτρα καθαρού αλκοόλ που καταναλώνονται ανά άτομο (15+ ετών), το 25% είναι μη καταγεγραμμένο αλκοόλ, δηλαδή αλκοόλ που δεν είναι εγγεγραμμένο στη νομοθεσία, και περιλαμβάνει σπιτικά, υποκατάστατα και παραποιημένα ποτά. Δεδομένου ότι η παραγωγή, διανομή και κατανάλωση μη καταγεγραμμένων αλκοολούχων ποτών δεν υπόκειται σε επίσημο ποιοτικό έλεγχο και ρύθμιση, ο κίνδυνος για ύπαρξη δυνητικά επικίνδυνων ουσιών, όπως μεθανόλη, ακεταλδεΐδη, αφλατοξίνες και βαρέα μέταλλα, μπορεί να είναι υψηλότερος από ότι στα καταγεγραμμένα αλκοολούχα ποτά (Okaru et al., 2019). Το κρασί και άλλα αλκοολούχα ποτά είναι επιρρεπή σε απάτη και νοθεία λόγω της πολύπλοκης φύσης τους, της υψηλής αξίας τους και των εκτεταμένων παγκόσμιων αλυσίδων εφοδιασμού τους. Εκτός από το κρασί, άλλα αλκοολούχα ποτά που είναι επιρρεπή στην νοθεία περιλαμβάνουν τη βότκα, το ρούμι και το ουίσκι. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι απάτης που διαπράττονται συνήθως με τα αλκοολούχα ποτά, όπως η αραιώση με νερό, η προσθήκη φυσικών ή τεχνητών συστατικών, η ανάμιξη ή η υποκατάσταση με κρασί χαμηλότερης ποιότητας και η εσφαλμένη επισήμανση. Για παράδειγμα, έχει παρατηρηθεί η παράνομη προσθήκη της διαιθυλενογλυκόλης στο κρασί για τη βελτίωση της γλυκύτητας, ενώ θεωρείται επιβλαβής για την υγεία των καταναλωτών (Lin et al., 2021). Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες μέθοδοι για την ανίχνευση της νοθείας στα αλκοολούχα ποτά, συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης σταθερών ισοτόπων, της χρωματογραφίας και του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (Lin et al., 2021).

Το κρέας και τα προϊόντα του, αποτελούν μία από τις σημαντικότερες κατηγορίες τροφίμων που υπόκεινται σε νοθεία. Η υψηλή ζήτηση προϊόντων κρέατος σε συνδυασμό με το αθέμιτο εμπόριο, καθιστούν τον κινδύνο ευάλωτο σε νοθεία. Βεβαίως, οι μορφολογικές ιδιότητες του ανέπαφου κρέατος δεν υπάρχουν στον κινδύνο και έτσι η μερική αντικατάσταση ενός τύπου κρέατος με ένα φθηνότερο εναλλακτικό είδος ή ιστούς μπορεί εύκολα να συγκαλυφθεί (Fengou et al., 2021). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι κατηγορίες τροφίμων με βάση το κρέας και τα πουλερικά ήταν μεταξύ των πέντε κορυφαίων κατηγοριών προϊόντων με τα περισσότερα αιτήματα σχετικά με την υποψία απάτης στο Σύστημα Διοικητικής Βοήθειας και Συνεργασίας (AAC) της ΕΕ για το 2019. Τα κυριότερα είδη νοθείας που παρατηρούνται στο κρέας και τα προϊόντα του είναι η παραπλανητική

επισήμανση, η υποκατάσταση κρέατος ενός είδους ζώου με φθηνότερο άλλου είδους και η προσθήκη μη εγκεκριμένων ουσιών. Διάφορες μέθοδοι έχουν διερευνηθεί για την πιστοποίηση της ταυτότητας του κρέατος αλλά και για την ανίχνευση νοθείας, όπως ηλεκτροφορητικές, ενζυμικές, χρωματογραφικές και φασματοσκοπικές μέθοδοι (Fengou et al.,2021).

Το εξαιρετικά παρθένο ελαιόλαδο ξεχωρίζει για την υψηλή του ποιότητα, διατροφική του αξία και ιδιαίτερα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά. Η χρήση του ως λειτουργικό τρόφιμο, σε συνδυασμό με τη μεγάλη ζήτηση και την περιορισμένη παραγωγή του, αποτελεί το μεγαλύτερο στόχο της νοθείας, σε σύγκριση με τους υπόλοιπους τύπους ελαιολάδου (Meenu et al., 2019). Συγκεκριμένα, το εξαιρετικά παρθένο ελαιόλαδο νοθεύεται συχνά με πυρηνέλαιο, ηλιέλαιο, κραμβέλαιο, φουντουκέλαιο, αραβοσιτέλαιο, καρυδέλαιο και σογιέλαιο. Τα είδη νοθείας που παρατηρούνται στα διάφορα περιστατικά είναι η υποκατάσταση, η προσθήκη ή διάλυση και η παραπλανητική επισήμανση. Πολλές τεχνικές, όπως η χρωματογραφία, η φασματοσκοπία, η διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (DSC), η ανάλυση DNA και η ψηφιακή απεικόνιση έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση της νοθείας στο ελαιόλαδο (Meenu et al., 2019).

Η νοθεία στα τρόφιμα αντιπροσωπεύει ένα οικονομικό και δυνητικό πρόβλημα ασφάλειας τροφίμων για τη βιομηχανία, τους καταναλωτές και τις κυβερνήσεις παγκοσμίως. Γενικά η εκτίμηση της συχνότητας της απάτης στα τρόφιμα ή του ακριβούς οικονομικού της αντίκτυπου μπορεί να είναι δύσκολη, επειδή η απάτη στα τρόφιμα έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να αποφεύγεται ο εντοπισμός της. Εκτιμήσεις ειδικών αναφέρουν ότι η απάτη στα τρόφιμα επηρεάζει το 1% της παγκόσμιας βιομηχανίας τροφίμων με κόστος περίπου 10-15 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως, αν και ορισμένες πιο πρόσφατες εκτιμήσεις, ανεβάζουν το κόστος έως και 40 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως (FDA, 2024). Συγκεκριμένα για το διάστημα 2015-2019, σημειώνεται ότι η απάτη της εσφαλμένης επισήμανσης αυξήθηκε από το 33,3% στο 47%, με βασικότερα τρόφιμα νοθείας τα ψάρια, τα λίπη, τα λάδια και το κρέας. Οι οικονομικές επιπτώσεις ενός σκανδάλου απάτης τροφίμων μπορεί να είναι επιζήμιες για μια εταιρεία αλλά και τη βιομηχανία τροφίμων, καθώς το κόστος ενός περιστατικού απάτης για μια εταιρεία μπορεί να είναι μεταξύ 2% και 15% των ετήσιων εσόδων της (Galvin-King et al., 2018).

Πίνακας 2.1 Τρόφιμα που νοθεύονται συχνά και το κύριο είδος νοθείας τους (FDA,2024).

Είδος τροφίμου	Είδος νοθείας
Μέλι και Σιρόπι Σφενδάμου	Ανάμιξη με φθηνότερα γλυκαντικά όπως σιρόπι καλαμποκιού, σιρόπι ρυζιού, σιρόπια ζαχαρότευτλων ή ζάχαρη από ζαχαροκάλαμο.
Ελαιόλαδο	Αραίωση του πιο ακριβού εξαιρετικού παρθένου ελαιόλαδου με φθηνότερο φυτικό λάδι.

Θαλασσινά	Αντικατάσταση ενός φθηνότερου είδους ψαριού με ένα πιο ακριβό ή προσθήκη πάγου για αύξηση βάρους.
Χυμοί	Ανάμιξη με φθηνότερα είδη χυμών ή χαμηλότερης ποιότητας χυμούς.
Μπαχαρικά	Προσθήκη ξένων ουσιών ή χρωστικών.

2.2 Νοθεία των αρωματικών φυτών και μπαχαρικών

Η νόθευση τροφίμων ορίζεται ως η διαδικασία κατά την οποία η αξία των τροφίμων μειώνεται είτε με την προσθήκη υλικού κατώτερης ποιότητας είτε με την εξαγωγή πολύτιμου συστατικού (Pal,2015). Σύμφωνα με το FSSAI (2012), η νοθεία τροφίμων αποτελεί συνήθως την προσθήκη ή αφαίρεση οποιασδήποτε ουσίας προς ή από τρόφιμο, έτσι ώστε να επηρεάζεται η φυσική σύνθεση και ποιότητα της τροφικής ουσίας. Τα προϊόντα τροφίμων πρέπει να είναι απαλλαγμένα από οποιαδήποτε δηλητηριώδη ουσία που μπορεί να είναι επιβλαβής για την ανθρώπινη υγεία.

Η νοθεία αποδίδεται κυρίως στην αυξημένη ζήτηση ή την έλλειψη εφοδιασμού των μπαχαρικών και των αρωματικών φυτών. Καθώς το εμπόριο των φυτικών αυτών προϊόντων έχει αυξηθεί εκθετικά παγκοσμίως, τα αρωματικά φυτά και τα μπαχαρικά έχουν γίνει επιρρεπή στη νόθευση, η οποία μπορεί να είναι σκόπιμη ή ακούσια. Η σκόπιμη νοθεία έχει συνήθως οικονομικά κίνητρα, με στόχο τη μεγιστοποίηση του κέρδους, ενώ η ακούσια νόθευση συχνά αποδίδεται στην ακατάλληλη συγκομιδή ή επεξεργασία του φυτικού υλικού και στην συλλογή/υποκατάσταση στενά συγγενών ειδών. Τα μπαχαρικά και τα αρωματικά φυτά, ως προϊόντα με υψηλές τιμές, έχουν συχνά υποστεί νοθεία με πολλούς τρόπους, γεγονός που υποβαθμίζει την ποιότητά τους, μειώνει την εμπιστοσύνη των καταναλωτών και δυνητικά έχει επιβλαβείς συνέπειες για την υγεία τους (Mohiuddin et al.,2019).

Λόγω της πολυπλοκότητας των αλυσίδων εφοδιασμού στις βιομηχανίες, αλλά και της αύξησης των θρυμματισμένων και αλεσμένων μπαχαρικών και αρωματικών φυτών, είναι πιθανή η οικονομικά υποκινούμενη νοθεία των προϊόντων αυτών. Συγκεκριμένα, τα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να περιλαμβάνουν την καλλιέργεια και συλλογή, την πρωτογενή και δευτερογενή μεταποίηση, τους τοπικούς εμπόρους, την εξαγωγή και εισαγωγή των προϊόντων, τη συσκευασία, τους πωλητές λιανικής ή χονδρικής και τέλος τους καταναλωτές. Σε οποιοδήποτε από τα στάδια αυτά, θα μπορούσαν να προκύψουν πολλές ευκαιρίες απάτης. Με τη νόθευση πολύτιμων καρυκευμάτων, όπως σαφράν, ρίγανη, βανίλια, κουρκουμάς και πάπρικα, μπορούν να αποκομιστούν σημαντικά χρηματικά ποσά σε βάρος του καταναλωτή και ενδεχομένως της φήμης των επιχειρήσεων τροφίμων (Haughey et al.,2018).

Τα μπαχαρικά και τα αρωματικά φυτά, συγκαταλέγονται στους πέντε πιο συχνά νοθευμένους τύπους τροφίμων, καθώς αποτελούν ακριβά προϊόντα που υπόκεινται σε επεξεργασία πριν από την πώληση τους, έχουν ευρεία χρήση και καταναλώνονται μαζί. Τα τελευταία 10 χρόνια, έχει παρατηρηθεί ότι τα μπαχαρικά κουρκουμάς, σκόνη τσίλι, σαφράν και πάπρικα έχουν τον υψηλότερο αριθμό καταγραφών απάτης (Mohiuddin et al., 2019). Τα νοθευμένα μπαχαρικά και αρωματικά φυτά δεν διαφέρουν πολύ στην εμφάνιση τους σε σύγκριση με μια παρτίδα ανόθευτων προϊόντων. Αυτό καθιστά δύσκολο για τους καταναλωτές να τα εντοπίσουν, ειδικά όταν πρόκειται για μπαχαρικά που πωλούνται μη συσκευασμένα, στα οποία η πιθανότητα νόθευσης είναι πολύ μεγαλύτερη και μπορεί να οδηγήσει σε διάφορα προβλήματα υγείας, που κυμαίνονται από διαρροϊκές ασθένειες έως διάφορες μορφές καρκίνου. Ωστόσο, στις περισσότερες βιομηχανίες τροφίμων χρησιμοποιείται εξελιγμένη τεχνολογία που μπορεί να συγκρίνει τα αρώματα και τις γεύσεις διαφόρων δειγμάτων, ώστε να ανιχνευθεί μία πιθανή νόθευση.

Το κίνητρο για την εσκεμμένη νόθευση των μπαχαρικών και των αρωματικών φυτών, είναι το οικονομικό κέρδος και περιλαμβάνει ορισμένες κοινές πρακτικές, σαν την αντικατάσταση ενός φυτικού υλικού από ένα εντελώς διαφορετικό φυτό, όπως η χρήση σπόρων παπάγιας (*Carica papaya*) αντί για σπόρους μαύρου πιπεριού (*Piper nigrum*), λόγω της παρόμοιας εξωτερικής τους εμφάνισης. Ένας άλλος τρόπος νοθείας συνίσταται στην προσθήκη ενός προϊόντος κατώτερου είδους που περιέχει λιγότερες από τις επιθυμητές δραστικές ουσίες ή ασθενέστερες αρωματικές ιδιότητες, αλλά είναι εμπορικά φθηνότερο από το κύριο συστατικό. Μπορεί να παρατηρηθεί αντικατάσταση του γνήσιου τμήματος ενός φυτού από άλλα μέρη του ίδιου φυτού που ενδέχεται να στερούνται ή να διαθέτουν λιγότερα βιοενεργά συστατικά, όπως η συμπερίληψη μίσχων γαρύφαλλου που περιέχουν λιγότερο αιθέριο έλαιο από τα μπουμπούκια. Επιπλέον, μέρη του ίδιου φυτού μπορούν να προστεθούν για να αυξηθεί το βάρος ή ο όγκος των μπαχαρικών, για παράδειγμα η προσθήκη μη μπαχαρικών φυτικών υλών όπως οι στήμονες και το κάρθυλο σε καθαρό σαφράν. Αυτός ο τύπος νοθείας είναι από τους πιο δύσκολους να εντοπιστούν. Συχνή είναι και η προσθήκη διαφόρων χημικών ουσιών στα μπαχαρικά και τα αρωματικά φυτά, τα οποία προσδίδουν τεχνητά αρώματα και γεύσεις. Άλλη πιθανή νοθεία των φυτικών αυτών προϊόντων, αποτελεί η συμπερίληψη ανόργανων ουσιών όπως κιμωλία ή ασβέστης και η χρήση μη επιτρεπόμενων χρωστικών, όπως οι χρωστικές Sudan I-IV (Mohiuddin et al., 2019). Τέλος, έχουν καταγραφεί περιστατικά παραπλανητικής επισήμανσης, η οποία αφορά την ψευδή επισήμανση των στοιχείων της γεωγραφικής και βοτανικής προέλευσης των μπαχαρικών και των αρωματικών φυτών, που έχει ως αποτέλεσμα την απόκρυψη των αληθινών ιδιοτήτων των προϊόντων και την εξαπάτηση των καταναλωτών.

Η αυθεντικότητα των προϊόντων διατροφής αποτελεί χαρακτηριστική ένδειξη της ποιότητας, της γνησιότητας και της προέλευσης τους. Διαβεβαιώνει τους αγοραστές, τους εμπόρους και τις χώρες εισαγωγής ότι το προϊόν είναι υψηλής αξίας. Τα αρωματικά φυτά και τα μπαχαρικά συνδέονται στενά με την γεωγραφική περιοχή στην οποία καλλιεργούνται, με διαφορές τόσο στην ποιότητα όσο και στην τιμή ανάλογα με την προέλευση τους. Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και η ποιότητα αυτών των προϊόντων εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως το ίδιο το φυτικό υλικό, το φυσικό περιβάλλον (κλίμα, έδαφος και νερό), οι καλλιεργητικές τεχνικές (άρδευση, λίπανση κ.λπ.) και η επεξεργασία ή διαδικασία μετασχηματισμού τους. Είναι επομένως πολύ σημαντικό να επαληθευτεί η προέλευση και η αυθεντικότητα αυτών των φυτικών προϊόντων, που παράγονται σε μια τοπική γεωγραφική περιοχή με τη χρήση παραδοσιακών μεθόδων παραγωγής και μεταποίησης, οι οποίες καταλήγουν σε ένα προϊόν διαφοροποιημένης ποιότητας.

Επί του παρόντος, στην Ευρωπαϊκή Ένωση, υπάρχει μεγάλη ποικιλία αγροδιατροφικών προϊόντων αναγνωρισμένης ποιότητας σε επίπεδο αγοράς και καταναλωτή. Τα προϊόντα αυτά με διαφοροποιημένη και υψηλή ποιότητα, κυρίως λόγω της προέλευσής τους, μπορεί να υποστούν σφετερισμό και απομίμηση. Τα συστήματα ποιότητας όπως η ΠΟΠ (Προστατευόμενη Ονομασία Προέλευσης) και η ΠΓΕ (Προστατευόμενη Γεωγραφική Ένδειξη), εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθιστούν δυνατή την προστασία των γεωργικών προϊόντων και των τροφίμων από κατάχρηση, απομίμηση ή υπαινιγμό και από οποιαδήποτε άλλη πρακτική που θα μπορούσε να παραπλανήσει τον καταναλωτή ως προς την πραγματική προέλευση του προϊόντος. Μεταξύ αυτών των προϊόντων διαφοροποιημένης ποιότητας, 19 είναι τα μπαχαρικά που είναι επί του παρόντος καταχωρισμένα στις Γεωγραφικές Ενδείξεις. Συγκεκριμένα, τα 13 είναι καταχωρισμένα στην ΠΟΠ Ευρωπαϊκή Ένωση, 2 στην ΠΓΕ Ευρωπαϊκή Ένωση και 4 στις χώρες εκτός ΕΕ ΠΓΕ. Τα περισσότερα από την ΠΟΠ Ευρωπαϊκή Ένωση είναι μπαχαρικά (κυρίως σαφράν και πάπρικα) των οποίων η ποιότητα και τα χαρακτηριστικά συνδέονται με το γεωγραφικό περιβάλλον, ενώ σε άλλες τρίτες χώρες, κυρίως ασιατικές χώρες, τα καταχωρισμένα στα συστήματα ποιότητας μπαχαρικά είναι το πιπέρι, το τζίντζερ και η κανέλα (Velázquez et al., 2023).

Κατά τη νοθεία των μπαχαρικών χρησιμοποιούνται διάφορες ουσίες, λόγω της χαμηλότερης τιμής τους από τις αρχικές, που όμως υποβαθμίζουν αισθητά την ποιότητα των προϊόντων. Κάποιες από αυτές είναι διάφορες χρωστικές, άμυλο καλαμποκιού, σιτάρι, ταπιόκα και ρύζι στον κουρκουμά, στο τσίλι και στο κάρυ σε σκόνη, τρίμμα σκόνης τούβλου και άμμος στη σκόνη τσίλι, και σκόνη κοπριάς και κοινό αλάτι στη σκόνη κόλιανδρου. Σύμφωνα με το Journal of Sustainable Development Research το 2019, παρατηρήθηκε σκόπιμη προσθήκη σκόνης από τούβλα και τεχνητών χρωμάτων σε ανάμεικτα μπαχαρικά, κουρκουμά, κύμινο και σκόνες τσίλι και σπόροι παπάγιας σε μύρο πιπέρι. Επίσης, στα μπαχαρικά ανιχνεύεται συχνά πριονίδι ή τεχνητές

χρωστικές ουσίες, όπως η χρωστική Metanil Yellow αλλά και μόλυβδος, συγκεκριμένα στη σκόνη κουρκουμά. Η σκόνη κόκκινου τσίλι συχνά αναμιγνύεται με σκόνη από τούβλα, ενώ στα φύλλα τσαγιού μπορεί να βρεθούν ήδη χρησιμοποιημένα φύλλα τσαγιού. Τα αλεσμένα μπαχαρικά μπορεί να νοθευτούν με τεχνητά χρώματα, άμυλο ή σκόνη κιμωλίας για να αυξήσουν το βάρος τους και να βελτιώσουν την εμφάνισή τους. Η κανέλα διατρέχει πολύ υψηλό κίνδυνο δόλιας νόθευσης, υποκατάστασης και αραίωσης λόγω της υψηλής της τιμής. Η κασσία, ένας χαμηλής ποιότητας φλοιός κανέλας, αρκετά τοξικός, που εισάγεται από την Κίνα, προστίθεται και αναμιγνύεται στον όγκο της κανέλας. Οι φλοιοί της κασσίας είναι πιο σκληροί και παχύτεροι και σπάνια αναδίδουν αρωματική μυρωδιά. Οι σπόροι Αργεμώνης είναι ο πιο κοινός νοθευτής για τους σπόρους μουστάρδας και το πριονίδι βρίσκεται συχνά στο κύμινο. Οι λοβοί πράσινου κάρδαμου είναι συχνά νοθευμένοι με «μεταχειρισμένους» λοβούς κάρδαμου, ή με αυτούς από τους οποίους έχουν ήδη εξαχθεί τα πτητικά έλαια.

Σε επίπεδο καταναλωτή, μπορεί να μην είναι εφικτός ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών, της γεύσης ή της υφής των αρωματικών φυτών και των μπαχαρικών και μπορεί ακόμη να είναι αδύνατο να εντοπιστούν κακές πρακτικές όταν αυτά συνθλίβονται και αναμειγνύονται μεταξύ τους. Κίνδυνοι για την υγεία μπορεί να προκύψουν ως αποτέλεσμα νοθείας, συμπεριλαμβανομένης της αντικατάστασης πολύτιμων συστατικών τροφίμων, καθώς και της προσθήκης λιγότερο θρεπτικών συστατικών. Η απειλή για το κοινό μπορεί να είναι άμεση, δηλαδή ο καταναλωτής τίθεται σε άμεσο κίνδυνο από μια βραχυπρόθεσμη έκθεση που οδηγεί σε οξεία τοξικότητα ή θνησιμότητα, ή έμμεση, καθώς ο καταναλωτής τίθεται σε κίνδυνο λόγω μακροχρόνιας έκθεσης με πιθανές χρόνιες επιπτώσεις, όπως γονιδιοτοξικότητα και καρκινογένεση. Μια σοβαρή απειλή θα μπορούσε να είναι μια αλλεργική αντίδραση από ένα αλλεργιογόνο συστατικό που δεν έχει δηλωθεί στην ετικέτα του τροφίμου. (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021)

Στον τομέα των αρωματικών φυτών και των μπαχαρικών, οι πιο κοινές μορφές νοθείας είναι:

- Η (μερική) υποκατάσταση ενός αρωματικού φυτού/μπαχαρικού από άλλο φυτικό προϊόν.
- Η αύξηση βάρους και όγκου με προσθήκη πληρωτικών, όπως άμυλο, αλεύρι, σκόνη, κιμωλία.
- Η ενίσχυση του χρώματος με τη χρήση μη εγκεκριμένων χρωστικών.
- Η εσφαλμένη επισήμανση της γεωγραφικής προέλευσης ή/και του είδους του προϊόντος.
- Ψευδής δήλωση τους ως βιολογικά προϊόντα.
- Η χρήση μη εγκεκριμένων ή μη δηλωμένων διεργασιών, όπως απολύμανση μέσω ακτινοβολήσης ή χρήσης απαγορευμένων χημικών ουσιών, όπως το οξείδιο του αιθυλενίου.

Πίνακας 2.2 Νοθεία μπαχαρικών και οι επιπτώσεις στην υγεία (Mohiuddin et al.,2019)

Τύπος μπαχαρικού	Ουσία που προκαλεί νοθεία	Επιπτώσεις στην υγεία
Μικτά μπαχαρικά	Χρωστικές ουσίες, χρώμιο, ταρτραζίνη και ερυθροσίνη	Καρκίνος στα νεφρά, στο ήπαρ, στο δέρμα, στον προστάτη και στους πνεύμονες
Μπαχαρικά σε σκόνη	Λιθανθρακόπισσα και βιομηχανικές βαφές	Καρκινογόνα
Τσίλι σε σκόνη	Σκόνη τούβλου	Αναπνευστικό πρόβλημα
	Κίτρινο και κόκκινο του Σουδάν	Όγκοι σε ήπαρ και ουροδόχο κύστη και καρκίνος
Κουρκουμάς σε σκόνη	Χρωστική Metanil Yellow	Καρκινογόνος
	Χρωμικός μόλυβδος (II) (PbCrO4)	νευροτοξικότητα, νεφροτοξικότητα, αναιμία, καρκινογένεση.
Πάπρικα, σκόνη τσίλι,πιπέρι	Χρωστική Sudan I, Para Red	Γονιδιοτοξικό, καρκινογόνο
Σπόροι μουστάρδας	Σπόροι Αργεμώνης	Εμετός, διάρροια, ναυτία, πρήξιμο των άκρων, ερύθημα, οίδημα, δύσπνοια
Μαύρο πιπέρι	Σπόροι παπάγιας, ληγμένο πράσινο και κόκκινο τσίλι	Προβλήματα στο ήπαρ και στο στομάχι, Αμβλώσεις
Κύμινο, πάπρικα	Πρωτεΐνη αμυγδάλου	Αναφυλαξία
Ρίγανη	Φύλλα ελιάς	Παρουσία φυτοφαρμάκων – Τοξικότητα, καρκινογένεση, μεταλλαξιογένεση
Κουρκούμη	Κίτρινη σκόνη κιμωλίας	Οίδημα προσώπου, απώλεια όρεξης, ναυτία και έμετος

2.3 Επιπτώσεις την νοθείας στην υγεία

Η νοθεία τροφίμων είναι μια διαδικασία κατά την οποία η ποιότητα των τροφίμων μειώνεται με την αντικατάσταση ενός συστατικού τροφίμου, την προσθήκη μη επικυρωμένων ουσιών ή την αφαίρεση ενός ζωτικού συστατικού από τα τρόφιμα, με στόχο το κέρδους. Η νοθεία τροφίμων εξαπατά τους καταναλωτές και εγκυμονεί διάφορους κινδύνους για την υγεία. Σήμερα, είναι πολύ δύσκολο να βρεθεί ένας κλάδος της βιομηχανίας τροφίμων που να είναι απαλλαγμένος από νοθεία. Εξαιτίας αυτού, είναι σημαντικό για τον καταναλωτή να γνωρίζει τους κοινούς νοθευτές και την επίδρασή τους στην υγεία, καθώς ο αυξανόμενος αριθμός παραγόμενων τροφίμων και η μεγάλη ποσότητα των εισαγωγών σε τρόφιμα, επιτρέπει στους παραγωγούς να παραπλανούν και να εξαπατούν τους καταναλωτές (Pal and Mahinder, 2020).

Η νόθευση των τροφίμων όχι μόνο αποτελεί σημαντικό οικονομικό πρόβλημα αλλά μπορεί επίσης να οδηγήσει σε σοβαρά προβλήματα υγείας για τους καταναλωτές. Η νόθευση τροφίμων είναι ευρέως διαδεδομένη σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες του κόσμου, όπως η Ινδία, η Αιθιοπία, το Μεξικό, το Πακιστάν, το Μπαγκλαντές, το Βιετνάμ, η Ινδονησία, το Αφγανιστάν, η Σομαλία και άλλες (Pal, 2015). Σε παγκόσμιο επίπεδο, περίπου το 57% των ανθρώπων έχουν αναπτύξει προβλήματα υγείας λόγω της κατάποσης νοθευμένων και μολυσμένων τροφίμων. Υπολογίζεται ότι περίπου το 22% των τροφίμων νοθεύονται κάθε χρόνο (Thangaraju et al., 2021).

Η νόθευση των τροφίμων περιλαμβάνει την προσθήκη επιβλαβών και περιττών ουσιών στα τρόφιμα που μειώνουν την ποιότητα τους. Τα προβλήματα που προκαλεί η νοθεία καθιστούν τα τρόφιμα που καταναλώνονται καθημερινά μη ασφαλή και ανθυγιεινά, λόγω κακού χειρισμού. Ανάλογα με το τι προστίθεται, υποκαθίσταται ή παραλείπεται, η απάτη στα τρόφιμα μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά προβλήματα υγείας, ακόμη και στον θάνατο. Μερικά παραδείγματα περιλαμβάνουν δηλητηρίαση από μόλυβδο σε νοθευμένα μπαχαρικά και αλλεργικές αντιδράσεις από ένα υποκατεστημένο συστατικό που περιέχει έστω και ένα τροφικό αλλεργιογόνο. Συγκεκριμένα, η περίπτωση της νοθείας με προσθήκη μελαμίνης στο γάλα οδήγησε σε περισσότερα από 300.000 άτομα να αρρωστήσουν (BCC, 2010), ενώ το σύνδρομο τοξικού ελαιολάδου που προέκυψε από την ανάμιξη ελαιολάδου με ανιλίνη, είχε ως συνέπεια να προκληθούν περίπου 300 θάνατοι και πολλά άτομα να αποκτήσουν χρόνιες ασθένειες (Gelri, 2002; FAO 2021).

Ισχύει ότι αφού η νοθεία μειώνει την ποιότητα των τροφίμων και προκαλεί κινδύνους για την υγεία, οι άνθρωποι είναι πολύ ευαίσθητοι σε αυτή και μερικές φορές εμφανίζουν άμεσες παρενέργειες, όπως διάρροια, δυσεντερία και εμετό. Γενικά, η κατανάλωση νοθευμένων τροφίμων μπορεί να οδηγήσει σε διάφορες ασθένειες όπως στομαχικές διαταραχές, καρδιακά πρόβλημα, εγκεφαλική βλάβη, παράλυση, αναιμία, ηπατική διαταραχή, δυσπεψία, ναυτία, εμετός, ίλιγγος, διάρροια, δυσεντερία, οξύτητα, έλκος, καρκίνος, δυσλειτουργία των νεφρών, πόνος στις αρθρώσεις, άσθμα, μεταβολικές δυσλειτουργίες, τροφική δηλητηρίαση, πρόβλημα όρασης και δερματικές διαταραχές (Pal and Mahinder, 2020).

Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση της νοθείας στα λίπη και έλαια, όταν προστίθενται σε αυτά λάδι αργεμώνης, μπορεί να προκληθούν διάφορες ασθένειες στην ανθρώπινη υγεία όπως επιδημική υδρωπικία, γλαύκωμα, τύφλωση ή καρδιοπνευμονική ανακοπή. Επίσης, τα υπολείμματα φυτοφαρμάκων, μια νόθευση που βρίσκεται στις περισσότερες από τις ποικιλίες προϊόντων διατροφής, προκαλεί διάφορες ασθένειες όπως οξεία ή χρόνια δηλητηρίαση με βλάβες στο νευρικό σύστημα και σε ζωτικά όργανα. Το ορυκτέλαιο, που παρατηρείται ως νοθευτής τόσο στο σε έλαια

όσο και στο μαύρο πιπέρι, μπορεί να οδηγήσει τόσο σε εμετό και διάρροια, όσο και σε σοβαρότερες ασθένειες όπως ο καρκίνος (Tomar and Alka, 2022).

Κατά την νόθευση του γάλακτος και των γαλακτοκομικών προϊόντων, η προσθήκη νερού αποτελεί τον πιο κοινό, φθηνότερο και ευκολότερο τρόπο νοθείας του γάλακτος. Συνήθως προστίθεται στο γάλα ώστε να αυξήσει την ποσότητα του, αλλά παράλληλα μειώνει την θρεπτική του αξία. Έτσι, εάν το νερό είναι μολυσμένο, υπάρχει κίνδυνος υδατογενών ασθενειών για τον άνθρωπο όπως διάρροια, αμοιβάδωση, σιγκέλλωση, χολέρα ή λαμβλίαση (Chavan et al., 2019). Η μελαμίνη, η οποία ανιχνεύεται τόσο στο γάλα όσο και στο γάλα σκόνης, αν και δεν είναι καρκινογόνος ουσία, μπορεί να οδηγήσει σε νεφρική ανεπάρκεια και βρεφικό θάνατο. Επίσης, η ουρία που προστίθεται στο γάλα για αύξηση της πρωτεΐνης του, σε μεγάλη περιεκτικότητα έχει επιβλαβείς επιπτώσεις στην καρδιά, το συκώτι και τα νεφρά και οδηγεί σε δυσμενή συμπτώματα όπως οξύτητα, δυσπεψία, έλκη και διάφορα είδη καρκίνου (Tomar and Alka, 2022).

Όσον αφορά τη νοθεία των μπαχαρικών, παρατηρείται ότι πολλές ουσίες που ανιχνεύονται σε αυτά, έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Στο μαύρο πιπέρι, ισχύει ότι συχνά προστίθενται σπόροι παπάγιας, οι οποίοι μπορεί να προκαλέσουν σοβαρά ηπατικά προβλήματα και στομαχικές διαταραχές. Στα πράσινα τσίλι και τα μιτζέλια, ως νοθευτής ανιχνεύεται το πράσινο του μαλαχίτη, που αποτελεί μία εξαιρετικά καρκινογόνο ουσία. Ο χρωμικός μόλυβδος που βρίσκεται στον κουρκουμά και σε ανάμεικτα μπαχαρικά σε σκόνη προκαλεί αναιμία και εγκεφαλική βλάβη. Επίσης, μια χρωστική ουσία, το Metanil yellow που βρίσκεται στον κουρκουμά, σε μπαχαρικά συλλογικής μορφής, στο σαφράν, σε όσπρια χωρίς φλοιό, στο ρύζι, ή ακόμα και σε ροφήματα προκαλεί όγκους και καρκίνο. Η κοπριά, που ενδέχεται να ανιχνευτεί σε φύλλα του κόλιανδρου, μπορεί να προκαλέσει τέτανο (Sasi Rekha and Paul 2018). Η σκόνη από τούβλα και το πριονίδι προκαλούν αναπνευστικά προβλήματα και οι βιομηχανικές χρωστικές ουσίες σε σκόνη μπαχαρικών είναι καρκινογόνες, καθώς μπορούν να προκαλέσουν καρκίνο μετά από μακροχρόνια έκθεση.

Πίνακας 2.3 Τρόφιμα που υπόκεινται σε νοθεία και οι αρνητικές επιπτώσεις τους στην υγεία (Tomar and Alka, 2022)

Είδος τροφίμου	Ουσίες που προκαλούν νοθεία	Επιπτώσεις στην υγεία
Γάλα	Νερό, άμυλο, ουρία,εξαγωγή λίπους	Διαταραχή του πεπτικού συστήματος
Ζάχαρη	Σκόνη κιμωλίας	Στομαχικές λοιμώξεις
Τσάι	Τεχνητές χρωστικές, προσθήκη σιδήρου	Διαταραχές του ήπατος, καρκίνος
Καφές σε μορφή	Σκόνη σπόρων ταμαρίνδου και	Διάρροια

σκόνης	χουρμά, πριονίδι	
Αλάτι	Λευκή σκόνη, πέτρες	Στομαχική διαταραχή
Σκόνη τσίλι	Τεχνητά χρώματα, σκόνη τούβλου, χρωστικές Sudan	Καρκίνος αίματος και πνεύμονα
Κουρκουμάς	χρωμικός μόλυβδος, πριονίδι, χρωστική Metanil Yellow	Καρκινογόνα
Μαύρο πιπέρι	Αποξηραμένοι σπόροι παπάγιας	Καρδιακή ανακοπή, επιβλαβής για την υγεία
Βούτυρο	Μαργαρίνη, άμυλο	Τροφική δηλητηρίαση
Μέλι	Σιρόπι φρουκτόζης/ζάχαρη από ζαχαροκάλαμο	Στομαχική διαταραχή
Θαλασσινά	Υδράργυρος, αρσενικό	Διαταραχή στομάχου και εγκεφάλου
Ρύζι, σιτάρι	Λάσπη, κομμάτια σαπουνόπετρας, άμμος	Καρκίνος, γενετικές μεταλλάξεις
Πράσινα τσίλι /μπιζέλια	Πράσινο του μαλαχίτη	Καρκίνος
Φυτικό λάδι	Ορυκτέλαιο Αργεμώνης	Καρδιοπάθειες, δερματικές μολύνσεις και καρκίνος
Παγωτό	Απορρυπαντική σκόνη	Δερματικές και πνευμονικές ασθένειες

2.4 Νομοθεσία για την νοθεία των μπαχαρικών και αρωματικών φυτών

Στον Γενικό Κανονισμό περί Τροφίμων (ΕΚ) 178/2002 (ΕΕ, 2002), περιγράφονται οι γενικές αρχές και απαιτήσεις της νομοθεσίας για τα τρόφιμα και οι διαδικασίες ασφάλειας των τροφίμων. Όσον αφορά το συμφέρον του καταναλωτή, ο νόμος για τα Γενικά Τρόφιμα στοχεύει στην πρόληψη «δόλιων ή παραπλανητικών πρακτικών, νοθείας τροφίμων και οποιασδήποτε άλλης πρακτικής που μπορεί να παραπλανήσει τον καταναλωτή». Συγκεκριμένα, η «Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων» (EFSA) ιδρύθηκε νόμιμα το 2002 βάσει του Γενικού Νόμου για τα Τρόφιμα, μετά από μια σειρά επισιτιστικών κρίσεων στα τέλη της δεκαετίας του 1990. Η EFSA παρέχει επιστημονικές συμβουλές και κοινοποιεί κινδύνους εντός της τροφικής αλυσίδας.

Πολλοί οργανισμοί έχουν εμπλακεί στην προστασία της βιομηχανίας αρωματικών φυτών και μπαχαρικών. Η «Ευρωπαϊκή Ένωση Μπαχαρικών» (ESA) είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός που αποτελείται από εθνικές ομοσπονδίες της βιομηχανίας μπαχαρικών από την ΕΕ, με στόχο να προστατεύσει τη βιομηχανία και τα μέλη της όσον αφορά την επεξεργασία, τη συσκευασία, τη διασφάλιση της ποιότητας, την ασφάλεια των τροφίμων και την εμπορία στη

βιομηχανία αρωματικών φυτών και μπαχαρικών. Επίσης, η «Αμερικανική Ένωση Εμπορίου Μπαχαρικών» (ASTA) λειτουργεί παρόμοια στις ΗΠΑ, για να εξασφαλίσει καθαρά και ασφαλή μπαχαρικά και να ενισχύσει τη βιομηχανία και τα επιχειρηματικά συμφέροντα των μελών της. Η «Ευρωπαϊκή Ένωση Μπαχαρικών» έχει ορίσει ένα μέγιστο επίπεδο 2% w/w ξένης ουσίας στα αρωματικά φυτά και 1% w/w μέγιστο επίπεδο στα μπαχαρικά, στο «Εγγραφο Ελάχιστης Ποιότητας» (ESA, 2015). Η «Αμερικανική Ένωση Εμπορίου Μπαχαρικών», έχει ορίσει ένα επίπεδο εξωγενούς ύλης στο 0,5-1% w/w (ASTA, 2011a). Μία από τις δυσκολίες για να διατηρηθεί η βιομηχανία των αρωματικών φυτών και μπαχαρικών απαλλαγμένη από απάτες, είναι το ζήτημα των μακρινών αλυσίδων εφοδιασμού της βιομηχανίας, οι οποίες μπορεί να περάσουν από πολλές χώρες (Galvin-King, 2020).

Η οικονομικά υποκινούμενη νοθεία, αποτελεί συνεχή απειλή στην αναπτυσσόμενη βιομηχανία αρωματικών φυτών και μπαχαρικών. Οι περιπτώσεις απάτης έχουν οικονομικό αντίκτυπο στον κλάδο, αλλά παράλληλα μειώνουν την εμπιστοσύνη των καταναλωτών και αποτελούν κίνδυνο για τη δημόσια υγεία. Παραδείγματα απάτης, όπως η ανίχνευση απαγορευμένης χρωστικής Sudan I σε σκόνη τσίλι (πάπρικας) το 2003 στην Ευρωπαϊκή Ένωση και η ανίχνευση μη επισημασμένης και αλλεργιογόνου πρωτεΐνης αμυγδάλου στην πάπρικα και το κύμινο το 2015, αποτελούν μείζονα ανησυχία στη βιομηχανία (Garber et al., 2016). Επίσης, το 2005 στο Ηνωμένο Βασίλειο ανακλήθηκαν περισσότερα από 470 προϊόντα διατροφής, καθώς ήταν νοθευμένα με μία δυνητικά καρκινογόνο χρωστική ουσία. Οι συγκεκριμένες χημικές ενώσεις προστίθεται σκόπιμα στα μπαχαρικά για ενίσχυση του χρώματος και κατά συνέπεια αύξηση της τιμής, όμως έχουν συνδεθεί με διάφορες ασθένειες ακόμα και θάνατο. Ορισμένες βαφές που προστίθενται παράνομα στα τρόφιμα είναι τα αζωχρώματα Sudan I, II, III και IV, πορτοκαλί II, κίτρινο metanil και Ροδαμίνη Β, και οι βαφές τριφαινυλομεθανίου, όπως πράσινος μαλαχίτης και πράσινος μεταβολίτης του λευκομαλαχίτη (EFSA, 2005). Ισχύει ότι 25 φυσικές και 15 συνθετικές χρωστικές έχουν απαγορευτεί στις Ηνωμένες Πολιτείες από τον FDA και στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) με τον Κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 1333/2008 (ΕΕ, 2008) (Oplatowska-Stachowiak & Elliott, 2017).

Πολλές χώρες έχουν εθνικούς κανονισμούς για τα μπαχαρικά και τα αρωματικά φυτά σε συμμόρφωση με τα διεθνή δεδομένα. Ισχύει ότι, τα πρότυπα ποιότητας για τα προϊόντα αυτά, ενημερώνονται τακτικά με ισχυρούς κανονισμούς. Οι μικροβιολογικές, χημικές και φυσικές απαιτήσεις καθορίζονται και ελέγχονται από τις εκάστοτε ρυθμιστικές αρχές. Συγκεκριμένα για τα αρωματικά φυτά και μπαχαρικά, η αρμόδια διεθνής ρυθμιστική αρχή είναι η «Επιτροπή Κώδικα για τα Μπαχαρικά και τα Μαγειρικά Φυτά», η οποία είναι μία από τις επιτροπές της «Επιτροπής Codex Alimentarius». Υπάρχουν πολλοί οργανισμοί που θέτουν τα όρια, τους κανονισμούς και τα πρότυπα

για τη βιομηχανία μπαχαρικών και αρωματικών φυτών, συμπεριλαμβανομένων της «Ευρωπαϊκής Ένωσης Μπαχαρικών» και της «Ευρωπαϊκής Επιτροπής». Οι πιθανοί κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία αποτελούν σημαντική ανησυχία στη βιομηχανία μπαχαρικών και αρωματικών φυτών. Για να μειωθεί αυτός ο πιθανός κίνδυνος και να εξαλειφθούν τα ποιοτικά ελαττώματα, οι νομοθεσίες περιλαμβάνουν ορισμένες ποιοτικές και ποσοτικές τιμές για μικροοργανισμούς, μυκοτοξίνες, φυτοφάρμακα, βαρέα μέταλλα, δόση ακτινοβολίας που μπορεί να εφαρμοστεί στα φυτικά αυτά προϊόντα, διάφορους φυσικούς παράγοντες, παράνομες χρωστικές ουσίες όπως Sudan και Para red και παράνομα πρόσθετα τροφίμων (Cilak et al., 2021).

Αρκετοί οργανισμοί σε όλο τον κόσμο έχουν εφαρμόσει ρυθμιστικά πρότυπα για τον έλεγχο της ποιότητας και της αυθεντικότητας των αρωματικών φυτών και των μπαχαρικών και για την ανίχνευση πιθανών νοθευτών. Οι πιο εξέχοντες είναι η «Αμερικανική Ένωση Εμπορίου Μπαχαρικών» (ASTA), η «Ευρωπαϊκή Ένωση Μπαχαρικών» (ESA), η «Διεθνής Οργάνωση Εμπορίου Μπαχαρικών» (IOSTA) και η «Επιτροπή Μπαχαρικών της Ινδίας».

Στο πλαίσιο της νομοθεσίας της ΕΕ για τους επίσημους ελέγχους στα τρόφιμα και τις ζωοτροφές (Κανονισμός ΕΕ 2017/625), οι «ειδοποιήσεις απάτης» που αναφέρονται στο Σύστημα Ταχείας Προειδοποίησης για Τρόφιμα και Ζωοτροφές (RASFF) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής σημαίνει «μη συμμόρφωση σχετικά με οποιαδήποτε εικαζόμενη σκόπιμη ενέργεια από επιχειρήσεις ή ιδιώτες, με σκοπό την εξαπάτηση των αγοραστών και την απόκτηση αδικαιολόγητου πλεονεκτήματος από αυτήν».

Οι κανόνες που ισχύουν στα κράτη μέλη της ΕΕ για ύποπτη απάτη που αναφέρεται ως «μη συμμόρφωση» ή «υποψία απάτης» περιλαμβάνουν:

- (1) Παραβίαση των κανόνων της ΕΕ: παραβίαση ενός ή περισσότερων κανόνων που ορίζονται στη νομοθεσία της ΕΕ για την αλυσίδα γεωργικών προϊόντων διατροφής, όπως αναφέρεται στο άρθρο 1 παράγραφος 2 του κανονισμού (ΕΕ) 2017/625,
- (2) Παραπλάνηση πελατών, δηλαδή κάποια μορφή εξαπάτησης των πελατών/καταναλωτών, όπως αλλοιωμένος χρωματισμός ή τροποποιημένες ετικέτες, που κρύβουν την πραγματική ποιότητα ή, σε χειρότερες περιπτώσεις, ακόμη και τη φύση ενός προϊόντος. Επιπλέον, το παραπλανητικό στοιχείο μπορεί επίσης να αποτελέσει κίνδυνο για τη δημόσια υγεία, καθώς ορισμένες από τις πραγματικές ιδιότητες του προϊόντος είναι κρυμμένες, όπως στην περίπτωση αδήλωτων αλλεργιογόνων.
- (3) Αδικαιολόγητο πλεονέκτημα: η δόλια πράξη επιφέρει κάποιας μορφής άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος για τον δράστη.
- (4) Πρόθεση: επαληθεύεται όταν ορισμένοι παράγοντες παρέχουν ισχυρούς λόγους για να αποδειχθεί ότι ορισμένες μη συμμορφώσεις δεν είναι τυχαίες, όπως η σκόπιμη αντικατάσταση ενός

συστατικού υψηλής ποιότητας με ένα συστατικό χαμηλότερης ποιότητας, παρά μια τυχαία μόλυνση που οφείλεται στην παραγωγική διαδικασία.

Τα περισσότερα αρωματικά φυτά και μπαχαρικά υποβάλλονται σε διάφορες διεργασίες, όπως καθαρισμός, ξήρανση, απολύμανση, σύνθλιψη, άλεση, συσκευασία και διανομή, κατά τις οποίες μπορεί να συμβούν ακατάλληλοι χειρισμοί και δόλιες πρακτικές, που είναι δύσκολο να εντοπιστούν στο τελικό προϊόν που φτάνει στον καταναλωτή. Για τον λόγο αυτό, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή σε συνεργασία με την Γενική Διεύθυνση Υγείας και Ασφάλειας Τροφίμων και 21 κράτη μέλη της ΕΕ, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας, δημοσίευσαν τα αποτελέσματα του πρώτου συντονισμένου σχεδίου ελέγχου για την αυθεντικότητα των αρωματικών φυτών και των μπαχαρικών, που διεξήχθη από το 2019 μέχρι το 2021, με βάση τον [Κανονισμό (ΕΕ) 2017/625 (Επίσημος Κανονισμός Ελέγχων)]. Στόχος του σχεδίου συντονισμένου ελέγχου (CCP) ήταν να διαπιστωθεί η επικράτηση των μη συμμορφώσεων και των πιθανών παράνομων πρακτικών στην εμπορία αρωματικών φυτών και μπαχαρικών στον Ευρωπαϊκό Οικονομικό Χώρο, σε συνδυασμό με την προστασία των καταναλωτών από παραπλανητικά και δυνητικά μη ασφαλή προϊόντα. Συγκεκριμένα, για τις 10.000 αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν από το ερευνητικό κέντρο σε 1.885 δείγματα, χρησιμοποιήθηκαν αναλυτικές τεχνικές τελευταίας τεχνολογίας για την αξιολόγηση της αυθεντικότητας έξι διαφορετικών αρωματικών φυτών και μπαχαρικών (πιπέρι, ρίγανη, σαφράν, κουρκουμάς, κύμινο και πάπρικα). Οι δραστηριότητες των δοκιμών επικεντρώθηκαν στην ανίχνευση υποκατάστασης του κάθε προϊόντος από άλλο φυτικό υλικό, στην προσθήκη πληρωτικών, όπως άμυλο, αλεύρι, σκόνη, κιμωλία και στην ενίσχυση του χρώματος από μη εγκεκριμένο πρόσθετο, όπως συνθετικές χρωστικές. Το ποσοστό των δειγμάτων που κρίθηκε ότι διατρέχουν κίνδυνο νοθείας και οι πιθανοί νοθευτές ήταν 17% για το πιπέρι με άμυλο ρυζιού, φαγόπυρο και σπόρους μουστάρδας, 14% για το κύμινο με κόλιανδρο, μουστάρδα, λιναρόσπορο και σπόρους κολοκύθας, 11% για το κουρκουμά με καλαμπόκι, ρύζι και άμυλο βρώμης, 11% για το σαφράν με ταγέτη και κάρθυλο και 6% για την πάπρικα/τσίλι με ηλιόσπορους, σκόρδο και κρεμμύδι. Η ρίγανη αναγνωρίστηκε ως η πιο ευάλωτη με το 48% των δειγμάτων να κινδυνεύει να μολυνθεί με άλλα είδη φυτών, όπως ελιά, μυρτιά, μέντα, θυμάρι και φασκόμηλο. Επιπλέον, στην ανάλυση των μπαχαρικών σαφράν, πάπρικα, κουρκουμά και πιπέρι, στο 2% των 1340 δειγμάτων ανιχνεύθηκε η παρουσία συνθετικών χρωστικών ουσιών που δεν εγκρίνονται για ανθρώπινη κατανάλωση, με το σαφράν και την πάπρικα να είναι τα μπαχαρικά με το υψηλότερο ποσοστό νοθείας. Οι βαφές που ανιχνεύθηκαν ήταν κυρίως Sudan I, χρώμα E102-ταρτραζίνη, χρώμα E129-Allura Red, χρώμα E122-αζορουμπίνη, χρώμα E110-Sunset Yellow FCF, χρώμα E104-Κίτρινο κινολίνης και χρώμα E120-Καρμινικό οξύ (Rodríguez et al., 2023). Η αυθεντικότητα και η καθαρότητα των αρωματικών φυτών και των μπαχαρικών αξιολογήθηκαν με βάση τα σχετικά

πρότυπα ISO. Σε περίπτωση που ένα δείγμα δεν συμμορφωνόταν με αυτές τις διατάξεις για ξένες ουσίες και ολική τέφρα, θεωρήθηκε ύποπτο για νόθευση. Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν, η Επιτροπή προέβη σε ένα άμεσο σχέδιο δράσης, ώστε οι εθνικές αρχές να αυξήσουν τους επίσημους ελέγχους στον τομέα των αρωματικών φυτών και μπαχαρικών, με στόχο την πρόληψη πρακτικών νοθείας, την επιβολή κυρώσεων στους δράστες απάτης και την προστασία της υγείας των καταναλωτών (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

Η εφοδιαστική αλυσίδα των αρωματικών φυτών και μπαχαρικών είναι παγκόσμια, πολύπλοκη και περιλαμβάνει πολλά στάδια όπου μπορούν να συμβούν διάφοροι δόλιοι χειρισμοί. Τα τρωτά σημεία που μπορεί να επηρεάσουν τις πιθανότητες νόθευσης περιλαμβάνουν το μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού, το ιστορικό της απάτης, την εποχικότητα και τη διαθεσιμότητα της καλλιέργειας, τα καιρικά φαινόμενα, τις φυσικές καταστροφές, τα πολιτιστικά και γεωπολιτικά γεγονότα, την οικονομική κατάσταση, την επιβολή της νομοθεσίας για τα τρόφιμα, την επικράτηση της διαφθοράς και την πρόοδο της τεχνολογίας για την κάλυψη της απάτης. Από τη μία πλευρά, η παγκόσμια ζήτηση για τα αρωματικά φυτά και μπαχαρικά αυξάνεται, λόγω της αυξανόμενης δημοτικότητας του τομέα των υπηρεσιών τροφίμων για τη χρήση τους σε έτοιμα γεύματα, το ενδιαφέρον για νέες γεύσεις και ισχυρισμούς σχετικά με την υγεία. Από την άλλη πλευρά, λόγω της πολυπλοκότητας των αλυσίδων εφοδιασμού τους και της συχνής καλλιέργειας τους σε χώρες εκτός της ΕΕ, υπάρχουν πολλοί μεσάζοντες, μέχρι την κατανάλωσή τους, που αυξάνουν τις πιθανότητες για φαινόμενα νοθείας στα προϊόντα αυτά.

Οι παράνομες βαφές αποτελούν συνεχή απειλή για τη διεθνή βιομηχανία αρωματικών φυτών και μπαχαρικών και εντοπίζονται κατά διαστήματα, όπως υποδεικνύεται από τις ειδοποιήσεις στο Σύστημα Ταχείας Προειδοποίησης για Τρόφιμα και Ζωοτροφές (RASFF). Οι βαφές που χρησιμοποιούνται περισσότερο σε νοθείες είναι οι βαφές του Sudan, κυρίως το Sudan I και το Sudan IV, οι οποίες υπάρχουν στο 65% και το 33%, αντίστοιχα, των ειδοποιήσεων που αναφέρονται σε αυτόν τον τύπο βαφής. Είναι ζωτικής σημασίας να διεξάγονται δοκιμές επαλήθευσης ταυτότητας για τον εντοπισμό περιπτώσεων οικονομικής απάτης και για την επαλήθευση της αποτελεσματικής εφαρμογής προληπτικών μέτρων (BRC-FDF-SSA, 2016). Αυτή η πρόληψη όχι μόνο διατηρεί την ποιότητα και την εμπιστοσύνη των καταναλωτών, αλλά βοηθά επίσης στην πρόληψη του κινδύνου για τη δημόσια υγεία (Lohumi et al., 2015).

Συγκεκριμένα, το Έγγραφο Ευαισθητοποίησης της ESA για τη νόθευση (ESA, 2014) συμβουλεύει τις εταιρείες σχετικά με τρόπους πρόληψης της νοθείας:

1. «Αξιολόγηση της αλυσίδας εφοδιασμού», δηλαδή γνώση του ιστορικού της εφοδιαστικής αλυσίδας, τήρηση νομικών απαιτήσεων, ιχνηλασιμότητα, συμμόρφωση με το HACCP (Ανάλυση Κινδύνων και Κρίσιμα Σημεία Ελέγχου) και τήρηση των προτύπων διαπίστευσης.

2. «Η φύση του υλικού», αν είναι ολόκληρο ή αλεσμένο, το βοτανικό είδος και η εμπορική ποιότητα.

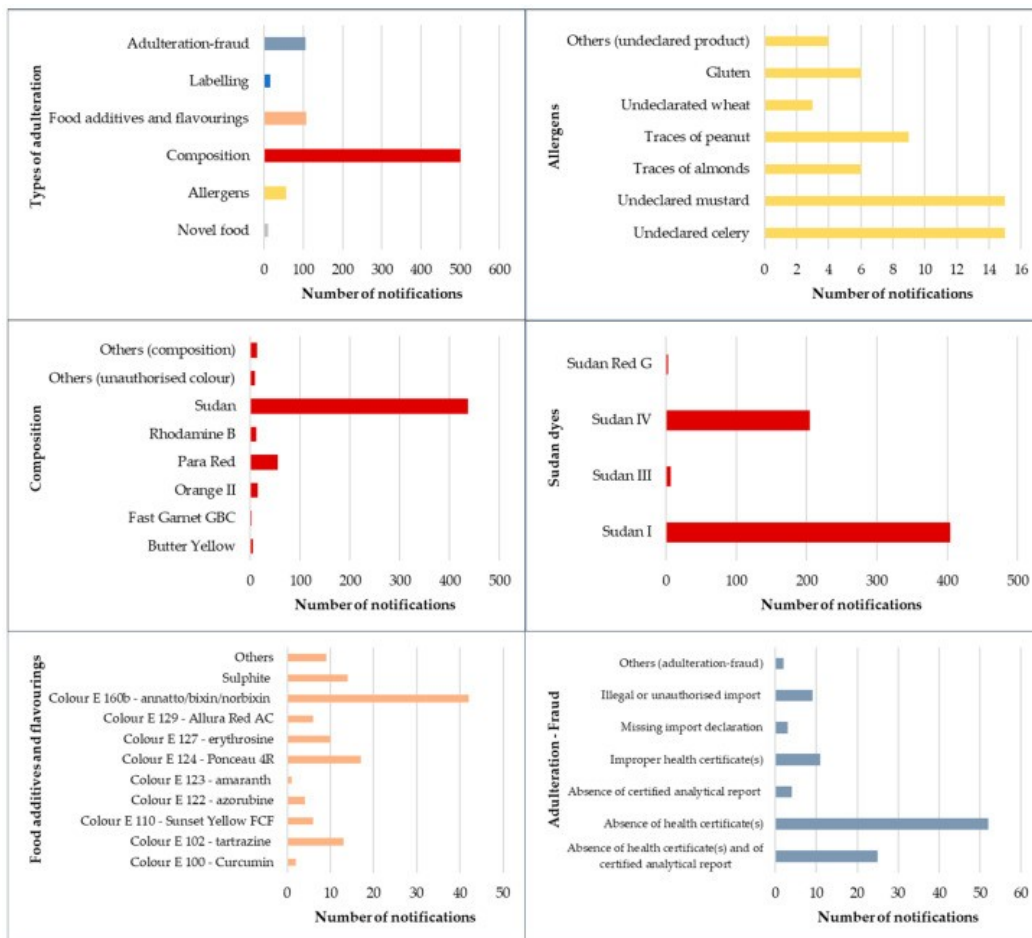
3. «Δοκιμές προϊόντος», όπως μια σειρά μεθόδων που αναπτύσσονται για την ταχεία και ακριβή ανίχνευση της απάτης.

Πίνακας 2.4 Οι πιθανές επιπτώσεις στην υγεία από συχνές παράνομες βαφές (RASFF portal, EFSA, 2005;Galvin-King, 2020).

Παράνομες βαφές	Πιθανές επιπτώσεις στην υγεία	Παραδείγματα μπαχαρικών
Sudan I	Γονιδιοτοξικό και καρκινογόνο	Πιπέρι καγιέν, κουρκουμάς, τσίλι, πάπρικα, κάρυ
Sudan IV	Δυνητικά γονιδιοτοξικό και πιθανώς καρκινογόνο	Κάρυ, κουρκουμάς, τσίλι, πάπρικα, σουμάκ
Para Red	Δυνητικά γονιδιοτοξικό και πιθανώς καρκινογόνο	Τσίλι, πιπέρι καγιέν, πάπρικα
Orange II	Δυνητικά γονιδιοτοξικό	Τσίλι, σουμάκ, πάπρικα
Metanil Yellow	Πιθανώς καρκινογόνο για ανθρώπους (IARC, 1975)	Κάρυ, κουρκουμάς
Ροδαμίνη Β	Δυνητικά γονιδιοτοξικό και πιθανώς καρκινογόνο	Σουμάκ, τσίλι, πάπρικα, κουρκουμάς, κάρυ



Εικόνα 2.1 Τα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας των αρωματικών φυτών και μπαχαρικών και τα τρωτά σημεία της (BRC-FDF-SSA, 2016;Galvin-King, 2020).



Εικόνα 2.2 Ειδοποιήσεις σχετικά με πιθανούς κινδύνους που αντιμετωπίζουν τα αρωματικά φυτά και τα μπαχαρικά κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 33 ετών (1989–2020)(RASFF, 2023).

Τύποι ειδοποιήσεων: με μπλε χρώμα: απάτη-νοθεία, με κόκκινο: προσθήκη μη εγκεκριμένων/δηλωμένων ενώσεων, με ροζ: προσθήκη μη εγκεκριμένων/δηλωμένων πρόσθετων, με κίτρινο: παρουσία αλλεργιογόνων και με γκρι: παρουσία μη εγκεκριμένων νέων τροφίμων.

Κεφάλαιο 3: Μέθοδοι για τον εντοπισμό νοθείας στα αρωματικά φυτά και μπαχαρικά

3.1 Γενικά

Η νοθεία τροφίμων είναι μια σημαντική απειλή με σοβαρές επιπτώσεις, τόσο για τη βιομηχανία τροφίμων, όσο και για την υγεία των καταναλωτών. Η ανίχνευση νοθείας στα τρόφιμα είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη διασφάλιση της ποιότητας των τροφίμων που καταναλώνουν οι άνθρωποι παγκοσμίως. Γενικά, οι βασικές μέθοδοι δοκιμών χρησιμοποιούνται για την ποιοτική ανίχνευση, ενώ οι ενόργανες τεχνικές για την ποσοτική ανίχνευση νοθείας στα μπαχαρικά. Έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές ενόργανες τεχνικές, συχνά σε συνδυασμό με χημειομετρία, και με τις εξελίξεις στην αναλυτική χημεία, οι περισσότερες σύγχρονες μέθοδοι είναι γνωστές για την ευαισθησία, την ακρίβεια, την επιλεκτικότητα και την ταχύτητά τους. Ισχύει ότι, οι φυσικές μέθοδοι είναι απλές και χαμηλού κόστους, αλλά η ακρίβεια και η επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων είναι το κύριο μειονέκτημα τους. Συχνά, χρησιμοποιούνται μικροσκοπικές τεχνικές σε συνδυασμό με αισθητηριακές μεθόδους για καλύτερη ακρίβεια και επικύρωση σε σχέση με τις φυσικές μεθόδους. Είναι επιτακτική η ανάπτυξη απλών, γρήγορων, ευαίσθητων, ειδικών και χαμηλού κόστους δοκιμών ελέγχου, οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν ευρέως, για τον εντοπισμό κοινώς χρησιμοποιούμενων νοθευτών σε μπαχαρικά και αρωματικά φυτά, με πρωταρχικό στόχο την ασφάλεια των καταναλωτών (PaI, 2017).

Σύμφωνα με διάφορες έρευνες, ισχύει ότι τα τελευταία τριάντα χρόνια, οι δύο κορυφαίες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση νοθείας των τροφίμων ήταν η υγρή χρωματογραφία και η υπέρυθη φασματοσκοπία. Επίσης, η πρόοδος στην ανάλυση DNA, που περιλαμβάνει τη χρήση SCAR-PCR και το DNA barcoding, έχει οδηγήσει στην συχνή χρήση τους, για ποιοτική και ποσοτική ανάλυση προϊόντων. Οι μοριακές τεχνικές μπορούν να είναι ισχυρό εργαλείο για την ανίχνευση νοθείας στα μπαχαρικά λόγω της ταχύτητας, της ευαισθησίας, της ακρίβειας και της οικονομικής τους αποδοτικότητας (Pare et al., 2021).

Τα αλεσμένα μπαχαρικά είναι πιο επιρρεπή στη νόθευση επειδή κατά το άλεσμα, το σχήμα τόσο του μπαχαρικού όσο και του νοθευτή τους γίνεται μια λεπτή σκόνη, γεγονός που καθιστά δύσκολο τον εντοπισμό της νοθείας στο τελικό προϊόν. Για τέτοια μπαχαρικά σε σκόνη, είναι μάλλον δύσκολο να διακρίνουμε τα γνήσια προϊόντα από τα νοθευμένα με γυμνά μάτια. Επομένως, ο εντοπισμός και ο ποιοτικός έλεγχος των φυσικών μπαχαρικών είναι πολύ σημαντικός για την προστασία της υγείας, των δικαιωμάτων και των συμφερόντων των καταναλωτών (Székács,

Wilkinson, & Appel, 2017). Η συμβατική μέθοδος αναγνώρισης είναι υποκειμενική, βασίζεται σε μακροχρόνια εμπειρία και δύσκολα εφαρμόζεται στα μπαχαρικά αυτά. Από την άλλη, η χημική ανίχνευση χρησιμοποιώντας διάφορα φασματομετρικά όργανα είναι ισχυρή στην καταπολέμηση της νοθείας. Ωστόσο, τα χημικά δακτυλικά αποτυπώματα των μπαχαρικών είναι περίπλοκα, ιδιαίτερα εκείνα των στενά συγγενικών ειδών, και το κόστος αυτής της μεθόδου είναι υψηλό. Επιπλέον, τέτοιες μέθοδοι χρειάζονται ένα τυπικό εργαστήριο και επαγγελματίες αναλυτές (Black et al., 2016). Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να καθιερωθεί μια επιστημονική, ορθολογική και απλή αναλυτική μέθοδος για τον έλεγχο ταυτότητας και τον εντοπισμό νοθείας των φυσικών μπαχαρικών και των παραγώγων τους.

3.2 Χρωματογραφικές Μέθοδοι

Οι τεχνικές χρωματογραφίας έχουν εξαιρετική δυνατότητα εφαρμογής στην ανάλυση των τροφίμων. Μία από τις πιο ενδιαφέρουσες εφαρμογές, είναι η ανάλυση της αυθεντικότητας των τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων των αρωματικών φυτών και των μπαχαρικών. Παρέχουν ολοκληρωμένες πληροφορίες σχετικά με τους δευτερογενείς μεταβολίτες των φυτών και είναι αρκετά χρήσιμες για την ταυτοποίηση τους. Για την ανίχνευση της νοθείας, περιλαμβάνουν μεθόδους όπως χρωματογραφία λεπτής στιβάδας (TLC), υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC), αέρια χρωματογραφία (GC) και άλλες που βασίζονται στη φασματομετρία μάζας (MS), δηλαδή υγρή χρωματογραφία (LC)-MS/MS, και αέρια χρωματογραφία (GC/MSD) (Rodriguez et al., 2023).

Η χρωματογραφία λεπτής στιβάδας (TLC) είναι μια μέθοδος που έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για την ανάλυση φυσικών και συνθετικών βαφών λόγω των πλεονεκτημάτων της. Αποτελεί μια απλή τεχνική με αρκετές δυνατότητες ανίχνευσης και χαμηλό λειτουργικό κόστος. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της βαφής Sudan σε σκόνη τσίλι και κουρκουμά καθώς και για τον προσδιορισμό της καθαρότητας του σαφράν (Shukla et al., 2015; Kumari et al., 2021; Pantola et al., 2021). Επίσης, με τη εφαρμογή της χρωματογραφίας λεπτής στιβάδας υψηλής απόδοσης (HPTLC) ανιχνεύτηκαν σπόροι Αργεμώνης σε μορφή ελαίου που είχε προστεθεί σε λάδι μουστάρδας και εντοπίστηκαν οι βαφές Sudan (I, II, III και IV) στον κουρκουμά και τη σκόνη τσίλι έχοντας υψηλή ακρίβεια $R > 0,99$ (Medhe et al., 2015). Η χρωματογραφία λεπτής στιβάδας (TLC), χρησιμοποιήθηκε για τον εντοπισμό παράνομων βαφών σε ορισμένα μπαχαρικά, συγκεκριμένα σε 15 δείγματα σκόνης κουρκουμά και 15 δείγματα σκόνης τσίλι. Από την αλλαγή χρώματος και τις τιμές R_f των δειγμάτων δοκιμής που προέκυψαν και αναλύθηκαν, διαπιστώθηκε ότι 10 από 15

δείγματα σκόνης κουρκουμά και 9 από 15 δείγματα σκόνης τσίλι ήταν νοθευμένα με Metanil Yellow, Sudan III και τεχνητά χρώματα (Jaiswal et al., 2016).

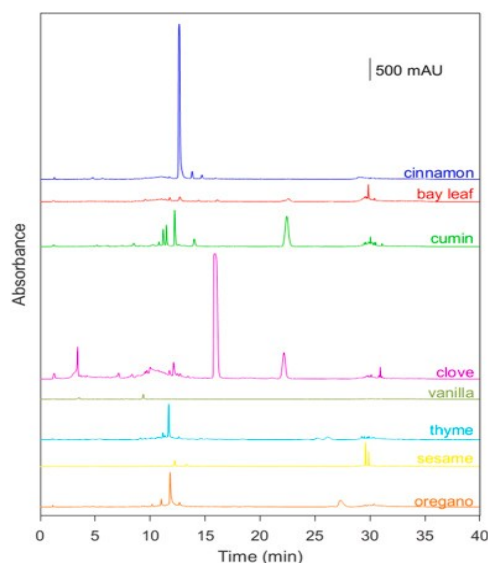
Η υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC) αποτελεί μια χρήσιμη, αξιόπιστη και ισχυρή τεχνική για την ανίχνευση νοθείας στα μπαχαρικά και στα αρωματικά φυτά, καθώς επιτρέπει την αναγνώριση και ποσοτικοποίηση πολλών ενώσεων σε μία μόνο μέτρηση. Βασίζεται στην αρχή ότι διαφορετικές αναλυόμενες ουσίες συμπεριφέρονται διαφορετικά με τη στατική φάση. Τα συστατικά της αναλυόμενης ουσίας εκλύονται με διαφορετικούς ρυθμούς ανάλογα με παράγοντες όπως η πολικότητα, η αλληλεπίδραση στατικής-κινητής φάσης, η ανταλλαγή ιόντων, η προσρόφηση υγρού-στερεού και η κατανομή υγρού-υγρού (Bharathi et al., 2019). Είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη, αποτελεσματική, οικονομικά αποδοτική και με μεγάλη αναπαραγωγιμότητα. Ωστόσο, αυτή η τεχνική συνήθως περιλαμβάνει πολλά στάδια εκχύλισης και καθαρισμού, τα οποία θεωρούνται εμπόδια στις αναλυτικές μεθόδους. Οι ανιχνευτές που χρησιμοποιούνται στην HPLC είναι διάφοροι: ανιχνευτές υπεριώδους-ορατού (UV-Vis), φθορισμού (FLD), ανιχνευτές συστοιχίας διόδων (DAD), ανιχνευτές δείκτη διάθλασης (IR) και ανιχνευτές MS.

Η HPLC επιτρέπει την ανίχνευση συνθετικών βαφών στα μπαχαρικά. Συγκεκριμένα, από την ανάλυση δεκαπέντε συνθετικών χρωστικών σε δείγματα σκόνης κινεζικής πάπρικας χρησιμοποιώντας HPLC-MS/MS, εντοπίστηκε ότι επτά από τα αναλυμένα δείγματα περιείχαν παράνομες συνθετικές βαφές όπως το Sudan I και η Rhodamine B (Duan et al., 2019). Αυτή η χρωματογραφική τεχνική μαζί με ανιχνευτές όπως το DAD και το UV-Vis, χρησιμοποιούνται επίσης για την ανίχνευση νοθευμένων μπαχαρικών με συνθετικές βαφές όπως σκόνη τσίλι, πάπρικα και κουρκουμά. Σύμφωνα με μία άλλη έρευνα, με τη χρήση της μεθόδου HPLC-DAD για την ταυτόχρονη αναγνώριση και ποσοτικοποίηση έξι συνθετικών βαφών σε δείγματα σκόνης τσίλι και πάπρικας, διαπιστώθηκε ότι κάποια από αυτά ήταν νοθευμένα με Sudan I και II (Zhu et al., 2016). Επίσης, εντοπίστηκε νοθεία σε σκόνη τσίλι με εννέα παράνομες βαφές, όπως Sudan I-IV, Sudan Red 7B, Sudan Red G, Sudan Orange G, Para Red και ερυθρό του μεθυλίου, με τη χρήση της μεθόδου UHPLC-DAD. Ακόμη, μέσω της μεθόδου HPLC-DAD, πραγματοποιήθηκε ανάλυση νοθείας με χρωστικές Sudan σε 27 δείγματα εμπορικών μπαχαρικών (κουρκουμάς, κάρυ, καυτερή πάπρικα και γλυκιά πάπρικα), λαμβάνοντας καλά και ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Σε άλλες έρευνες έχει χρησιμοποιηθεί HPLC με διαφορετικούς ανιχνευτές για την ταυτοποίηση της αυθεντικότητας των μπαχαρικών ανάλογα με τη γεωγραφική τους προέλευση. Από την ανάλυση δειγμάτων σαφράν από διαφορετικές περιοχές της Ιταλίας χρησιμοποιώντας HPLC-DAD, ενώσεις όπως η κροκίνη, η πικροκροκίνη και τα φλαβονοειδή επέτρεψαν τη διαφοροποίηση των δειγμάτων από κάθε αναλυόμενη περιοχή (D'Archivio et al., 2016). Ομοίως, έγινε διάκριση σε δείγματα σαφράν από την Κίνα και το Ιράν εντοπίζοντας φλαβονοειδή,

πικροκροκίνη και διαφορετικούς τύπους κροκίνης χρησιμοποιώντας HPLC-DAD (Liu et al., 2018). Σημαντικοί δείκτες στο σαφράν, όπως τα γλυκεροφωσφολιπίδια και τα οξειδωμένα λιπίδια τους, έχουν εντοπιστεί χρησιμοποιώντας HPLC-MS για τον έλεγχο ταυτότητας αυτού του προϊόντος. Επίσης, με τη χρήση HPLC-FLD, προσδιορίστηκε το φαινολικό οξύ και οι πολυφαινολικές ενώσεις, ως χημικοί δείκτες για την πιστοποίηση της γεωγραφικής προέλευσης της πάπρικας (Campmajó et al., 2021).

Τα μπαχαρικά και τα αρωματικά φυτά έχουν διαφορετική σύνθεση μεταξύ τους με χαρακτηριστικές ενώσεις, και για τον λόγο αυτό τα χρωματογραφικά προφίλ είναι ιδιαίτερα πολύτιμα για τον έλεγχο της γνησιότητας αυτών των προϊόντων. Με τη χρήση της μεθόδου υγρής χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης (HPLC) με ανίχνευση υπεριώδους ακτινοβολίας, καθίσταται εφικτός ο χαρακτηρισμός, η ταυτοποίηση και ο έλεγχος ταυτότητας της κανέλας, της ρίγανης, του θυμαριού, του σουσαμιού, της δάφνης, του γαρίφαλου, του κύμινου και της βανίλιας. Η διαδικασία αυτή, βελτιστοποιήθηκε με βάση τον διαχωρισμό έξι χαρακτηριστικών ενώσεων (σεσαμόλη, ευγενόλη, θυμόλη, καρβακρόλη, σαλικυλαλδεϋδή και βανιλίνη) και πραγματοποιήθηκε με χρήση στήλης ανάστροφης φάσης C18 υπό βαθμιδωτή έκλυση 35 λεπτών με βάση μυρμηκικό υδατικό διάλυμα 0,1% (v/v) και μεθανόλη μέσω ανίχνευσης UV-Vis στα 280 nm (Cetó et al., 2018). Πρόκειται για μια απλή και χαμηλού κόστους επεξεργασία δείγματος, βασισμένη σε εκχύλιση με υπερήχους με μεθανόλη και επακόλουθη ανάδευση, αλλά και χρήση χημειομετρίας για την ανάλυση των δεδομένων. Όπως φαίνεται από την Εικόνα 3.1, τα χρωματογραφικά προφίλ που λαμβάνονται για τα διάφορα μπαχαρικά και αρωματικά φυτά είναι, σε γενικές γραμμές, σημαντικά διαφορετικά μεταξύ τους, καθώς είναι σε θέση να προσδιορίσουν ορισμένες από τις χαρακτηριστικές ενώσεις κάθε φυτικού προϊόντος. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί η σημαντική ομοιότητα που υπάρχει μεταξύ των χρωματογραφικών προφίλ της ρίγανης και του θυμαριού, η οποία αποδίδεται στο γεγονός ότι και τα δύο αρωματικά φυτά έχουν αρκετά παρόμοια σύνθεση (Gavaric et al., 2015). Συνεπώς, οι διαφορές στα χρωματογραφικά προφίλ που λαμβάνονται με την αναπτυγμένη μέθοδο HPLC-UV για τα διάφορα προϊόντα, υποδηλώνουν ότι η μέθοδος αυτή, θα μπορούσε να είναι πλήρως κατάλληλη για τον χαρακτηρισμό, την αναγνώριση και την πιστοποίηση δειγμάτων μπαχαρικών και αρωματικών φυτών (Pages-Rebull et al., 2023).



Εικόνα 3.1 Χαρακτηριστικά χρωματογραφικά προφίλ στα 280 nm για κάθε τύπο μπαχαρικού και αρωματικού φυτού (Pages-Rebull et al., 2023).

Η αέρια χρωματογραφία (GC) είναι μια άλλη μέθοδος που έχει χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση πιθανών νοθευτών σε μπαχαρικά και αρωματικά φυτά, κυρίως για την ανάλυση πτητικών και ημιπτητικών ουσιών και αρωματικών ενώσεων. Οι ανιχνευτές που χρησιμοποιούνται με αυτή τη χρωματογραφική τεχνική είναι ο ανιχνευτής θερμικής αγωγιμότητας (TCD), ο ανιχνευτής ιονισμού φλόγας (FID) και το φασματόμετρο μάζας (MS). Αυτές οι μέθοδοι έχουν αρκετά πλεονεκτήματα, όπως την ευκολία χρήσης, την ακριβή ταυτοποίηση των ενώσεων ακόμη και σε πολύπλοκα δείγματα και την αναπαραγωγικότητα των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, η μέθοδος GC-MS χρησιμοποιήθηκε για να ανιχνεύσει φύλλα ελιάς στη ρίγανη και το φασκόμηλο, αλλά και για την ακριβή διάκριση φύλλων δάφνης από παρόμοια φύλλα άλλων ειδών όπως το *Cinnamomum tamala*, το *Litsea glaucescens*, το *Pimenta racemosa*, το *Syzygium polyanthum* και το *Umbellularia cali* (Raman et al., 2017). Επίσης, μέσω της μεθόδου GC-MS, έγινε διάκριση μεταξύ των προφίλ των πτητικών ενώσεων που σχετίζονται με την καπνιστή πάπρικα, την πάπρικα φούρνου και την λιαστή (Martín et al., 2017). Μια άλλη μέθοδος ανίχνευσης νοθείας με βάση την πτητικότητα των αναλυτών είναι η GC με FID. Ο συνδυασμός της αέριας χρωματογραφίας φλας headspace με ανίχνευση ιονισμού φλόγας (HS-GC-FID) και χημειομετία, χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της νοθείας του σαφράν με δύο από τους κύριους νοθευτές που προέρχονται από φυτά, τον κουρκουμά (*C. longa* L.) και την καλέντουλα (*Calendula officinalis* L.) (Morozzi et al., 2019).

3.3 Μέθοδοι Ανάλυσης DNA

Η ανάλυση DNA χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο για την καταπολέμηση της απάτης στα τρόφιμα, καθώς η πρόοδος που σημειώνεται στις μεθόδους ανίχνευσης, οδηγεί σε φθηνότερα, πιο αποτελεσματικά και με μεγαλύτερη ακρίβεια μέσα για τον εντοπισμό της νοθείας. Αυτές οι μέθοδοι είναι λιγότερο δαπανηρές, πιο αποτελεσματικές και χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με άλλες, επομένως αποτελούν ένα καλό εργαλείο κατά της νοθείας. Τα τελευταία χρόνια, μεταξύ αυτών των τεχνικών, το τυχαία ενισχυμένο πολυμορφικό DNA (RAPD), η αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης ενισχυμένης περιοχής με χαρακτηριζόμενη αλληλουχία (SCAR-PCR) και DNA barcoding, εφαρμόζονται όλο και πιο πολύ για την ανίχνευση νοθείας τροφίμων (Galvin-King, 2020). Ωστόσο, χρησιμοποιούνται και άλλες παραλλαγές τεχνικών που βασίζονται στο DNA, όπως η απλή επανάληψη μεταξύ αλληλουχιών (ISSR), οι απλές επαναλαμβανόμενες αλληλουχίες (SSR) ή, πιο πρόσφατα, ο συνδυασμός του DNA barcoding με τήξη υψηλής ανάλυσης (HRM) (Rodriguez et al., 2023). Γονιδιωματικές τεχνικές, όπως η αλληλούχηση επόμενης γενιάς (NGS) (Flügge et al., 2023), ψηφιακή PCR σταγονιδίων (ddPCR) (Xu et al., 2022) και PCR πραγματικού χρόνου (rt-PCR), πετυχαίνουν επίσης καλά αποτελέσματα στον έλεγχο ταυτότητας των μπαχαρικών και αρωματικών φυτών.

Συγκεκριμένα, τα SSR είναι διαδοχικές επαναλήψεις απλών αλληλουχιών, που αποτελούνται συνήθως από δύο, τρία ή τέσσερα νουκλεοτίδια που μπορούν να επαναληφθούν 10-100 φορές. Ο αριθμός αντιγράφων αυτών των επαναλήψεων, ο οποίος μπορεί να είναι εξαιρετικά μεταβλητός λόγω της άνισης διασταύρωσης, αποτελεί την βάση για τον πολυμορφισμό. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιήθηκε, ώστε να αναπτυχθούν δείκτες ικανοί να διαφοροποιήσουν τη ρίγανη (*O. vulgare* L.) από τους νοθευτές της (Sun et al., 2023). Επίσης, με τη χρήση της τεχνικής ISSR, μια μέθοδο βασισμένη στην PCR που χρησιμοποιεί μικροδορυφόρους ως εκκινητές σε μια ενιαία αντίδραση, στοχεύοντας σε πολλαπλούς γονιδιωματικούς τόπους, έγινε η επιτυχής διάκριση της ελληνικής πιπεριάς «Φλωρίνης» από τους νοθευτές της, δηλαδή πιπεριές τύπου «Φλωρίνης» και πιπεριές «Καρατζόβας» (Mougiou et al., 2021).

Οι δείκτες RAPD-PCR είναι θραύσματα DNA, που προέρχονται από την ενίσχυση PCR τυχαίων τμημάτων γονιδιωματικού DNA με έναν απλό εκκινητή αυθαίρετων αλληλουχιών νουκλεοτιδίων. Αυτή η τεχνική που βασίζεται στο DNA, έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για την αναγνώριση μολυσματικών ουσιών φυτικής προέλευσης σε μπαχαρικά και αρωματικά φυτά τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια (Bansal et al., 2019). Η ανάλυση RAPD, έχει χαμηλό κόστος λειτουργίας και μπορεί να διακρίνει εύκολα διαφορετικές βοτανικές ποικιλίες. Συγκεκριμένα, με τη

χρήση τεσσάρων εκκινητών RAPD (OPA 02, OPA 04, OPA 07 και OPC 05), ανιχνεύτηκαν δύο είδη από κουρκούμη, τα *C. Longa* και *Curcuma zedoaria*, ως νοθευτές της σκόνης κουρκουμά. Διαπιστώθηκε ότι τρία δείγματα σκόνης κουρκουμά στην αγορά ήταν νοθευμένα με *C. Zedoaria*. Μια άλλη μέθοδος, αποτελούμενη από τρεις επιλεγμένους εκκινητές RAPD (OPA-2, OPA-15 και OPA-10), οι οποίοι παρήγαγαν συγκεκριμένες ζώνες από τους νοθευτές αποξηραμένη κόκκινη σκόνη τεύτλων, σκόνη από κέλυφος αμυγδάλου και κονιοποιημένους καρπούς *Ziziphus nummularia*, χρησιμοποιήθηκε για να διακρίνουν την αυθεντικότητα της σκόνης τσίλι. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι από τα έξι δείγματα της αγοράς που αναλύθηκαν, μόνο ένα δείγμα ενίσχυσε την ειδική ζώνη για το *Z. nummularia*, υποδεικνύοντας την εμφάνιση νοθείας σε δείγματα σκόνης τσίλι με αυτό το φυτό. Επίσης, παρατηρείται μία μέθοδος βασισμένη σε πέντε εκκινητές ολιγονουκλεοτιδίου δεκαμερούς (OPC-1, OPC-4, OPC-6, OPC-7 και OPC-8), οι οποίοι είναι ικανοί να διακρίνουν τη νοθεία των σπόρων παπάγιας (*Carica papaya* L) στο μαύρο πιπέρι (*Piper nigrum* L.), μέσω της παρουσίας ή απουσίας ορισμένων ζωνών (Rodriguez et al., 2023).

Το SCAR-PCR αποτελεί πρόοδο στη χρήση δεικτών τυχαίας ενίσχυσης πολυμορφικού DNA (RAPD) στην ανάλυση DNA. Είναι μια τεχνική βασισμένη στο RAPD-PCR που αύξησε την ευαισθησία, την ειδικότητα και την αξιοπιστία της βασικής τεχνικής και χρησιμοποιείται για γενετικό χαρακτηρισμό και έλεγχο ταυτότητας οργανισμών. Ο δείκτης SCAR είναι ένα θραύσμα DNA που ενισχύεται με PCR χρησιμοποιώντας ειδικούς εκκινητές 18–26 ζευγών βάσεων. Αυτοί οι εκκινητές σχεδιάζονται από αλληλουχίες νουκλεοτιδίων που έχουν κλωνοποιηθεί από θραύσματα RAPD ή άλλα θραύσματα που προέρχονται από δείκτες DNA. Αυτή η τεχνική που βασίζεται στο DNA έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως την τελευταία δεκαετία για τον εντοπισμό της νοθείας σε μπαχαρικά και αρωματικά φυτά (Mei et al., 2020). Η μέθοδος SCAR-PCR χρησιμοποιήθηκε για τον εντοπισμό νοθείας του σαφράν με είδη κουρκουμά, που περιέχουν τη χρωστική κουρκουμίνη, όπως *Curcuma zedoaria* και *Curcuma malabarica*, κατά την οποία σχεδιάστηκαν δύο ζεύγη εκκινητών SCAR από τους δείκτες RAPD, «Cur 01» και «Cur 02», για την ανίχνευση των νοθευτών. Η αποτελεσματικότητα των δεικτών SCAR ήταν υψηλή, καθώς ήταν σε θέση να ανιχνεύσουν τη νοθεία ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις (10 g νοθεύοντος/kg σκόνης κουρκουμά) (Bansal et al., 2019). Επίσης, με την ενίσχυση δύο ειδικών ζωνών με εκκινητές SCAR, εντοπίστηκε η νοθεία από πέταλα του φυτού *Carthamus tinctorius* σε δείγματα σαφράν του εμπορίου, με όριο ανίχνευσης το 1% του φυτού. Άλλες μέθοδοι SCAR-PCR περιλαμβάνουν την ανίχνευση φύλλων ελιάς, *Satureja montana* L., και *Origanum majoranum* L. στη ρίγανη και την παρουσία φυτικών υλικών στο τσίλι. Αν και η SCAR-PCR αποτελεί μια ευαίσθητη τεχνική και αρκετά χρήσιμη για την ανίχνευση της νοθείας των μπαχαρικών και των αρωματικών φυτών, ένας

περιορισμός της είναι η ανάγκη για δεδομένα αλληλουχίας για το σχεδιασμό των εκκινητών PCR (Ganie et al., 2015; Galvin-King 2020; Rodriguez et al., 2023).

Με την περαιτέρω ανάπτυξη αναλυτικών τεχνικών που βασίζονται στη μοριακή βιολογία, η τεχνολογία DNA barcoding εφαρμόζεται σταδιακά για τη μοριακή ταυτοποίηση ειδών μπαχαρικών και αρωματικών φυτών (Li et al., 2015). Αποτελεί μια νέα μέθοδο βιολογικής ταυτοποίησης, η οποία χρησιμοποιεί σχετικά μικρά θραύσματα γονιδιωματικού DNA ως δείκτες για τα διάφορα φυτικά είδη και προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Καναδό Paul Hebert το 2003. Το DNA barcoding είναι μια γρήγορη, αξιόπιστη και ευαίσθητη μέθοδος για ένα ευρύ φάσμα προϊόντων διατροφής, ακόμη και για έντονα επεξεργασμένα τρόφιμα (Galimberti et al., 2013). Αυτή η τεχνική, μόνη της ή σε συνδυασμό με άλλες, έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την ανίχνευση της νοθείας σε αρωματικά φυτά και μπαχαρικά. Συγκεκριμένα, με τη χρήση του DNA barcoding, αναπτύχθηκε μια μέθοδος για τη διάκριση των αρωματικών φυτών που ανήκουν στην οικογένεια Lamiaceae (*Mentha*, *Ocimum*, *Origanum*, *Salvia*, *Thymus* και *Rosmarinus*) από τις ουσίες που προκαλούν τη νοθεία τους. Αξιολογήθηκαν τέσσερις περιοχές γραμμικού κώδικα (μόνες και σε συνδυασμό) και προτάθηκε ότι ο μη κωδικοποιητικός διαγονιδιακός διαχωριστής *trnH-psbA* είναι ο καταλληλότερος δείκτης για τη μοριακή ταυτοποίηση των αρωματικών φυτών. Επιπλέον, εφαρμόστηκε μια προσέγγιση γραμμικού κώδικα πολλαπλών θέσεων βασισμένη στον συνδυασμό *matK+trnH-psbA* για τη διάκριση μεταξύ των αρωματικών φυτών-στόχων και των νοθευτών τους. Οι δείκτες ήταν σχεδόν πάντα σε θέση να διακρίνουν τα είδη των αρωματικών φυτών από τα πλησιέστερα είδη, με εξαίρεση τα δείγματα που ανήκουν στο γένος *Ορίγανον*. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιήθηκε επίσης για τον εντοπισμό της νοθείας 16 τύπων φυσικών αρωματικών φυτών και μπαχαρικών σε σκόνη (κύμινο, σκόρδο, μάραθο, κανέλα, πιπεριά, φύλλα δάφνης και γαρύφαλλο, μεταξύ άλλων) με συγγενικά είδη, φθηνότερα υποκατάστατα με παρόμοιο χρώμα ή εμφάνιση ή άλλα φυτικά προϊόντα όπως το ρύζι, το καλαμπόκι ή το αλεύρι σίτου (Zhang et al., 2019). Από τον συνδυασμό δύο γραμμωτών κωδικών (*ITS* και *psbA-trnH*), πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση της νοθείας 16 τύπων μαγειρικών μπαχαρικών με προϊόντα όπως, *Triticum aestivum* L. (σιτάρι), *Oryza sativa* L. (ρύζι) και *Zea mays* L. (καλαμπόκι). Παρατηρήθηκε ότι δύο από τα τριάντα εμπορικά προϊόντα που δοκιμάστηκαν ήταν νοθευμένα με *O. Sativa* (Zhou et al., 2023). Προτάθηκε επιπλέον, η χρήση του DNA barcoding σε συνδυασμό με κατάλληλες παραδοσιακές χημικές μεθόδους για την ανίχνευση της νοθείας βασιλικού, ρίγανης και πάπρικας (Raclaríu-Manolica et al., 2021). Τέλος, αναπτύχθηκε μία μέθοδος που συνδύαζε SCAR-PCR και DNA barcoding. Προέκυψε ότι, οι SCAR δείκτες, SAFL4, SAFL40, SCCt131 και ScCO390 και ο τόπος γραμμικού κώδικα *psbA-trnH* ήταν χρήσιμοι για την ανίχνευση της νοθείας του σαφράν από *Carthamus tinctorius* και *Calendula*.

Τα όρια ανίχνευσης ήταν 0,5% (*Carthamus tinctorius*) και 3% (*Calendula*) στο σαφράν (*C. sativus* L.) (Bansal et al., 2019).

3.4 Φασματοσκοπικές μέθοδοι

Οι μέθοδοι φασματοσκοπίας βασίζονται στη μελέτη της αλληλεπίδρασης μεταξύ της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και της δομής και σύνθεσης της ύλης, με την απορρόφηση ή την εκπομπή ακτινοβολούμενης ενέργειας. Μπορούν να χωριστούν ευρέως, με βάση το είδος που θα αναλυθεί, τον τύπο της ακτινοβολίας αλλά και τον τύπο της αλληλεπίδρασης ακτινοβολίας-ύλης (Penner 2017). Η χρήση αυτών των μεθόδων για τον έλεγχο νοθείας σε μπαχαρικά και αρωματικά φυτά περιλαμβάνει τεχνικές φασματοσκοπίας όπως, υπεριώδη και ορατή (UV–vis), υπέρυθρη, δονητική, φθορισμό, Raman και πυρηνικό μαγνητικό συντονισμό (NMR). Αυτές οι σύγχρονες ενόργανες τεχνικές έχουν ως επί το πλείστον συνδυαστεί με στατιστικά εργαλεία που βασίζονται σε μονομεταβλητές και πολυμεταβλητές (χημειομετρικές) στατιστικές για τον εντοπισμό νοθείας και απάτης στα αρωματικά φυτά και μπαχαρικά. (Rodríguez et al., 2023). Οι μέθοδοι που βασίζονται στη φασματοσκοπία, οι τεχνικές αναγνώρισης προτύπων και οι αλγόριθμοι είναι πολύ κατάλληλοι για την ανάλυση νοθειών στα προϊόντα αυτά, επειδή είναι εύχρηστες, παρέχουν γρήγορη ανάλυση και δεν απαιτούν προετοιμασία δείγματος (Chao et al., 2020 , Li et al., 2020, Lima et al., 2020, Oliveira et al., 2020).

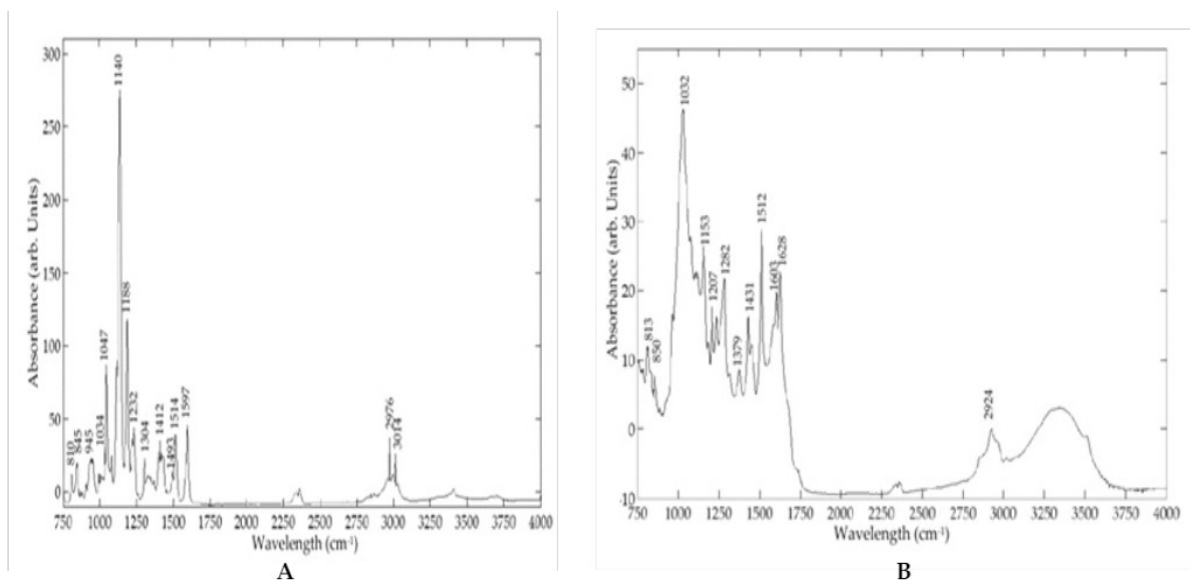
Οι φασματοσκοπικές μέθοδοι, χρησιμοποιώντας φασματικά χαρακτηριστικά που είναι πληροφοριακά για την αυθεντικότητα, έχουν δείξει μεγάλες δυνατότητες στην ανάλυση αλεσμένου μαύρου πιπεριού. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες από αυτές τις μεθόδους φασματοσκοπικής ανάλυσης είναι η υπέρυθρη φασματοσκοπία μετασχηματισμού Fourier (FTIR) (Valand et al., 2020), η υπέρυθρη απεικόνιση μέσου μετασχηματισμού Fourier με μικρο-εξασθετισμένη ολική ανάκλαση (micro-ATR-FTIR Imaging) (Lafeuille, Frégière-Salomon, Michelet, & Henry, 2020), φασματοσκοπία μετασχηματισμού διάχυτης ανάκλασης υπέρυθρου Fourier (DRIFTS) (Hu, Yin, Ma, & Liu, 2018), φασματοσκοπία εγγύς υπέρυθρου (NIR) (Massaro et al., 2022), και υπερφασματική απεικόνιση (HSI) (Orrillo et al., 2019).

Η φασματοσκοπία UV–vis αποτελεί μια απλή και φθηνή μέθοδο, που βασίζεται στην απορρόφηση χημικών ομάδων όπως αρωματικές, συζευγμένες ή ακόρεστες ενώσεις, που στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτεί προκατεργασία του δείγματος. Στηρίζεται στην αρχή του νόμου του Beer-Lambert και οι αναλυτικές μετρήσεις πραγματοποιούνται μεταξύ 200 και 800 nm. Παρά τη δυσκολία της ερμηνείας του φάσματος UV-vis λόγω της πολύπλοκης φύσης του, αυτή η τεχνική έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως, σε συνδυασμό με μεθόδους πολυπαραγοντικής ανάλυσης, για τον

εντοπισμό και τον ποσοτικό προσδιορισμό τεχνητών χρωστικών σε μπαχαρικά και αρωματικά φυτά. Συγκεκριμένα, από φάσματα UV-vis αιθανολικών εκχυλισμάτων τριών ποικιλιών πάπρικας, χρησιμοποιώντας ως τεχνικές ταξινόμησης, την ανάλυση μερικών ελαχίστων τετραγώνων (PLS-DA) και τον αλγόριθμο k-κοντινότεροι γείτονες (KNN), ανιχνεύτηκε η νοθεία έως και 1-5 ppm Sudan I και μείγματα βαφών Sudan I + IV (Vera et al., 2018). Επίσης, από την ανάλυση των φασμάτων UV-vis δεύτερου παραγώγου των υδατικών εκχυλισμάτων σαφράν, εντοπίστηκε η νοθεία αυτού του μπαχαρικού με καρμινικό οξύ μέχρι το επίπεδο του 2,0% (w/w) (Ordoudi et al., 2018).

Σύμφωνα με πρόσφατες ανασκοπήσεις, φαίνεται ότι οι φασματοσκοπικές τεχνικές IR είναι χρήσιμες για τον έλεγχο γνησιότητας δειγμάτων μπαχαρικών για ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό, σε συνδυασμό με πολυπαραγοντική χημική ανάλυση. Με βάση τη συχνότητα της εφαρμοζόμενης ακτινοβολίας, η φασματοσκοπία IR μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε Near-IR (NIR 750-1400 nm) και mid-IR (MIR 1400-25.000 nm) (Pare et al., 2019; Kucharska-Ambrożej et al., 2020; Oliveira et al., 2019). Σήμερα, για τα περισσότερα όργανα mid-IR, το σήμα υποβάλλεται στη συνάρτηση μετασχηματισμού Fourier χρησιμοποιώντας ένα συμβολόμετρο για τη δημιουργία του φάσματος (FT-IR). Τα δείγματα για ανάλυση FT-IR είναι συμπαγή, με κοσκινισμένη επεξεργασία. Η φασματοσκοπία υπέρυθρου μετασχηματισμού Fourier (FTIR) είναι μια ταχεία, μη καταστροφική αναλυτική τεχνική που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση νοθείας σε προϊόντα διατροφής, συμπεριλαμβανομένων των μπαχαρικών. Η νοθεία του μαύρου πιπεριού και του κύμινου σε μορφή σκόνης, με ουσίες όπως άμυλο μανιόκας και κορν φλάουρ, ανιχνεύθηκε αποτελεσματικά με mid-IR, χρησιμοποιώντας για την ανάλυση των φασμάτων την πολυπαραγοντική τεχνική SIMCA (soft independent modelling of class analogy), μεταξύ άλλων (De Lima et al., 2020). Η υπέρυθρη φασματοσκοπία IR, εφαρμόστηκε επίσης για την μη καταστροφική ανίχνευση της νοθείας σε σκόνη κουρκουμά, από άμυλο και από τις βαφές κόκκινο Sudan και κίτρινο Metanil (Emadi et al., 2021). Η μέθοδος FT-IR χρησιμοποιήθηκε ως μέθοδος ελέγχου για τον εντοπισμό νοθείας της κανέλας (*C. verum* και *C. cassia*) στις αλυσίδες εφοδιασμού, με την παροχή ακριβών και γρήγορων αποτελεσμάτων χωρίς προετοιμασία δείγματος (Lixourgioti et al., 2022), αλλά και για την ανίχνευση της βαφής Sudan Red G που ήταν αναμειγμένη με κίτρινη σκόνη κουρκουμά (Dhakal et al., 2019). Σε μία άλλη έρευνα, χρησιμοποιήθηκαν ένα φορητό φασματόμετρο εγγύς υπέρυθρου (NIRS) και ένα φασματόμετρο πάγκου FT-IR, για την ανίχνευση και τον ποσοτικό προσδιορισμό νοθείας σε σκόνη κύμινου από φλοιούς από φιστίκια, πεκάν και καρύδια. Αν και το FT-IR αποδείχθηκε ανώτερο από το φορητό φασματόμετρο NIRS, το τελευταίο επειδή είναι μεταφερόμενο και φθηνότερο από το FT-IR, θα μπορούσε επίσης να εφαρμοστεί κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας ως τεχνική διαλογής (Cruz-Tirado et al., 2023). Η φασματοσκοπία FT-IR

σε συνδυασμό με την FT-Raman, εφαρμόστηκαν για την ποσοτική αξιολόγηση διαφορετικών συγκεντρώσεων της συνθετικής βαφής Metanil yellow σε σκόνη κουρκουμά (Dhakal et al. 2016). Οι κορυφές των φασμάτων FT-IR του Metanil yellow και της σκόνης κουρκουμά, παρατηρούνται σε ποικίλα μήκη κύματος λόγω της διακύμανσης στην απόκριση των λειτουργικών ομάδων στην ακτινοβολία IR. Για παράδειγμα, η κορυφή στα 1140 cm^{-1} στο Metanil yellow οφείλεται στο δεσμό N=N.



Εικόνα 3.2 Φάσματα FT-IR του (A) Metanil yellow (B) Κουρκουμά σε σκόνη (Dhakal et al., 2016; Bharathi et al., 2019).

Η φασματοσκοπία Raman είναι μια τεχνική που βασίζεται στην ανελαστική σκέδαση Raman (Raman effect), του μονοχρωματικού φωτός, η οποία αλλάζει όταν αλληλεπιδρά με ένα δείγμα. Αυτή η αλλαγή παρέχει πληροφορίες σχετικά με δονητικές, περιστροφικές και άλλες μεταβάσεις χαμηλής συχνότητας στα μόρια των δειγμάτων. Ως πηγή φωτός, χρησιμοποιούνται συχνά μονοχρωματικές δίοδοι λέιζερ στερεάς κατάστασης. Αυτή η τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση οργανικών δειγμάτων (στερεών, υγρών και αερίων) προσυσκευασμένων σε πλαστικό ή γυαλί, καθιστώντας την εφικτή για χρήση σε μαζικές βιομηχανικές εφαρμογές. Στην περίπτωση δειγμάτων σε σκόνη όπως τα μπαχαρικά, εφαρμόζεται η τεχνική που ονομάζεται φασματοσκοπία Raman ενισχυμένης επιφάνειας (SERS), κατά την οποία το δείγμα εναποτίθεται σε κολλοειδείς ή συμπαγείς μεταλλικές επιφάνειες, αυξάνοντας την ένταση του σήματος λόγω αλληλεπίδρασης και μεταφοράς φορτίου μεταξύ του προσροφημένου δείγματος

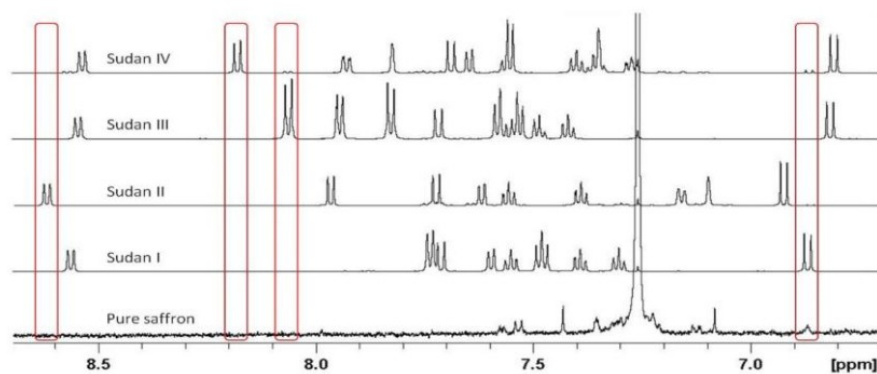
και της μεταλλικής επιφάνειας (Modupalli et al., 2021). Η τεχνική SERS είναι εξαιρετικά ειδική καθώς προσδιορίζει μόρια με βάση τα δονητικά δακτυλικά αποτυπώματά τους και έτσι επιτρέπει την ανίχνευση με υψηλή ευαισθησία. Έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες για την εφαρμογή του SERS στην ανίχνευση νοθείας στα μπαχαρικά, ειδικά για τον εντοπισμό της βαφής Sudan, λαμβάνοντας υπόψη τις καρκινογόνες και μεταλλαξιογόνες επιδράσεις της. Συγκεκριμένα, η απεικόνιση Raman και η φασματοσκοπία FT-IR εφαρμόστηκαν για την ανίχνευση νοθείας στη σκόνη κουρκουμά, από χρωστική Sudan Red και λευκό κουρκουμά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τόσο τα φάσματα IR όσο και τα φάσματα Raman μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό της μόλυνσης από το Sudan Red στην σκόνη κουρκουμά με την ανάπτυξη μοντέλων PLSR. Ωστόσο, οι κορυφές Raman του λευκού κουρκουμά αλληλεπικαλύπτονταν με τις κορυφές της σκόνης κουρκουμά, οπότε δεν ήταν δυνατή η αναγνώριση αυτής της νοθείας (Chao et al., 2020).

Η υπερφασματική απεικόνιση (HSI) συνδυάζει τόσο τη συμβατική όσο και τη φασματοσκοπική απεικόνιση και έχει ευρεία εφαρμογή στην ανάλυση ποιότητας και ασφάλειας τροφίμων και γεωργικών προϊόντων. Μπορεί να εφαρμοστεί για την παρακολούθηση των μπαχαρικών κατά τη διάρκεια των διεργασιών παραγωγής ή την οπτικοποίηση των επιλεγμένων χαρακτηριστικών σε ολόκληρο το δείγμα με μη καταστροφικό τρόπο (Oliveira et al., 2019). Χρησιμοποιήθηκαν φασματικές (400-1000 nm) και χωρικές πληροφορίες μοσχοκάρυδου, που λήφθηκαν χρησιμοποιώντας HSI για την ανάπτυξη μιας μεθόδου MLP-ANN, η οποία διέκρινε με επιτυχία τη μη αυθεντικότητα στα δείγματα (Kiani et al., 2019). Για τον έλεγχο ταυτότητας των ειδών κανέλας, τα δεδομένα NIR-HSI (1085–1700 nm) αναλύθηκαν, λαμβάνοντας ένα μοντέλο ταξινόμησης PLS-DA κατάλληλο για την αναγνώριση δειγμάτων *C. verum* (Cruz-Tirado et al., 2023). Η μη καταστροφική, γρήγορη και αποτελεσματική τεχνολογία υπερφασματικής απεικόνισης (HSI) σε συνδυασμό με χημειομετρία, χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη των χημικών δεικτών ποιότητας για τα μπαχαρικά κόκκινο «Huajiao» (*Zanthoxylum bungeanum*) και πράσινο «Huajiao» (*Zanthoxylum schinifolium*) (Wang et al., 2022). Η μέθοδος NIR-HSI έχει επίσης αναδειχθεί ως μια αξιόπιστη αναλυτική μέθοδος για την πρόβλεψη της νοθείας μαύρου πιπεριού με κοινούς σπόρους παπάγιας. Το μοντέλο PLS που εκτελέστηκε με επτά σημαντικά μήκη κύματος ακατέργαστων φασματικών δεδομένων παρουσιάζει μια καλή προγνωστική ικανότητα για την πρόβλεψη της συγκέντρωσης σπόρων παπάγιας (1–30%) σε δείγματα σκόνης μαύρου πιπεριού (Orrillo et al., 2019). Η ίδια τεχνική NIR-HSI (900–1710 nm), εφαρμόστηκε για την ανίχνευση κελυφών από καρύδια στο κύμινο. Τα καθαρά και νοθευμένα δείγματα ταξινομήθηκαν χρησιμοποιώντας SIMCA με ακρίβεια 95% και το μοντέλο PLSR ήταν σε θέση να προβλέψει επιτυχώς τη συγκέντρωση νοθείας (Florián-Huamán et al., 2022). Τέλος, ορατά και μικρά μήκη κύματος της υπερφασματικής απεικόνισης εγγύς υπερόθρου (Vis-SWNIR-HIS; 400–1000 nm),

έχουν προταθεί ως μια νέα τεχνική για τον έλεγχο ταυτότητας του κουρκουμά και την ανίχνευση της νοθείας του από ουσίες όπως, καλαμποκάλευρο, ρυζάλευρο, άμυλο, αλεύρι σίτου και *Curcuma zedoaria* (Hashemi-Nasab et al., 2023).

Η φασματοσκοπία μάζας αναλογίας ισοτόπων (IRMS) ως τεχνική στον έλεγχο ταυτότητας τροφίμων και στον ποιοτικό έλεγχο περιλαμβάνει την εξέταση της χημικής και βιολογικής προέλευσης μιας ουσίας (Dong et al. 2018). Τα ισότοπα χαρακτηρίζονται ως άτομα που έχουν τον ίδιο αριθμό πρωτονίων αλλά ποικίλο αριθμό νετρονίων. Οι παραλλαγές στις φυσικοχημικές ιδιότητες των ισοτόπων, γνωστές αλλιώς ως «κλασμάτωση» ή «φαινόμενο ισοτόπων» συμβαίνουν λόγω της σχετικά υψηλότερης δονητικής ενέργειας των χαμηλότερων ενεργειακών επιπέδων βαρύτερων ισοτόπων από εκείνη των ελαφρύτερων ισοτόπων. Δεδομένου ότι οι περιστροφικές και μεταφορικές/κινητικές ενέργειες των ισοτόπων είναι λίγο πολύ ίσες, οι μοριακές δονήσεις αποτελούν τη βάση για το IRMS (Sharp, 2017). Η μέθοδος αυτή, είναι χρήσιμη στον έλεγχο της γνησιότητας των μπαχαρικών, των αρωματικών φυτών και των προϊόντων τους όπως τα αιθέρια έλαια. Συγκεκριμένα έχει εφαρμοστεί για την ταχεία ανίχνευση νοθείας στη βανιλίνη, συγκρίνοντας τις τιμές ισοτόπων σταθερού άνθρακα και υδρογόνου του μορίου της και των ομάδων μεθοξυλίου βανιλίνης αυθεντικών και συνθετικών δειγμάτων διαφορετικής προέλευσης (Bharathi et al., 2019)

Η τεχνική φασματοσκοπίας πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού πρωτονίων ($^1\text{H-NMR}$) εστιάζει στην αναγνώριση της μοριακής διαμόρφωσης ενός δείγματος. Η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στον ποιοτικό έλεγχο μπαχαρικών όπως σαφράν, κουρκουμά, πάπρικα και κάρυ και στην ανίχνευση μολυσματικών ουσιών, ιδιαίτερα χρωστικών και διογκωτικών παραγόντων (Petraakis et al. 2017). Επίσης, η μέθοδος της φασματοσκοπίας NMR, εφαρμόζεται για την ανάλυση του δακτυλικού αποτυπώματος φυτικών υλών, την ταυτοποίηση του είδους και την εκτίμηση της αυθεντικότητας των μπαχαρικών και των αρωματικών φυτών. Συγκεκριμένα, μέσω της τεχνικής αυτής σε συνδυασμό με χημειομετρία, πραγματοποιήθηκε η ανίχνευση χρωστικών στην πάπρικα (Horn et al., 2021), και ο προσδιορισμός της γεωγραφικής και βοτανικής προέλευσης διαφόρων φυτικών προϊόντων (Kumari et al., 2021). Μέσω της γρήγορης και αξιόπιστης μεθόδου φασματοσκοπίας υψηλής ανάλυσης $^1\text{H NMR}$, έγινε η ταυτοποίηση των απαγορευμένων βαφών Sudan I–IV στο σαφράν. Για την ποσοτική ανάλυση, χρησιμοποιήθηκαν συγκεκριμένα διαφορετικά σήματα πρωτονίων, ώστε να ταυτοποιηθεί κάθε χρωστική του Sudan (Petraakis et al., 2017).



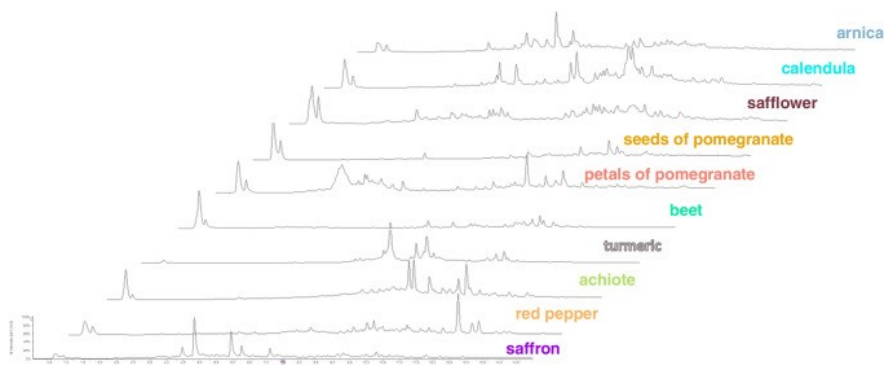
Εικόνα 3.3 Αρωματική περιοχή του φάσματος ^1H NMR των χρωστικών Sudan I-IV και του αγνού ελληνικού σαφράν. Τα πλαίσια δηλώνουν συγκεκριμένα σήματα που αξιοποιούνται για τη ταυτοποίηση κάθε χρωστικής στο νοθευμένο σαφράν (Pettrakis et al., 2017).

3.5 Φασματομετρία μάζας (MS)

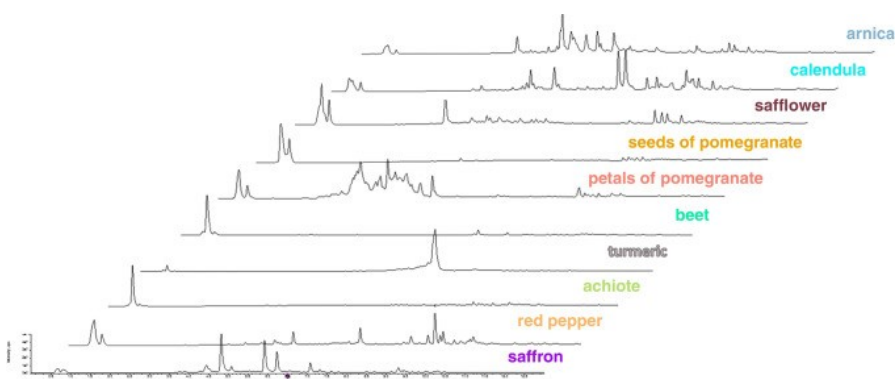
Έχει αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί μια σειρά από διαφορετικές μεθόδους ανίχνευσης για τον προσδιορισμό της γνησιότητας των αρωματικών φυτών και των μπαχαρικών. Η φασματομετρία μάζας (MS) επιτρέπει τον ποσοτικό προσδιορισμό γνωστών αναλυόμενων ουσιών σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Πρόκειται για μια εξαιρετικά ειδική και ευαίσθητη τεχνική, αν και είναι δαπανηρή και απαιτεί σημαντική εργαστηριακή εμπειρία. Αποτελεί ισχυρό εργαλείο για την καταπολέμηση της απάτης στα τρόφιμα και σε πολλές βιομηχανίες, χρησιμοποιείται ως η τεχνική πρότυπο. Οι μέθοδοι περιλαμβάνουν αέρια χρωματογραφία (GC-MS), υγρή χρωματογραφία (LC-MS), αναλογία ισοτόπων (IR-MS) και επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα (ICP-MS). Μόλις αναπτυχθεί μια στοχευμένη μέθοδος, η φασματομετρία μάζας μπορεί να εφαρμοστεί ως μια εξαιρετικά ειδική και ευαίσθητη τεχνική και να ποσοτικοποιήσει γνωστές αναλυόμενες ουσίες σε συγκεντρώσεις κάτω των μg (Ellis et al., 2015).

Συγκεκριμένα, η υγρή χρωματογραφία συζευγμένη με φασματομετρία μάζας υψηλής ανάλυσης (LC-HRMS) χρησιμοποιήθηκε ως μέρος μιας προσέγγισης δύο επιπέδων για την ανίχνευση της νοθείας στη ρίγανη (Lafeuille et al., 2022). Η ανάλυση ήταν μη στοχευμένη και με τη χρήση της ανάλυσης κύριων συνιστωσών (PCA) και της ορθογώνιας ανάλυσης διάκρισης μερικών ελαχίστων τετραγώνων (OPLS-DA), εντοπίστηκαν χημειομετρικά βιοδείκτες ειδικοί για τις κατηγορίες (ρίγανη και διάφοροι νοθευτές). Η αναγνώριση τέτοιων βιοδεικτών επέτρεψε περαιτέρω εξελίξεις στην ανίχνευση νοθείας με στοχευμένη φασματομετρία μάζας, και με τη χρήση

στοχευμένου FTIR (υπέρυθρο μετασχηματισμό Fourier) και LC-MS/MS πραγματοποιήθηκε ποσοτική ανίχνευση νοθείας στη ρίγανη (Wielogorska et al., 2018). Ορισμένοι ερευνητές, ανέπτυξαν και επικύρωσαν τη τεχνική της φασματομετρίας μάζας LC-υψηλής ανάλυσης (LC-HRMS) για τον έλεγχο και την επιβεβαίωση της νοθείας της ρίγανης με φύλλα ελιάς, φύλλα μυρτιάς, φύλλα φουντουκιού, φύλλα σουμάκ και φύλλα κίστου (Haughey et al., 2016). Οι μέθοδοι της υγρής χρωματογραφίας και της φασματομετρίας μάζας UHPLC-MS/MS, σε συνδυασμό με τη χρήση πολυμεταβλητών στατιστικών μεθόδων, χρησιμοποιήθηκαν για τη μη στοχευμένη ανάλυση της νοθείας του σαφράν. Παρατηρήθηκε η ανάλυση των μεταβολιτών που εκχυλίστηκαν με υδατική αιθανόλη τόσο από δείγματα σαφράν, όσο και από όλους τους πιθανούς φυτικούς νοθευτές. Οι εικόνες 3.4 και 3.5 τεκμηριώνουν έντονες διαφορές στα δακτυλικά αποτυπώματα UHPLC-HRMS που ελήφθησαν από την ανάλυση σαφράν, άρνικας, καλέντουλας, *Carthamus tinctorius*, κουρκουμά, αχιότης, κόκκινης πιπεριάς, σπόρων και πετάλων ροδιού και κόκκινου τεύτλου τόσο σε ESI+ όσο και σε ESI- (Electrospray ionization) (Kvirencova et al., 2023).



Εικόνα 3.4 Δακτυλικά αποτυπώματα UHPLC-(ESI+)-HRMS σαφράν και των πιθανών νοθευτών του (Kvirencova et al., 2023).



Εικόνα 3.5 Δακτυλικά αποτυπώματα UHPLC-(ESI-)-HRMS σαφράν και των πιθανών νοθευτών του (Kvirencova et al., 2023).

Πρόσφατα, διάφοροι επιστήμονες απέδειξαν την ικανότητα των μεθόδων φασματομετρίας μάζας που ενσωματώνονται με στατιστικά εργαλεία, να προβλέψουν την νοθεία και την γεωγραφική προέλευση του μαύρου πιπεριού (Alewijn et al., 2022, Liang et al., 2021, Massaro, et al., 2021, Zacometti et al., 2024). Ο έλεγχος ταυτότητας του αλεσμένου μαύρου πιπεριού αποτελεί μια σημαντική ανησυχία, δημιουργώντας την ανάγκη για ένα γρήγορο, εξαιρετικά ευαίσθητο και ειδικό εργαλείο ανίχνευσης, για την πρόληψη της εισαγωγής νοθευμένων παρτίδων στην τροφική αλυσίδα. Αξιοποιώντας τη στενή σύνδεση μεταξύ των πτητικών δευτερογενών μεταβολιτών και της ποιότητας του μαύρου πιπεριού, η ανάλυσή τους με αέρια χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας (GC-MS) θεωρείται μια ισχυρή στρατηγική για την ανίχνευση νοθείας.

Μια αναδυόμενη τεχνική για την ανίχνευση νόθευσης σε μπαχαρικά και συγκεκριμένα στο μαύρο πιπέρι, που μπορεί να είναι δυνητικά χρήσιμη για την προέλευση και τη διερεύνηση της αυθεντικότητας των προϊόντων, είναι η φασματομετρία κινητικότητας ιόντων-αερίας χρωματογραφίας headspace (HS-GC-IMS). Η μέθοδος χαρακτηρίζεται από μη προετοιμασία δείγματος και απαιτεί 20 λεπτά για τον χρωματογραφικό διαχωρισμό και τη λήψη δεδομένων κινητικότητας ιόντων. Αυτό το αναλυτικό διάλυμα επιτρέπει τον δισδιάστατο (2D) διαχωρισμό πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) από στερεά (ή υγρά) δείγματα με περιορισμένη ή καθόλου προετοιμασία δείγματος. Μετά τον διαχωρισμό, με βάση τους χρόνους κατακράτησης τους (RT), τα ιόντα της αερίας φάσης διαχωρίζονται περαιτέρω με βάση τη διαφορετική κινητικότητα τους, μέσα σε ένα σωλήνα που υποβάλλεται σε ένα σταθερό ασθενές ηλεκτρικό πεδίο και ένα αντίθετης ροής παρασυρόμενο αέριο. Αυτό το εργαλείο HS-GC-IMS επιτρέπει τον διαχωρισμό ισομερών ενώσεων. Μέσω αυτής της μεθόδου, μπορεί να μειωθεί η χρήση των χρονοβόρων συμβατικών αναλύσεων και παράλληλα να αυξηθεί ο αριθμός των δειγμάτων αλεσμένου μαύρου πιπεριού που αναλύονται σε πλαίσιο βιομηχανικού ποιοτικού ελέγχου (Zacometti et al., 2024).

3.6 Άλλες μέθοδοι ανίχνευσης

3.6.1 Ανοσολογικές δοκιμές

Οι ανοσοδοκιμασίες αποτελούν εναλλακτική λύση στις ακριβές χρωματογραφικές μεθόδους, ειδικά για σκοπούς διαλογής, καθώς είναι γρήγορες, ευαίσθητες και ειδικές. Το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο και αποτελεσματικό ανοσολογικό τεστ για την ανίχνευση νοθειών σε πολλά εμπορικά προϊόντα μπαχαρικών είναι η Ενζυμική Ανοσοπροσροφητική Δοκιμασία (ELISA). Οι ανοσολογικές τεχνικές βασίζονται στην ειδική αλληλεπίδραση ενός αντιγόνου με συμπληρωματικά αντισώματα. Από τον σχηματισμό του συμπλέγματος αντιγόνου-αντισώματος, γίνεται η

αναγνώριση συγκεκριμένων φυτικών προϊόντων. Το αποτέλεσμα μπορεί να είναι, σε μια ποιοτική ELISA, ένα απλό θετικό ή αρνητικό αποτέλεσμα για νοθεία, ή σε μια ποσοτική ανάλυση, μια μέτρηση της ποσότητας του νοθευτή. Η μέθοδος της Ενζυμικής Ανοσοπροσοφθητικής Δοκιμασίας (ELISA) εφαρμόζεται συχνά για την ανίχνευση παράνομων βαφών στα μπαχαρικά. Συγκεκριμένα, μέσω της ανάλυσης ELISA, ανιχνεύτηκε με υψηλή ευαισθησία η ροδαμίνη Β, μια συνθετική χρωστική που χρησιμοποιείται παράνομα για τη βελτίωση του χρώματος του τσίλι σε σκόνη (Wang et al. 2021).

3.6.2 Φυσικές και αισθητηριακές αναλύσεις

Κατά τη φυσική ανάλυση χρησιμοποιούνται μέθοδοι όπως, οπτική επιθεώρηση, χειροκίνητος χειρισμός και αισθητηριακή αξιολόγηση με βάση διάφορες παραμέτρους που περιλαμβάνουν χρώμα, μόλυνση από μούχλα, ζωντανά ή νεκρά έντομα, μόλυνση από τρωκτικά, ξένη ύλη, οσμή/γεύση (Pantola et al.,2024).

Οι τεχνικές της αισθητηριακής ανάλυσης χρησιμοποιούνται ευρέως για τον εντοπισμό απάτης ή νοθείας στα μπαχαρικά και τα αρωματικά φυτά, λόγω των ιδιαίτερων οργανοληπτικών τους ιδιοτήτων. Εκτός από τον ανθρώπινο παράγοντα, έχουν αναπτυχθεί διάφορες οργανικές τεχνικές για την τυποποίηση της αισθητηριακής ανάλυσης και την ανίχνευση νοθείας στα φυτικά αυτά προϊόντα. Τεχνικές όπως η gas chromatography-olfactometry (GC-O) και οι βιοαισθητήρες ηλεκτρονική γλώσσα (E-tongue), ηλεκτρονική μύτη (E-nose) και ηλεκτρονικό μάτι (E-eye) είναι διάφορες νέες τεχνικές που χρησιμοποιούνται. Είναι απλές, φορητές, γρήγορες, εξαιρετικά ευαίσθητες και επιλεκτικές. Βασίζονται σε ένα σύνολο αισθητήρων που μπορούν να ανιχνεύσουν πολύπλοκα πτητικά που υπάρχουν στον υπερκείμενο χώρο των δειγμάτων τροφίμων.

Τα συστήματα ηλεκτρονικής μύτης (E-nose) σε συνδυασμό με ηλεκτρονικά εργαλεία επεξεργασίας δεδομένων αποτελούνται από μια σειρά αισθητήρων αερίων που μπορούν να μιμηθούν την οσφρητική λειτουργία της ανθρώπινης μύτης σε διάφορες λειτουργικές πτυχές. Μία E-nose αποτελείται από ένα σύστημα παράδοσης δείγματος, το οποίο απορροφά πτητικές ουσίες από το δείγμα που πρόκειται να αναλυθεί, ένα σύστημα ανίχνευσης και ένα υπολογιστικό σύστημα. Ένα σημαντικό κομμάτι του συστήματος E-nose, είναι η μονάδα επεξεργασίας δεδομένων, που λειτουργεί μέσω ανάλυσης κύριων συστατικών, μερικών ελαχίστων τετραγώνων, ανάλυσης λειτουργικής διάκρισης, ιεραρχικής ανάλυσης συστάδων, ασαφούς λογικής ή με αλγόριθμους τεχνητού νευρωνικού δικτύου (Omatu & Yano 2016). Τα νευρωνικά δίκτυα λειτουργούν με βάση τη λειτουργική χαρτογράφηση μεταξύ γνωστών και άγνωστων δειγμάτων. Η επεξεργασία

πληροφοριών σε μια ηλεκτρονική μύτη γίνεται κατά μήκος ενός αριθμού εισερχόμενων και κρυφών επιπέδων που ομαδοποιούνται με βάση τις ομοιότητες και τις διαφορές για να δώσουν μια ενιαία ψηφιακή έξοδο (Adak & Yumusak 2016).

Η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της ποιότητας των μπαχαρικών και των αρωματικών φυτών, στα οποία το άρωμα, η γεύση και το χρώμα είναι πρωταρχικής σημασίας (Leela et al. 2017). Η ηλεκτρονική μύτη χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς για την ταξινόμηση τριών ελαίων μπαχαρικών (λάδι κάρδαμου, γαρύφαλλου και μοσχοκάρυδου) με ακρίβεια περίπου 97,1%. Επίσης, ανιχνεύτηκε η νοθεία του σαφράν από στίγμα *Carthamus tinctorius* και καλαμποκιού. Οι αισθητήρες MOS (Metal Oxide Semiconductors), που περιέχονται στην E-nose, έδωσαν επιτυχώς τα αποτυπώματα αρώματος των καθαρών και νοθευμένων ενώσεων. Τα ληφθέντα χαρακτηριστικά αξιολογήθηκαν με ανάλυση κύριων συστατικών και τεχνητό νευρωνικό δίκτυο και διαπιστώθηκε ότι το E-nose θα μπορούσε να παρέχει ακρίβεια ταξινόμησης 100% και 86,87% για το αρχικό σαφράν και άλλες ουσίες νοθείας, αντίστοιχα (Heidarbeigi et al., 2015; Bharathi et al., 2019).

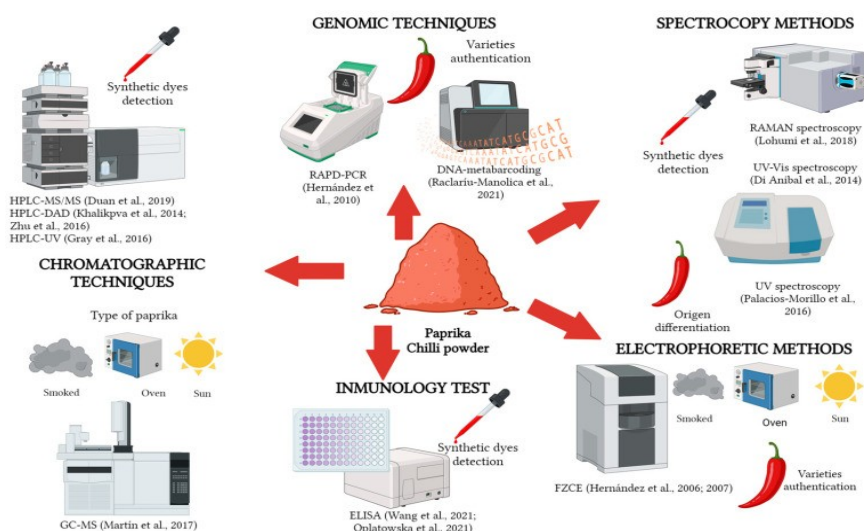
3.6.3 Τεχνικές Μικροσκοπίας

Η μικροσκόπηση έχει αποδειχθεί ένα απλό και γρήγορο εργαλείο για τον προκαταρκτικό έλεγχο της ταυτότητας και της καθαρότητας των μπαχαρικών, συγκρίνοντας τους εκάστοτε φυτικούς ιστούς με τα τυπικά ιστολογικά χαρακτηριστικά κάθε μπαχαρικού. Ορισμένοι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει διάφορες μικροσκοπικές τεχνικές, όπως η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης, για την ανίχνευση της νοθείας των μπαχαρικών και των αρωματικών φυτών (Osman et al., 2019). Συγκεκριμένα, η μικροσκοπική τεχνική έχει εφαρμοστεί για την διάκριση των μικρομορφολογικών χαρακτηριστικών των αμιγών σκονών μπαχαρικών (σκόνη από κύμινο, τσίλι, πιπέρι και μουστάρδα) από τους νοθευτές τους (άμυλο, άχυρα φυτών και γλουταμινικό μονονάτριο), αλλά και για τον εντοπισμό νοθείας στη σκόνη μαύρου πιπεριού από σκόνη σπόρων παπάγιας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν περισσότερες από μία τεχνικές για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων, όπως ο συνδυασμός της μικροσκοπίας και της GC-MS για την ανίχνευση νοθείας σε σπόρους μάραθου (Ma et al., 2015; Vadivel et al., 2018).

Πίνακας 3.1 Παραδείγματα νοθείας αρωματικών φυτών και μπαχαρικών και οι μέθοδοι ανίχνευσής τους

Μπαχαρικά/ Αρωματικά Φυτά	Νοθεία/Απάτη	Μέθοδος Ανίχνευσης	Βιβλιογραφικές Αναφορές
Πάπρικα σε σκόνη	Sudan I και Rhodamine B	HPLC-MS/MS	Duan et al., 2019
Σκόνη τσίλι και πάπρικα	Sudan I και II	HPLC-DAD	Zhu et al., 2016
Τσίλι σε σκόνη	Sudan	LC-UV/Vis	Gray et al., 2016
	Rhodamine B	ELISA	Wang et al., 2021
Σαφράν	Κουρκουμάς και κατιφές	HS-GC-FID	Morozzi et al., 2019
	Ταγέτης και <i>Carthamus tinctorius</i>	GC-C-IRMS	Ghiasi et al., 2021
	<i>Carthamus tinctorius</i>	UHPLC-HRMS	Senizza et al., 2019
	Καλέντουλα	UHPLC-HRMS/MS	Hegazi et al., 2022
	<i>Crocus sativus</i> στήμονες, καλέντουλα, κουρκουμάς, γαρδένια	DRIFTS-FTIR	Petrakis et al., 2017
	Διάφορες χρωστικές	Ηλεκτρονική μύτη και χημειομετρικό εργαλείο	Kiani et al., 2017
	Γεωγραφική προέλευση	HPLC-DAD	Liu et al., 2018
	Είδη <i>Curcuma</i>	SCAR-PCR	Bansal et al., 2019
Κουρκουμάς σε σκόνη	Άμυλα από κασάβα, σιτάρι, κριθάρι, σίκαλη	DNA barcoding	Zhang et al., 2019
	Sudan Red, Metanil Yellow, άμυλο	Φασματοσκοπία NIR	Chen et al., 2020
Λευκό πιπέρι	Κορν φλάουρ	Φορητό φασματόμετρο NIR και υπερφασματική απεικόνιση	Jahanbakhshi et al., 2021
Κύμινο, σκόρδο, μάραθο, κανέλα, πιπέρι, φύλλα δάφνης, γαρύφαλλο	Σιτάρι, σόργο, καλαμπόκι, σόγια, είδη ρυζιού	DNA barcoding	Zhou et al., 2023
Κανέλα	Κινεζική κανέλα	Φασματοσκοπία NIR	Cantarelli et al., 2020
	Κινεζική κανέλα	Υπερφασματική απεικόνιση	Cruz-Tirado et al., 2023
Κουρκουμάς	Άμυλο	Φασματοσκοπία FT-NIR	Kar et al., 2021
	Metanil Yellow, Sudan I	Φασματοσκοπία Raman	Dhakal et al., 2019
	Ρυζάλευρο με ταρτραζίνη	Υπερφασματική απεικόνιση	Bandara et al., 2020

Πάπρικα	Γεωγραφική προέλευση	HPLC-FLD	Campmajó et al., 2021
Φύλλα δάφνης	Φύλλα από <i>Cinnamomum tamala</i> , <i>Litsea glaucescens</i> , <i>Pimenta racemosa</i> , <i>Syzygium polyanthum</i>	GC-MS	Raman et al., 2017
Μαύρο πιπέρι σε σκόνη	Σκόνη σπόρων παπάγιας	Μικροσκοπική τεχνική	Vadivel et al., 2018
Ρίγανη	Φύλλα ελιάς, φύλλα μυρτιάς, φύλλα φουντουκιάς, σουμάκ	LC-MS/MS, FTIR	Wielogorska et al., 2018
	Φύλλα ελιάς, φύλλα μυρτιάς, κίστος, φουντούκι	LC-HRMS	Black et al., 2016
Τζίντζερ	Άμυλο καλαμποκιού, αλεύρι σόγιας και αλεύρι σίτου.	Φασματοσκοπία FT-NIR	Yu et al., 2022
Κύμινο	Αμύγδαλο, φιστίκι	Ανάλυση DNA, μικροσκοπία, φασματομετρία μάζας	Garber et al., 2016



Εικόνα 3.6 Διάφοροι τρόποι για την ανίχνευση νοθείας στην πάπρικα και στο τσίλι σε σκόνη (Duan et al., 2019; Zhu et al., 2016; Wang et al., 2021; Martín et al., 2017; Palacios-Morillo et al., 2016; Lohumi et al., 2018)

Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα και Μελλοντικές Προοπτικές

Η νοθεία των αρωματικών φυτών και των μπαχαρικών παρουσιάζει μία αξιοσημείωτη αύξηση σε καταγεγραμμένα περιστατικά τόσο στην ελληνική όσο και στην παγκόσμια αγορά. Η κατάσταση αυτή γίνεται αντιληπτή από τις πολλαπλές ειδοποιήσεις RASFF και τα επιστημονικά άρθρα που δημοσιεύονται σύμφωνα με τις βάσεις δεδομένων του Web of Science τις τελευταίες δεκαετίες. Ο πιο συχνός και σημαντικός τύπος νοθείας σχετίζεται με τη χρήση μη εγκεκριμένων συνθετικών βαφών, με τις πιο συχνές τις βαφές Sudan σε μπαχαρικά που ξεχωρίζουν για το χρώμα τους (κάρυ, πιπεριά τσίλι, πάπρικα). Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής σχετικά με τη χρήση ακατάλληλων χειρισμών και δόλιων πρακτικών, το πιο νοθευμένο αρωματικό φυτό είναι η ρίγανη, σε σύγκριση με άλλα είδη. Το γεγονός αυτό οφείλεται τόσο στην συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση αυτών των προϊόντων, όσο και στην υψηλή οικονομική και θρεπτική τους αξία, καθώς τα μπαχαρικά και τα αρωματικά φυτά αποτελούν πολύτιμα συστατικά, επιθυμητά για τους καταναλωτές λόγω των αισθητηριακών και λειτουργικών τους δραστηριοτήτων.

Οι αλυσίδες εφοδιασμού των αρωματικών φυτών και των μπαχαρικών είναι αρκετά μεγάλες και πολύπλοκες και σε κάθε στάδιο θα μπορούσαν να προκληθούν προβλήματα ποιότητας και ασφάλειας. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να ενισχυθεί ο έλεγχος και η ανίχνευση τους μέσω της εφαρμογής γρήγορων, αξιόπιστων, εύχρηστων μεθόδων για τον ποσοτικό προσδιορισμό και τον έλεγχο ταυτότητας τους. Η ποιότητα τους μπορεί να αξιολογηθεί με ακρίβεια μέσω φυσικής, χημικής και αισθητηριακής ανάλυσης. Οι φυσικές πτυχές γενικά αξιολογούνται από φυσικές παραμέτρους, όπως το χρώμα, η πυκνότητα, η υφή, η διαλυτότητα ή η θερμοδομετρία. Όσον αφορά τη χημική ανάλυση, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν χρωματογραφία και φασματομετρία μάζας μπορούν επίσης να παρέχουν ακριβείς εκτιμήσεις (Negi et al., 2021). Ωστόσο, αυτές οι μέθοδοι απαιτούν πολύπλοκες φυσικές και χημικές διαδικασίες, οι οποίες είναι χρονοβόρες, δαπανηρές, εξαιρετικά εξειδικευμένες και ακατάλληλες για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας. Επομένως, οι τεχνολογίες ταχείας, ακριβούς και μη καταστροφικής ανάλυσης είναι ιδανικές για την αξιολόγηση αρωματικών φυτών και μπαχαρικών.

Τα τελευταία χρόνια, έχει διεξαχθεί έρευνα για την ανάπτυξη μεθόδων ικανών να διακρίνουν μεταξύ αυθεντικών και νοθευμένων μπαχαρικών και αρωματικών φυτών, με τεχνικές που βασίζονται στο DNA και κυρίως τη φασματοσκοπία και τις μεθόδους ανάλυσης εικόνας να είναι οι πιο χρησιμοποιούμενες. Αν και οι ευαίσθητες και αξιόπιστες μέθοδοι έχουν βελτιστοποιηθεί αρκετά, θα πρέπει να καταβληθούν μελλοντικές προσπάθειες προκειμένου να βελτιωθεί η ταχύτητά τους, αποφεύγοντας την καταστροφή δειγμάτων. Επίσης, είναι σημαντική η εφαρμογή τους σε γραμμές παραγωγής, επιτρέποντας τον έλεγχο του συνόλου ή του μεγαλύτερου μέρους των

επεξεργασμένων προϊόντων, προκειμένου να διασφαλιστεί η αυθεντικότητα των αρωματικών φυτών και των μπαχαρικών και η θέσπιση αποτελεσματικών μέτρων πρόληψης της νοθείας τους. Από την άποψη των καταναλωτών, η αξιολόγηση της ποιότητας των τροφίμων βασίζεται κυρίως σε υποκειμενική αισθητηριακή ανάλυση. Ως εκ τούτου, η ηλεκτρονική μύτη (E-nose), η ηλεκτρονική γλώσσα (E-tongue) και το ηλεκτρονικό μάτι (E-eye) που βασίζονται σε ηλεκτρονικούς αισθητήρες έχουν μελετηθεί για να προσπαθήσουν να αντικαταστήσουν τις ανθρώπινες αισθήσεις. Η τεχνολογία ηλεκτρονικών αισθητήρων είναι σε θέση να αντικατοπτρίζει το άρωμα, τη γεύση και το χρώμα των φυτικών αυτών προϊόντων.

Η συνεχής διατροφική απάτη στα αρωματικά φυτά και μπαχαρικά οδήγησε στη μελέτη νέων τεχνολογιών ως πιθανών εργαλείων για τον εντοπισμό της. Συγκεκριμένα, οι στοχευμένες μέθοδοι ανάλυσης εστιάζουν στην ταυτοποίηση και τον προσδιορισμό της ποσότητας συγκεκριμένων ενώσεων-στόχων, με υψηλή ευαισθησία αλλά χωρίς να μπορούν να ανιχνεύσουν άγνωστες ενώσεις. Από την άλλη, οι μη στοχευμένες τεχνολογίες (NTA) έχουν αποδειχθεί χρήσιμες για τον έλεγχο ταυτότητας των φυτικών αυτών προϊόντων, καθώς εστιάζουν στον προσδιορισμό μεγάλου αριθμού ποικίλων ενώσεων, δίχως απαραίτητα την άμεση ταυτοποίηση του συνόλου τους. Ορισμένες από αυτές είναι μέθοδοι που περιλαμβάνουν χρωματογραφικό διαχωρισμό και φασματομετρία μάζας, ή τεχνικές όπως η φασματοσκοπία εγγύς υπέρυθρου, Raman, υπέρυθρου μετασχηματισμού Fourier, πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού και υπερφασματική απεικόνιση.

Συγκεκριμένα, η φασματοσκοπία θεωρείται αναγνωρισμένη από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας και από άλλους ρυθμιστικούς φορείς παγκοσμίως ως κατάλληλη τεχνική για την ανίχνευση νοθείας (Li et al., 2020). Οι μέθοδοι που αναπτύχθηκαν με βάση τη δονητική φασματοσκοπία σε συνδυασμό με χημειομετρικές τεχνικές φαίνεται να είναι πολλά υποσχόμενα εργαλεία για τον προσδιορισμό της παρουσίας μολυσματικών ουσιών σε αρωματικά φυτά και μπαχαρικά. Από την άλλη πλευρά, ο πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός φαίνεται να είναι η πιο αποτελεσματική τεχνολογία για τον προσδιορισμό της προέλευσης των αρωματικών φυτών και των μπαχαρικών, αν και, για ορισμένες περιπτώσεις, οι μελέτες με φασματοσκοπία κοντά στο υπέρυθρο μπορεί να είναι ένα βιώσιμο υποκατάστατο. Ισχύει ότι οι φορητές συσκευές προτιμώνται από όσους ασχολούνται με τον τομέα των τροφίμων, λόγω του εύκολου χειρισμού και του χαμηλού κόστους τους. Οι φασματοσκοπικές τεχνικές δείχνουν μεγάλη αποτελεσματικότητα στον έλεγχο της ταυτότητας των μπαχαρικών και των αρωματικών φυτών, με την επέκτασή τους, τόσο με νέες στρατηγικές ανάλυσης δεδομένων (όπως η σύντηξη δεδομένων) όσο και με τη χρήση φορητών συσκευών.

Ισχύει ότι η φασματοσκοπία μετρά μόνο τις χημικές πληροφορίες των δειγμάτων και δεν αντικατοπτρίζει χωρικές πληροφορίες. Για το λόγο αυτό, η τεχνολογία της υπερφασματικής απεικόνισης που συνδυάζει φασματοσκοπία και τεχνολογία απεικόνισης έχει ισχυρή

ανταγωνιστικότητα στον τομέα του ποιοτικού ελέγχου των αρωματικών φυτών και μπαχαρικών (Orrillo et al., 2019). Η τρισδιάστατη δομή δεδομένων της μεθόδου αυτής, περιέχει πληροφορίες για δύο χωρικές διαστάσεις και μία φασματική διάσταση, οι οποίες μπορούν ταυτόχρονα να αντικατοπτρίζουν τις φυσικές και χημικές πληροφορίες του δείγματος. Τα φορητά φασματόμετρα έχουν επίσης αναπτυχθεί πολύ πρόσφατα. Αν και η ακρίβεια μέτρησής τους δεν είναι τόσο καλή όσο τα φασματόμετρα επιτραπέζιου υπολογιστή, χρησιμοποιούνται ευρέως στην εποπτεία της αγοράς λόγω του μικρού μεγέθους, του χαμηλού κόστους και της απλής λειτουργίας τους.

Η ανησυχία για την ασφάλεια και την αυθεντικότητα των μπαχαρικών και των αρωματικών φυτών είχε ως αποτέλεσμα τη θέσπιση υψηλότερων προτύπων αξιολόγησης ποιότητας και βελτιωμένων μεθόδων λειτουργίας σε διάφορα στάδια μετά τη συγκομιδή, την αποθήκευση και την μεταφορά. Παρά την ανάπτυξη διαφόρων αναλυτικών εργαλείων που χρησιμοποιούνται, η τυποποίηση και η πιστοποίηση των φυτικών αυτών προϊόντων έχουν αυξηθεί. Εκτός από τους νοθευτές, η ποιότητα τους μπορεί να χαθεί λόγω της παρουσίας μολυσματικών ουσιών, σκόνης ή μικροβιακών τοξικών ουσιών όπως η αφλατοξίνη, οι μυκοτοξίνες και βαρέα μέταλλα όπως ο μόλυβδος, το κοβάλτιο, το χρώμιο, το ουράνιο. Τεχνικές όπως το IRMS, το NMR, το FT-IR λειτουργούν ως εργαλεία δακτυλικών αποτυπωμάτων για την αποτελεσματική ανίχνευση νοθείας μπαχαρικών, αρωματικών φυτών και προϊόντων τους, ακόμη και σε ίχνη, συμπεριλαμβανομένης και της θέσης του νοθευτή σε μοριακό επίπεδο. Ωστόσο, τα κύρια μειονεκτήματα σε αυτές τις τεχνολογίες είναι το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τους. Αυτό θα μπορούσε να ξεπεραστεί με τη χρήση ηλεκτρονικών αισθητήρων, αλλά η ευαισθησία τους σε διαφορετικές χημικές ενώσεις βασίζεται σε πολλούς παράγοντες. Έτσι, η αποτελεσματικότητα όλων των αναλυτικών τεχνικών για την ανίχνευση νοθείας, θα μπορούσε να βελτιωθεί σε υψηλότερο επίπεδο με τον συνδυασμό τους με χημειομετρικά εργαλεία.

Οι αυτόνομες μέθοδοι αν και έχουν την ικανότητα να αντικατοπτρίζουν πολλά δείγματα πληροφοριών, παρουσιάζουν αρκετούς περιορισμούς. Για παράδειγμα, δεν γίνεται εφικτή η πλήρης περιγραφή των χαρακτηριστικών των σύνθετων προϊόντων, ούτε η διεξαγωγή συνολικής αξιολόγησης της ποιότητας (Li et al., 2020). Ως εκ τούτου, τα δεδομένα πολλαπλών πηγών με συμπληρωματικές ή συνεργατικές πληροφορίες μπορούν ενδεχομένως να προσφέρουν υψηλής ακρίβειας, αξιόπιστη και ολοκληρωμένη ανίχνευση (Zhou et al., 2020). Έτσι, ενώ οι τεχνολογίες μη καταστροφικής ανάλυσης στοχεύουν στον γρήγορο και ακριβή έλεγχο ταυτότητας και ποιότητας των αρωματικών φυτών και μπαχαρικών, με την συνδυαστική ανάλυση μέσω διαφόρων μεθόδων (πληροφορίες πολλαπλών πηγών), καθίσταται δυνατός ο ταυτόχρονος προσδιορισμός διαφορετικών ειδών νοθείας με μία μόνο δοκιμή.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Cicero N, Gervasi T, Durazzo A, Lucarini M, Macrì A, Nava V, Giarratana F, Tardugno R, Vadalà R, Santini A. Mineral and Microbiological Analysis of Spices and Aromatic Herbs. *Foods*. 2022; 11(4):548. <https://doi.org/10.3390/foods11040548>

De-Montijo-Prieto, S., Razola-Díaz, M. D. C., Gómez-Caravaca, A. M., Guerra-Hernandez, E. J., Jiménez-Valera, M., Garcia-Villanova, B., ... & Verardo, V. (2021). Essential oils from fruit and vegetables, aromatic herbs, and spices: composition, antioxidant, and antimicrobial activities. *Biology*, 10(11), 1091.

Giannenas, I., Sidiropoulou, E., Bonos, E., Christaki, E., & Florou-Paneri, P. (2020). The history of herbs, medicinal and aromatic plants, and their extracts: Past, current situation and future perspectives. In *Feed additives* (pp. 1-18). Academic Press.

Jiang, T. A. (2019). Health benefits of culinary herbs and spices. *Journal of AOAC International*, 102(2), 395-411.

Takooree, H., Aumeeruddy, M. Z., Rengasamy, K. R., Venugopala, K. N., Jeewon, R., Zengin, G., & Mahomoodally, M. F. (2019). A systematic review on black pepper (*Piper nigrum* L.): from folk uses to pharmacological applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(sup1), S210-S243.

Rani, J., Kaur, P., & Chuwa, C. (2023). Nutritional benefits of herbs and spices to the human beings. *Annals of Phytomedicine An International Journal*, 12(1), 187-197.

Hossain, M. B., Brunton, N. P., & Rai, D. K. (Eds.). (2020). *Herbs, spices and medicinal plants: Processing, health benefits and safety*. John Wiley & Sons.

Stefanaki, A., & van Andel, T. (2021). Mediterranean aromatic herbs and their culinary use. In *Aromatic Herbs in Food* (pp. 93-121). Academic Press.

Vázquez-Fresno, R., Rosana, A. R. R., Sajed, T., Onookome-Okome, T., Wishart, N. A., & Wishart, D. S. (2019). Herbs and spices-biomarkers of intake based on human intervention studies—a systematic review. *Genes & nutrition, 14*, 1-27.

Karık, Ü., & Tunçtürk, M. (2019). Production, trade and future perspective of medicinal and aromatic plants in Turkey.

Türkecul, B., & Yildiz, Ö. (2021). Medicinal and aromatic plant production, marketing and foreign trade. *Medicinal and aromatic plants: Economics production agricultural utilization and other aspects*, 3-44.

Galanakis, C. M. (Ed.). (2021). *Aromatic herbs in food: Bioactive compounds, processing, and applications*. Academic Press.

Spina, D., Barbieri, C., Carbone, R., Hamam, M., D'Amico, M., & Di Vita, G. (2023). Market trends of medicinal and aromatic plants in Italy: future scenarios based on the Delphi method. *Agronomy, 13*(7), 1703.

Vishvakarma, P., Mandal, S., Pandey, J., Bhatt, A. K., Banerjee, V. B., & Gupta, J. K. (2022). An Analysis Of The Most Recent Trends In Flavoring Herbal Medicines In Today's Market. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 9189-9198.

Nguyen, L., Duong, L. T., & Mentreddy, R. S. (2019). The US import demand for spices and herbs by differentiated sources. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 12*, 13-20.

Cilak, G. O., Mujdeci, G. N., & Kabak, B. (2021). Legislation on aromatic herbs in food. In *Aromatic Herbs in Food* (pp. 405-438). Academic Press.

Bansal, S., Singh, A., Mangal, M., Mangal, A. K., & Kumar, S. (2017). Food adulteration: Sources, health risks, and detection methods. *Critical reviews in food science and nutrition, 57*(6), 1174-1189.

He, Y., Bai, X., Xiao, Q., Liu, F., Zhou, L., & Zhang, C. (2021). Detection of adulteration in food based on nondestructive analysis techniques: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(14), 2351-2371.

Hong, E., Lee, S. Y., Jeong, J. Y., Park, J. M., Kim, B. H., Kwon, K., & Chun, H. S. (2017). Modern analytical methods for the detection of food fraud and adulteration by food category. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(12), 3877-3896.

Choudhary, A., Gupta, N., Hameed, F., & Choton, S. (2020). An overview of food adulteration: Concept, sources, impact, challenges and detection. *International Journal of Chemical Studies*, 8(1), 2564-2573.

Kucharska-Ambrożej, K., & Karpinska, J. (2020). The application of spectroscopic techniques in combination with chemometrics for detection adulteration of some herbs and spices. *Microchemical Journal*, 153, 104278.

Bharathi, S. K. V., Sukitha, A., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2018). Instrument-based detection methods for adulteration in spice and spice products-a review.

Negi, A., Pare, A., & Meenatchi, R. (2021). Emerging techniques for adulterant authentication in spices and spice products. *Food Control*, 127, 108113.

Pantola, P., & Agarwal, P. (2021). Detection of adulteration in spices. *International Journal*, 9(2), 165-167.

Galvin-King, P., Haughey, S. A., & Elliott, C. T. (2018). Herb and spice fraud; the drivers, challenges and detection. *Food Control*, 88, 85-97.

Osman, A. G., Raman, V., Haider, S., Ali, Z., Chittiboyina, A. G., & Khan, I. A. (2019). Overview of analytical tools for the identification of adulterants in commonly traded herbs and spices. *Journal of AOAC International*, 102(2), 376-385.

Velázquez, R., Rodríguez, A., Hernández, A., Casquete, R., Benito, M. J., & Martín, A. (2023). Spice and Herb Frauds: Types, Incidence, and Detection: The State of the Art. *Foods*, 12(18), 3373.

Banti M. (2020). Food Adulteration and Some Methods of Detection, Review. *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology*, 7(4), 09-19.

Black, C., Haughey, S. A., Chevallier, O. P., Galvin-King, P. & Elliott, C. T. (2016). A comprehensive strategy to detect the fraudulent adulteration of herbs: The oregano approach. *Food Chemistry*, 210, 551-557. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.004>

Petrakis, E. A., & Polissiou, M. G. (2017). Assessing saffron (*Crocus sativus* L.) adulteration with plant-derived adulterants by diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy coupled with chemometrics. *Talanta*, 162, 558-566.

Duan, H. L., Mou, Z. L., Wang, J., Ma, S. Y., Zhan, H. Y., & Zhang, Z. Q. (2019). Magnetically modified porous β -cyclodextrin polymers for dispersive solid-phase extraction high-performance liquid chromatography analysis of Sudan dyes. *Food Analytical Methods*, 12, 1429-1438.

Gray, K. M., Walker, M. J., Burn, M. J. S., Mazur, M., Niedzwiedzka, K., Liszka, K., & Burns, D. T. (2016). Illegal dyes in food and spices—A 2006 LGC LC-UV/visible method reviewed and updated for 19 dyes. *J. Assoc. Public Anal*, 44, 18-39.

D'Archivio, A. A., Giannitto, A., Maggi, M. A., & Ruggieri, F. (2016). Geographical classification of Italian saffron (*Crocus sativus* L.) based on chemical constituents determined by high-performance liquid-chromatography and by using linear discriminant analysis. *Food Chemistry*, 212, 110-116.

Liu, J., Chen, N., Yang, J., Yang, B., Ouyang, Z., Wu, C., ... & Chen, M. (2018). An integrated approach combining HPLC, GC/MS, NIRS, and chemometrics for the geographical discrimination and commercial categorization of saffron. *Food chemistry*, 253, 284-292.

Campmajó, G., Rodríguez-Javier, L. R., Saurina, J., & Núñez, O. (2021). Assessment of paprika geographical origin fraud by high-performance liquid chromatography with fluorescence detection (HPLC-FLD) fingerprinting. *Food Chemistry*, 352, 129397.

Morozzi, P., Zappi, A., Gottardi, F., Locatelli, M., & Melucci, D. (2019). A quick and efficient non-targeted screening test for saffron authentication: Application of chemometrics to gas-chromatographic data. *Molecules*, *24*(14), 2602.

Mougiou, N., Trika, F., Michailidou, S., Pantoura, M., & Argiriou, A. (2021). Molecular and biochemical characterization of the Greek pepper (*Capsicum annuum*) cultivars "Florinis" and "Karatzova". *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, *71*(1).

Zhang, M., Shi, Y., Sun, W., Wu, L., Xiong, C., Zhu, Z., ... & Liu, X. (2019). An efficient DNA barcoding based method for the authentication and adulteration detection of the powdered natural spices. *Food Control*, *106*, 106745.

Zhou, M. Y., Xing, R. R., Liu, K. H., Ge, Y. Q., & Chen, Y. (2023). Species identification of culinary spices with two-locus DNA barcoding. *Food Control*, *150*, 109742.

Raclariu-Manolică, A. C., Anmarkrud, J. A., Kierczak, M., Rafati, N., Thorbek, B. L. G., Schröder-Nielsen, A., & de Boer, H. J. (2021). DNA metabarcoding for quality control of basil, oregano, and paprika. *Frontiers in plant science*, *12*, 665618.

Villa, C., Costa, J., Meira, L., Oliveira, M. B. P., & Mafra, I. (2016). Exploiting DNA mini-barcodes as molecular markers to authenticate saffron (*Crocus sativus* L.). *Food Control*, *65*, 21-31.

Khodabakhshian, R., Bayati, M. R., & Emadi, B. (2021). An evaluation of IR spectroscopy for authentication of adulterated turmeric powder using pattern recognition. *Food Chemistry*, *364*, 130406.

Chen, R., Mei, J., Du, G., Shi, Y., & Huang, Y. (2022). Convenient detection of white pepper adulteration by portable NIRS and spectral imaging with chemometrics. *Microchemical Journal*, *182*, 107925.

Cruz-Tirado, J. P., Brasil, Y. L., Lima, A. F., Pretel, H. A., Godoy, H. T., Barbin, D., & Siche, R. (2023). Rapid and non-destructive cinnamon authentication by NIR-hyperspectral imaging and classification chemometrics tools. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, *289*, 122226.

- Kar, S., Tudu, B., Jana, A., & Bandyopadhyay, R. (2019). FT-NIR spectroscopy coupled with multivariate analysis for detection of starch adulteration in turmeric powder. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 36(6), 863-875.
- Yu, D. X., Guo, S., Zhang, X., Yan, H., Zhang, Z. Y., Chen, X., ... & Duan, J. A. (2022). Rapid detection of adulteration in powder of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) by FT-NIR spectroscopy combined with chemometrics. *Food Chemistry: X*, 15, 100450.
- Dhakal, S., Schmidt, W. F., Kim, M., Tang, X., Peng, Y., & Chao, K. (2019). Detection of additives and chemical contaminants in turmeric powder using FT-IR spectroscopy. *Foods*, 8(5), 143.
- Vadivel, V., Ravichandran, N., Rajalakshmi, P., Brindha, P., Gopal, A., & Kumaravelu, C. (2018). Microscopic, phytochemical, HPTLC, GC-MS and NIRS methods to differentiate herbal adulterants: Pepper and papaya seeds. *Journal of Herbal Medicine*, 11, 36-45.
- Wang, J., Shen, X., Zhong, P., Li, Z., Tang, Q., Huang, X., ... & Li, X. (2021). Heterologous immunoassay strategy for enhancing detection sensitivity of banned dye rhodamine B in fraudulent food. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8, 1-10.
- Kiani, S., Minaei, S., & Ghasemi-Varnamkhashti, M. (2017). Integration of computer vision and electronic nose as non-destructive systems for saffron adulteration detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 141, 46-53.
- Tahri, K., Tiebe, C., El Bari, N., Hübert, T., & Bouchikhi, B. (2017). Geographical classification and adulteration detection of cumin by using electronic sensing coupled to multivariate analysis. *Procedia technology*, 27, 240-241.
- Martín, A., Hernández, A., Aranda, E., Casquete, R., Velázquez, R., Bartolomé, T., & Córdoba, M. G. (2017). Impact of volatile composition on the sensorial attributes of dried paprikas. *Food Research International*, 100, 691-697.

Palacios-Morillo, A., Jurado, J. M., Alcázar, A., & Pablos, F. (2016). Differentiation of Spanish paprika from Protected Designation of Origin based on color measurements and pattern recognition. *Food Control*, 62, 243-249.

Lohumi, S., Lee, H., Kim, M. S., Qin, J., Kandpal, L. M., Bae, H., ... & Cho, B. K. (2018). Calibration and testing of a Raman hyperspectral imaging system to reveal powdered food adulteration. *PLoS One*, 13(4), e0195253.

Hong, E., Lee, S. Y., Jeong, J. Y., Park, J. M., Kim, B. H., Kwon, K., & Chun, H. S. (2017). Modern analytical methods for the detection of food fraud and adulteration by food category. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(12), 3877-3896.

Wadood, S. A., Boli, G., Xiaowen, Z., Hussain, I., & Yimin, W. (2020). Recent development in the application of analytical techniques for the traceability and authenticity of food of plant origin. *Microchemical Journal*, 152, 104295.

Przybylska, A., Gackowski, M., & Koba, M. (2021). Application of capillary electrophoresis to the analysis of bioactive compounds in herbal raw materials. *Molecules*, 26(8), 2135.

Mei, Z., Khan, M., & Fu, J. (2020). Genetic authentication of *Eclipta prostrata* (Asteraceae) from *Penthorum chinense* (Penthoraceae) by sequence characterized amplified region (SCAR) markers. *Revista de Biología Tropical*, 68(1), 180-188.

Vera, D. N., Ruisánchez, I., & Callao, M. P. (2018). Establishing time stability for multivariate qualitative methods. Case study: Sudan I and IV adulteration in food spices. *Food Control*, 92, 341-347.

Ordoudi, S. A., Staikidou, C., Kyriakoudi, A., & Tsimidou, M. Z. (2018). A stepwise approach for the detection of carminic acid in saffron with regard to religious food certification. *Food chemistry*, 267, 410-419.

D'Archivio, A. A., & Maggi, M. A. (2017). Geographical identification of saffron (*Crocus sativus* L.) by linear discriminant analysis applied to the UV-visible spectra of aqueous extracts. *Food Chemistry*, 219, 408-413.

Oliveira, M. M., Cruz-Tirado, J. P., & Barbin, D. F. (2019). Nontargeted analytical methods as a powerful tool for the authentication of spices and herbs: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *18*(3), 670-689.

De Lima, A. B. S., Batista, A. S., de Jesus, J. C., de Jesus Silva, J., de Araújo, A. C. M., & Santos, L. S. (2020). Fast quantitative detection of black pepper and cumin adulterations by near-infrared spectroscopy and multivariate modeling. *Food Control*, *107*, 106802.

Lixourgioti, P., Goggin, K. A., Zhao, X., Murphy, D. J., van Ruth, S., & Koidis, A. (2022). Authentication of cinnamon spice samples using FT-IR spectroscopy and chemometric classification. *Lwt*, *154*, 112760.

Cruz-Tirado, J. P., de Franca, R. L., Tumbajulca, M., Barraza-Jauregui, G., Barbin, D. F., & Siche, R. (2023). Detection of cumin powder adulteration with allergenic nutshells using FT-IR and portable NIRS coupled with chemometrics. *Journal of Food Composition and Analysis*, *116*, 105044.

Massaro, A., Bragolusi, M., Tata, A., Zacometti, C., Lefevre, S., Frégière-Salomon, A., ... & Piro, R. (2023). Non-targeted authentication of black pepper using a local web platform: Development, validation and post-analytical challenges of a combined NIR spectroscopy and LASSO method. *Food Control*, *145*, 109477.

Modupalli, N., Naik, M., Sunil, C. K., & Natarajan, V. (2021). Emerging non-destructive methods for quality and safety monitoring of spices. *Trends in Food Science & Technology*, *108*, 133-147.

Chao, K., Dhakal, S., Schmidt, W. F., Qin, J., Kim, M., Peng, Y., & Huang, Q. (2020). Raman and IR spectroscopic modality for authentication of turmeric powder. *Food chemistry*, *320*, 126567.

Orrillo, I., Cruz-Tirado, J. P., Cardenas, A., Oruna, M., Carnero, A., Barbin, D. F., & Siche, R. (2019). Hyperspectral imaging as a powerful tool for identification of papaya seeds in black pepper. *Food Control*, *101*, 45-52.

- Florian-Huaman, J., Cruz-Tirado, J. P., Barbin, D. F., & Siche, R. (2022). Detection of nutshells in cumin powder using NIR hyperspectral imaging and chemometrics tools. *Journal of Food Composition and Analysis*, *108*, 104407.
- Farag, M. A., Labib, R. M., Noletto, C., Porzel, A., & Wessjohann, L. A. (2018). NMR approach for the authentication of 10 cinnamon spice accessions analyzed via chemometric tools. *LWT*, *90*, 491-498.
- Leela, N. K., Muneeb, A. M., Mukherjee, S., Ghosh, D., & Bhattacharya, N. (2017). Essential oil content of cardamom (*Elettaria cardamomum* Maton) by hand-held electronic nose.
- Wielogorska, E., Chevallier, O., Black, C., Galvin-King, P., Delêtre, M., Kelleher, C. T., ... & Elliott, C. T. (2018). Development of a comprehensive analytical platform for the detection and quantitation of food fraud using a biomarker approach. The oregano adulteration case study. *Food Chemistry*, *239*, 32-39.
- Mena-García, A., Sanz, M. L., Díez-Municio, M., & Ruiz-Matute, A. I. (2023). A Combined Gas and Liquid Chromatographic Approach for Quality Evaluation of Saffron-Based Food Supplements. *Foods*, *12*(22), 4071.
- Wilde, A. S., Haughey, S. A., Galvin-King, P., & Elliott, C. T. (2019). The feasibility of applying NIR and FT-IR fingerprinting to detect adulteration in black pepper. *Food Control*, *100*, 1-7.
- Sousa, A. I., Ferreira, I. M., & Faria, M. A. (2019). Sensitive detection of *Piper nigrum* L. adulterants by a novel screening approach based on qPCR. *Food chemistry*, *283*, 596-603.
- Travadi, T., Sharma, S., Pandit, R., Nakrani, M., Joshi, C., & Joshi, M. (2022). A duplex PCR assay for authentication of *Ocimum basilicum* L. and *Ocimum tenuiflorum* L in Tulsi churna. *Food Control*, *137*, 108790.
- Silletti, S., Morello, L., Gavazzi, F., Gianì, S., Braglia, L., & Breviario, D. (2019). Untargeted DNA-based methods for the authentication of wheat species and related cereals in food products. *Food chemistry*, *271*, 410-418.

Kumar, A., Rodrigues, V., Baskaran, K., Shukla, A. K., & Sundaresan, V. (2020). DNA barcode based species-specific marker for *Ocimum tenuiflorum* and its applicability in quantification of adulteration in herbal formulations using qPCR. *Journal of Herbal Medicine*, 23, 100376.

Sen, S., Dayanandan, S., Davis, T., Ganesan, R., Jagadish, M. R., Mathew, P. J., & Ravikanth, G. (2019). Origin and evolution of the genus *Piper* in Peninsular India. *Molecular phylogenetics and evolution*, 138, 102-113.

Weil, M., PockTsy, J. M. L., & Razafimandimby, H. (2021). Authenticating wild *Piper* species (peppers) originating from islands in the Indian Ocean on the basis of morphological, genetic and chemical characteristics. *Phytochemistry*, 190, 112886.

Talib, T. H., Chatterjee, N. S., Banerjee, K., Petchkongkaew, A., Elliott, C. T., & Wu, D. (2024). A Two-Tier Approach for the Detection of Contaminants and Adulterants in Sunflower Oil to Protect Consumer Safety. *Trends in Food Science & Technology*, 104559.

Ferrari, V., Calvini, R., Menozzi, C., Ulrici, A., Bragolusi, M., Piro, R., ... & Foca, G. (2024). Addressing adulteration challenges of dried oregano leaves by NIR HyperSpectral Imaging. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 249, 105133.

Musio, B., Todisco, S., Antonicelli, M., Garino, C., Arlorio, M., Mastrorilli, P., ... & Gallo, V. (2022). Non-targeted NMR method to assess the authenticity of saffron and trace the agronomic practices applied for its production. *Applied Sciences*, 12(5), 2583.

Shawky, E., Nahar, L., Nassief, S. M., Sarker, S. D., & Ibrahim, R. S. (2024). Spice Authentication by Near-Infrared Spectroscopy: Current Advances, Limitations, and Future Perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, 104522.

Pages-Rebull, J., Pérez-Ràfols, C., Serrano, N., del Valle, M., & Díaz-Cruz, J. M. (2023). Classification and authentication of spices and aromatic herbs by means of HPLC-UV and chemometrics. *Food Bioscience*, 52, 102401.

Li, S., Xing, B., Lin, D., Yi, H., & Shao, Q. (2020). Rapid detection of saffron (*Crocus sativus* L.) adulterated with lotus stamens and corn stigmas by near-infrared spectroscopy and chemometrics. *Industrial Crops and Products*, *152*, 112539.

Shannon, M., Lafeuille, J. L., Frégière-Salomon, A., Lefevre, S., Galvin-King, P., Haughey, S. A., ... & Elliott, C. T. (2022). The detection and determination of adulterants in turmeric using fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy coupled to chemometric analysis and micro-FTIR imaging. *Food Control*, *139*, 109093.

Kar, S., Tudu, B., Bag, A. K., & Bandyopadhyay, R. (2018). Application of near-infrared spectroscopy for the detection of metanil yellow in turmeric powder. *Food analytical methods*, *11*, 1291-1302.

Hashemi-Nasab, F. S., & Parastar, H. (2022). Vis-NIR hyperspectral imaging coupled with independent component analysis for saffron authentication. *Food Chemistry*, *393*, 133450.

Kaavya, R., Pandiselvam, R., Mohammed, M., Dakshayani, R., Kothakota, A., Ramesh, S. V., ... & Ashokkumar, C. (2020). Application of infrared spectroscopy techniques for the assessment of quality and safety in spices: a review. *Applied Spectroscopy Reviews*, *55*(7), 593-611.

Dai, H., Gao, Q., & He, L. (2020). Rapid determination of saffron grade and adulteration by thin-layer chromatography coupled with Raman spectroscopy. *Food Analytical Methods*, *13*, 2128-2137.

Khodabakhshian, R., Bayati, M. R., & Emadi, B. (2022). Adulteration detection of Sudan Red and metanil yellow in turmeric powder by NIR spectroscopy and chemometrics: The role of preprocessing methods in analysis. *Vibrational Spectroscopy*, *120*, 103372.

Ryparova Kvirencova, J., Navratilova, K., Hrbek, V., & Hajslova, J. (2023). Detection of botanical adulterants in saffron powder. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, *415*(23), 5723-5734.

Malavi, D., Nikkhah, A., Alighaleh, P., Einafshar, S., Raes, K., & Van Haute, S. (2024). Detection of saffron adulteration with *Crocus sativus* style using NIR-hyperspectral imaging and chemometrics. *Food Control*, *157*, 110189.

Senizza, B., Rocchetti, G., Ghisoni, S., Busconi, M., Pascual, M. D. L. M., Fernandez, J. A., ... & Trevisan, M. (2019). Identification of phenolic markers for saffron authenticity and origin: An untargeted metabolomics approach. *Food Research International*, *126*, 108584.

Ghiasi, S., & Parastar, H. (2021). Chemometrics-assisted isotope ratio fingerprinting based on gas chromatography/combustion/isotope ratio mass spectrometry for saffron authentication. *Journal of Chromatography A*, *1657*, 462587.

Hegazi, N. M., Khattab, A. R., Frolov, A., Wessjohann, L. A., & Farag, M. A. (2022). Authentication of saffron spice accessions from its common substitutes via a multiplex approach of UV/VIS fingerprints and UPLC/MS using molecular networking and chemometrics. *Food chemistry*, *367*, 130739.

Kong, W., An, H., Zhang, J., Sun, L., Nan, Y., Song, A., & Zhou, L. (2019). Development of a high-performance liquid chromatography with tandem mass spectrometry method for identifying common adulterant content in saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, *71*(12),1864-1870.