



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Προσδιορισμός νοθείας προϊόντων καφέ με εφαρμογή
αναλυτικών μεθόδων»**



Όνοματεπώνυμο: ΧΡΙΣΤΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ (ΑΜ: 18684116)

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: ΚΡΙΤΣΗ ΕΥΤΥΧΙΑ

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2024



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

DIPLOMA THESIS

**“Identification of coffee products adulteration
using analytical methods”**



Name of Student: CHRISTAKOPOULOU VASILIKI (RN: 18684116)

Supervisor: KRITSI EFTICHIA

AIGALEO, JULY 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

«Προσδιορισμός νοθείας προϊόντων καφέ με εφαρμογή αναλυτικών μεθόδων»

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑΔΑ / ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
01	ΕΥΤΥΧΙΑ ΚΡΙΤΣΗ	ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ / ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ	
02	ΜΠΡΑΤΑΚΟΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ	Ε.ΔΙ.Π / ΜΕΛΟΣ	
03	ΑΣΗΜΟΜΥΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΣ ΥΠΟΤΡΟΦΟΣ/ ΜΕΛΟΣ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Χριστακοπούλου Βασιλική του Γεωργίου, με αριθμό μητρώου 18684116, φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστήμης Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής 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 Δηλούσα

ΧΡΙΣΤΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ABSTRACT.....	8
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΚΑΦΕ	9
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.2 ΕΙΔΗ ΚΑΦΕ – ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ – ΠΡΟΪΟΝΤΑ.....	10
1.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΑΦΕ.....	13
1.4 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΙ ΟΦΕΛΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΓΕΙΑ.....	16
1.5 ΑΓΟΡΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΦΕ	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΝΟΘΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.....	20
2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΝΟΘΕΙΑ ΣΕ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.....	20
2.2 ΝΟΘΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ	21
2.3 ΕΙΔΗ ΝΟΘΕΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΝΟΘΕΙΑ ΤΟΥ ΚΑΦΕ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΟΥ.....	24
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	24
3.2 ΕΙΔΗ /ΤΥΠΟΙ ΝΟΘΕΙΑΣ ΚΑΦΕ.....	25
3.3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΣ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΤΗΣ ΝΟΘΕΙΑΣ ΤΟΥ ΚΑΦΕ	26
3.4 ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΟΘΕΥΜΕΝΟΥ ΚΑΦΕ.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΝΟΘΕΙΑΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΦΕ	29
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	29
4.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ.....	30
4.2.1 ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ-ΟΡΑΤΟΥ (UV – Vis).....	30
4.2.2 ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ ΜΕ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ FOURIER	33
4.2.3 ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΜΕΣΟΥ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ	35
4.2.4 ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΠΥΡΗΝΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ (NMR)	37
4.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ.....	40
4.3.1 ΑΕΡΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ	41
4.3.2 ΥΓΡΟΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (HPLC).....	44
4.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ	46
4.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΟ DNA	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ.....	49
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	51

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Παγκόσμια παραγωγή καφέ για το έτος 2020	9
Εικόνα 2. Τα κυριότερα είδη καφέ στον κόσμο.	11
Εικόνα 3. Τα βασικότερα χαρακτηριστικά του καφέ Arabica και Robusta.	12
Εικόνα 4. Το δέντρο του καφέ - Καφεόδεντρο.	13
Εικόνα 5. Η «Ζώνη του Καφέ».	13
Εικόνα 6. Οι 15 χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή καφέ το 2023.	15
Εικόνα 7. Οι συντακτικοί τύποι των βασικών συστατικών του καφέ σε σειρά: Καφεΐνη, Καφεστόλη, Καφεόλη, Χλωρογενικό οξύ, Νιασίνη και Βιταμίνη E.....	16
Εικόνα 9. Κιχώριο, φυσικό υποκατάστατο του καφέ.	26
Εικόνα 10. Δεξιά - 1,3,7-τριμεθυλξανθίνη, Αριστερά – θεοβρωμίνη.....	28
Εικόνα 11. Οι τέσσερις βασικοί τύποι καβουρδίσματος: Light, Medium, Medium-Dark & Dark	28
Εικόνα 12. Τυπική διάταξη φασματοφωτομέτρου.	30
Εικόνα 13. Δυο σπόροι καφέ (Δεξιά). Ένας σπόρος καφέ – Peaberry (Αριστερά).	31
Εικόνα 14. Τα φάσματα των 210 δειγμάτων με χαμηλή, μέση και υψηλή περιεκτικότητα σε Peaberry καφέ.	32
Εικόνα 15. Διαδικασία ανάλυσης δείγματος με την τεχνική FT-IR	33
Εικόνα 16. Τα φάσματα ^1H NMR καβουρδισμένου καφέ (A), κριθαριού (B), σόγιας (C), καλαμποκιού (D) και φλοιών καφέ (E).	39
Εικόνα 17. Επικάλυψη φασμάτων ^1H NMR για καθαρό καβουρδισμένο καφέ (A), καλαμπόκι (B) και δείγμα καφέ του εμπορίου (C).	39

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο καφές αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα και με τη συχνότερη κατανάλωση ροφήματα σε όλο τον κόσμο. Είναι ένα προϊόν διατροφής με σημαντική οικονομική αξία για τις χώρες που το παράγουν και το εξάγουν. Παράλληλα, η συνεχώς αυξανόμενη ευαισθητοποίηση των καταναλωτών σε θέματα που σχετίζονται με την υγεία τους έχει στρέψει την προσοχή τους στην ποιότητα και στην ασφάλεια των τροφίμων. Η αυθεντικότητα των τροφίμων βασίζεται στη γνησιότητα και την αξιοπιστία σύμφωνα με τις πληροφορίες που αναγράφονται στη συσκευασία του. Από τον 18ο αιώνα, ξεκίνησε η άσκηση πρακτικών νοθείας κατά την παραγωγή του, με στόχο τη μείωση του κόστους και τη μεγιστοποίηση των κερδών. Έτσι, η λανθασμένη επισήμανση, η ανάμειξη με προϊόντα κατώτερης οικονομικής αξίας και η προσθήκη άλλων ουσιών και/ ή τροφίμων, αποτέλεσαν μέσα νοθείας του καφέ και των προϊόντων. Προκειμένου να αξιολογηθεί η ποιότητα των διαφόρων δειγμάτων καφέ και να προστατευτεί η υγεία των καταναλωτών, αναπτυχθήκαν και εφαρμοστήκαν διάφορες μέθοδοι για τον εντοπισμό διαφορετικών ειδών νοθείας, με συνεχή εξέλιξη καθώς αυξάνονταν οι απαιτήσεις και εισάγονταν νέες τεχνολογίες. Η παρούσα ανασκόπηση παρέχει μια επισκόπηση μερικών από τις πιο βασικές αναλυτικές τεχνικές που έχουν εφαρμοστεί για την ανίχνευση της νοθείας στα διαφορά προϊόντα καφέ, συμπεριλαμβανομένων τεχνικών φασματοσκοπίας, χρωματογραφίας, οπτικής και ηλεκτρονικής μικροσκοπίας, αλλά και μεθόδων που βασίζονται στο DNA. Συμπεραίνεται ότι παρά την ύπαρξη αρκετών εξαιρετικών μελετών σε αυτόν τον τομέα, εξακολουθεί να υπάρχει έλλειψη κατάλληλης ευαίσθητης και ευρέως εφαρμόσιμης μεθοδολογίας, ικανή να συμπεριλάβει τις διάφορες πτυχές της νοθείας στον καφέ, λαμβάνοντας υπόψη τις ποικιλίες του, τους ελαττωματικούς κόκκους και τους εξωτερικούς παράγοντες.

Λέξεις – Κλειδιά: καφές, νοθεία, ποιότητα, ποικιλίες, αναλυτικές μέθοδοι, *Arabica* καφές, *Robusta* καφές, φασματοσκοπικές τεχνικές, χρωματογραφίες τεχνικές, ανίχνευση νοθείας

ABSTRACT

Coffee is one of the most widespread and frequently consumed beverages around the world. It is a food product with significant economic value for the countries that produce and export it. At the same time, as they become more aware of their health, consumers pay close attention to the quality and safety of food. The authenticity of food products is based on the authenticity and reliability according to the information written on their packaging. Since the 18th century, when coffee became popular in the West, adulterating practices began to be practiced during its production, with the aim of reducing costs and maximizing profits. Thus, incorrect labelling, mixing with products of lower economic value and the addition of other substances and/or food products have been means of adulteration of coffee and its products over the years. In order to evaluate the quality of different coffee samples and to protect the health of consumers, various methods have been developed and applied to detect different types of adulteration, with continuous development as requirements increased and new technologies are introduced. This review provides an overview of some of the most basic analytical techniques that have been applied to detect adulteration in different coffee products, including spectroscopy, chromatography, optical and electronic microscopy techniques, but also DNA-based methods. It is concluded that despite the existence of several excellent studies in this field, there is still a lack of an appropriate sensitive and widely applicable methodology able to take into account the different aspects of coffee adulteration, taking into account its varieties, defective beans and external factors.

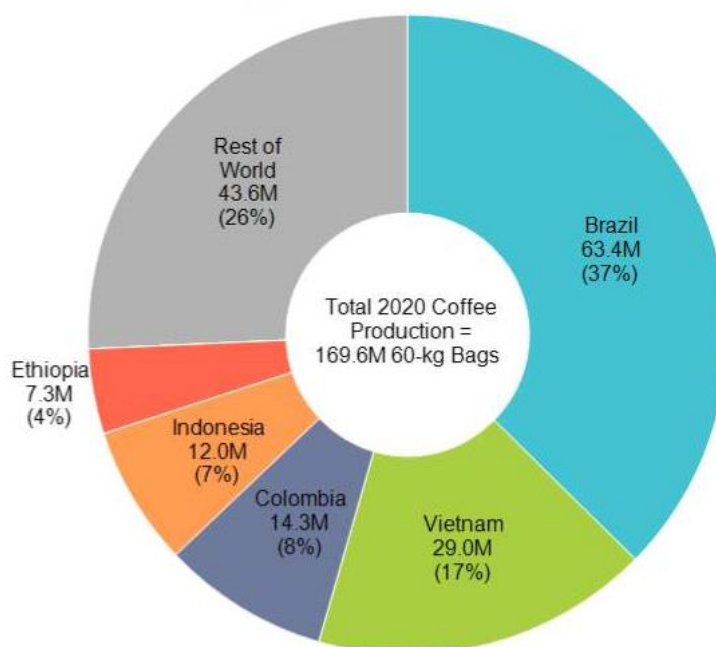
Keywords: coffee, adulteration, quality, varieties, analytical methods, *Arabica* coffee, *Robusta* coffee, spectroscopic techniques, chromatographic techniques, detection of adulteration

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΚΑΦΕ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο καφές συνιστά ένα από τα πλέον διαδεδομένα και με τη συχνότερη κατανάλωση ροφήματα σε παγκόσμιο επίπεδο. Το 2020, σύμφωνα με στοιχεία του Διεθνούς Οργανισμού Καφέ (ICO), η παραγωγή του παγκοσμίως έφτασε τα 170 εκατομμύρια σακουλιών των 60 κιλών (Εικόνα 1), ενώ οι εξαγωγές καφέ ανήλθαν στις 10,97 εκατομμύρια σακούλες τον Δεκέμβριο του 2020, σε σύγκριση με 10,81 εκατομμύρια τον Δεκέμβριο του 2019. Παρά τον δημοφιλή χαρακτήρα του, η ιστορία για την ανακάλυψή του δεν είναι ακόμη γνωστή. (de Carvalho Couto κ.ά. 2023; International Coffee Organization, 2020 χ.χ.)



Εικόνα 1. Παγκόσμια παραγωγή καφέ για το έτος 2020 (Goldstein 2021)

Παρόλο που η καλλιέργεια του καφέ ξεκίνησε ήδη από το 575 μ.Χ., η πρώτη γραπτή αναφορά καταγράφεται από έναν Άραβα γιατρό τον 10^ο αιώνα. Η γνωστότερη ιστορία για την ανακάλυψη του φυτού του καφέ σχετίζεται με τον Καλντί, έναν βοσκό στα βουνά της Αιθιοπίας. Μια μέρα, ο Καλντί, παρατήρησε ότι οι κατσίκες του ήταν πολύ πιο ζωηρές, όταν καταλάωναν τους καρπούς ενός θάμνου που έμοιαζαν με κεράσια. Μάλιστα, βεβαιώθηκε δοκιμάζοντας ο ίδιος τους καρπούς, οι οποίοι του προσέφεραν περισσότερη ενέργεια. Ο Καλντί ενημέρωσε έναν μοναχό, ο οποίος φτιάχνοντας ένα ρόφημα από τους καρπούς έμεινε έκπληκτος από την εγρήγορση που του πρόσφερε. Οι καρποί διαδοθήκαν σταδιακά στην

περιοχή και αργότερα στη χώρα. Τον 12^ο αιώνα είχαν γίνει πλέον γνωστοί σε όλη την αραβική χερσόνησο, μέσω των εμπόρων (Smith 1985).

Το όνομα του καφέ προήλθε από την Υεμένη, τη χώρα που κατάφερε να εξελίξει πρώτη το γνωστό αυτό ρόφημα. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ο όρος «Qahwa», που προφέρεται «Κάουα», μια από τις λέξεις που χαρακτήριζαν το κρασί στον αραβικό πληθυσμό εκείνα τα χρόνια. Ωστόσο, η λέξη μετατράπηκε πολλές φορές με κάθε χώρα να εισάγει τον δικό της χαρακτήρα και να φτάνει στη σημερινή ονομασία «καφές». (athina 2016)

Η διάδοσή του σε παγκόσμιο επίπεδο δεν άργησε. Όσο το ρόφημα αυτό γινόταν σταδιακά μέρος της καθημερινότητας των Αράβων, των Περσών και των Τούρκων, οι Ιταλοί και οι Ολλανδοί κατάφεραν να εξασφαλίσουν σπόρους από του Άραβες και να τους καλλιεργήσουν, καταργώντας το μονοπώλιο που επικρατούσε. Τον 17^ο αιώνα ο καφές είχε πλέον διαδοθεί σε όλη την Ευρώπη. Ακολούθησε η Αμερική, που από το 1773 μέχρι και σήμερα ο καφές συνιστά το πιο δημοφιλές ρόφημα στην ήπειρο. Αργότερα, χάρη στις προσπάθειες του Francisco de Mello Palheta, που ταξίδευε προς την Γαλλία για να εξασφαλίσει σπόρους και να τους μεταφέρει στη Βραζιλία, προέκυψε ο περίφημος βραζιλιάνικος καφές. Μάλιστα, λόγω του κλίματος και των τεράστιων εκτάσεών της, η Βραζιλία αποτελεί σήμερα την χώρα με τη μεγαλύτερη παραγωγή καφέ, η οποία της αποφέρει τεράστια έσοδα. (athina 2016)

1.2 ΕΙΔΗ ΚΑΦΕ – ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ – ΠΡΟΪΟΝΤΑ

Ο καφές, ως φυτό, ανήκει στο γένος *Coffea* της οικογένειας *Rubiaceae*. Αν και η οικογένεια αυτή περιέχει περισσότερα από 100 είδη, τα κυριότερα είδη που παράγονται και εξάγονται στον κόσμο είναι δύο (Εικόνα 2). Το πρώτο είδος ονομάζεται *Coffea Arabica* (καφές *Arabica*), το οποίο αντιπροσωπεύει περίπου το 59% της παγκόσμιας παραγωγής και το 70% της παγκόσμιας κατανάλωσης. Το συγκεκριμένο είδος διαθέτει ελαφριά γεύση και περιέχει σχετικά χαμηλό ποσοστό καφεΐνης. Το δεύτερο είδος συνιστά ο *Coffea Canephora* (καφές *Robusta*), με εκτιμώμενη παγκόσμια παραγωγή 41% το 2020, σύμφωνα με στοιχεία του Διεθνούς Οργανισμού Καφέ. (International Coffee Organization χ.χ.) Ο *Robusta* έχει αρκετά πικρή γεύση και θεωρείται ποιοτικά κατώτερος του *Arabica*, όμως ως φυτό παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή στις κακουχίες, γεγονός που το καθιστά παραγωγικότερο. Σε γενικές γραμμές, το άρωμα και η γεύση του καφέ *Arabica* θεωρούνται ανωτέρα του *Robusta*, προδίδοντάς του αυξημένη εμπορική αξία και μεγαλύτερη προτίμηση από το καταναλωτικό κοινό (Εικόνα 3). Οι εμπορικά διαθέσιμοι καβουρδισμένοι και αλεσμένοι καφέδες σε παγκόσμια κλίμακα φέρουν διαφορετικές αναλογίες των ειδών *Arabica* και *Robusta*, με κάθε

εταιρεία να παράγει τα τυπικά μείγματα με τα κατάλληλα χαρακτηριστικά για την καταναλωτική αγορά. (de Carvalho Couto κ.ά. 2023)



Εικόνα 2. Τα κυριότερα είδη καφέ στον κόσμο.

Ηλεκτρονική πηγή: <https://nutriclinic.gr/kafes-einai-ygieinos/>

Από μια πιο επιστημονική σκοπιά, πρόσφατη έρευνα έδειξε ότι τα πράσινα φασόλια *Arabica* περιέχουν περισσότερη σακχαρόζη από τα πράσινα φασόλια *Robusta*. Η σακχαρόζη συμβάλλει στην οξύτητα του καφέ μετά το καβουρδισμό. Εν μέρει, αυτός είναι ο λόγος που ο καφές *Arabica* διατίθεται στο εμπόριο ως προϊόν με ανώτερη γεύση σε σύγκριση με τον καφέ *Robusta*. Οι υδατάνθρακες, συμπεριλαμβανομένων των διαλυτών πολυσακχαριτών, διασπώνται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καβουρδίσματος και παράγονται παράγωγα φουρανίου που προσδίδουν αρώματα στον καφέ, όπως εκείνο της καραμέλας, της σοκολάτας και πολλά ακόμη. Οι υψηλού μοριακού βάρους πολυσακχαρίτες που υπάρχουν στους καβουρδισμένους κόκκους είναι υπεύθυνοι για το ιξώδες (σώμα) της παρασκευής καφέ. Τέλος, υποστηρίζεται ότι το σχήμα και το μέγεθος του κόκκου διαδραματίζουν σημαντικό αντίκτυπο στη γεύση του καφέ με τους μεγαλύτερους κόκκους να είναι πιο γευστικοί σε σύγκριση με τους μικρότερους κόκκους και ότι η ομοιότητα στο μέγεθος των κόκκων καφέ επιτρέπει ομοιόμορφο βαθμό καβουρδίσματος. (Seninde και Chambers 2020)



Εικόνα 3. Τα βασικότερα χαρακτηριστικά του καφέ Arabica και Robusta.

Ηλεκτρονική Πηγή: <https://www.coffees.gr/coffee-arabica-robusta/>

Από τα παραπάνω είδη έχουν προκύψει χιλιάδες ποικιλίες μέσω μεταλλάξεων των φυτών τους και αναμειξέων ανά καλλιεργητή και χώρα καλλιέργειας. Εκτός από το ρόφημα καφέ, το φυτό *Coffea* (Εικόνα 4) προσφέρει πολλά περισσότερα από τον καβουρδισμένο κόκκο. Κατά την καλλιέργεια του φυτού συγκεντρώνονται διάφορα παραπροϊόντα, τα οποία καλούνται συχνά «παραπροϊόντα καφέ». Σήμερα, τα συγκεκριμένα παραπροϊόντα είτε παραμένουν αχρησιμοποίητα, είτε ανακυκλώνονται θερμικά ή χρησιμοποιούνται ως λίπασμα. Για παράδειγμα στις ανεπτυγμένες χώρες, οι ερασιτέχνες και οι μικροεπιχειρηματίες χρησιμοποιούν όλο και περισσότερο τα υπολείμματα καφέ ως υπόστρωμα για την ανάπτυξη μανιταριών για προσωπική ή περιορισμένη εμπορική χρήση. (Carrasco-Cabrera, Bell, και Kertesz 2019). Σημειώνεται ότι τα παραπροϊόντα καφέ έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν σε προϊόντα τροφίμων και γι' άλλες εφαρμογές με οφέλη σε κοινωνικοοικονομικό επίπεδο και στην ανθρώπινη υγεία (Lachenmeier κ.ά. 2022).

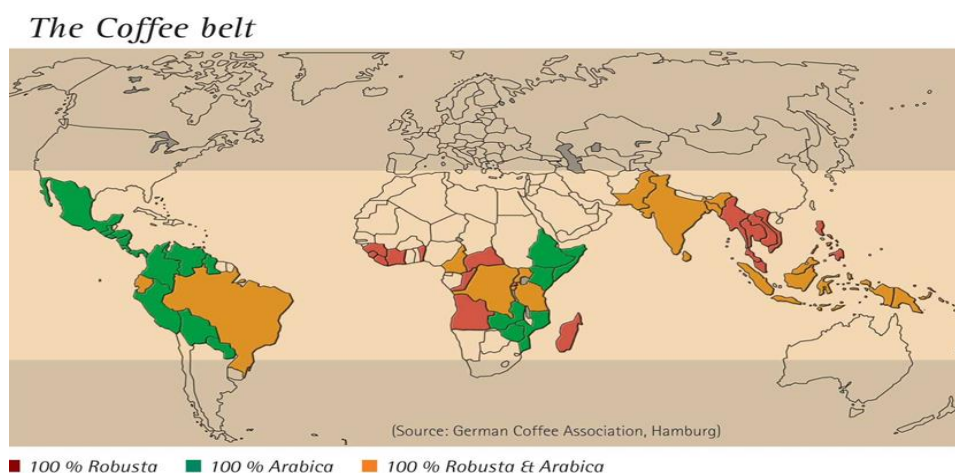


Εικόνα 4. Το δέντρο του καφέ - Καφεόδεντρο.

Ηλεκτρονική Πηγή: <https://www.mistikakipou.gr/kafeodentro-kalliergeia/>

1.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΑΦΕ

Σήμερα η παγκόσμια παραγωγή καφέ ανέρχεται στα 6,3 εκατομμύρια τόνους ετησίως. Παρόλο που αναπτύσσεται και καλλιεργείται σε περίπου εβδομήντα τροπικές και υποτροπικές χώρες, η συντριπτική πλειοψηφία του καφέ που καταναλώνεται σε όλη την υφήλιο προέρχεται από περιορισμένους σε αριθμό παραγωγούς. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο καφές φύεται σε μια περιοχή συγκεκριμένου γεωγραφικού πλάτους που αποκαλείται «Ζώνη του Καφέ» (Εικόνα 5). Η συγκεκριμένη περιοχή εκτείνεται από τη Νότια και Κεντρική Αμερική έως την Νοτιοανατολική Ασία, διατρέχοντας την Αφρική. Οι αναφερόμενες εκτάσεις πληρούν τις προδιαγραφές για σωστή ανάπτυξη του καφέ. Συνεπώς, είναι λογικό το δέντρο του καφέ να ευδοκίμει σε ζεστά, τροπικά κλίματα (Perez κ.ά. 2023; Jovanovic 2021).



Εικόνα 5. Η «Ζώνη του Καφέ».

Ηλεκτρονική Πηγή: (Plants & People group 5 2014)

Ο αριθμός των χωρών που παράγουν καφέ για εξαγωγή είναι περίπου πενήντα. Οι κόκκοι του έχουν διαφορετικές γεύσεις και ποιότητες ανάλογα με το μέρος που καλλιεργούνται. Για παράδειγμα, ο καφές που καλλιεργείται στην Αφρική είναι γνωστό ότι διαθέτει φρουτώδεις νότες εσπεριδοειδών στο γευστικό του προφίλ. Είναι, επίσης, πιο ελαφρύς και πιο όξινος από τον καφέ που καλλιεργείται σε άλλα μέρη του κόσμου. Από την άλλη πλευρά, ο καφές που καλλιεργείται στη Νότια Αμερική διαθέτει νότες ξηρών καρπών και σε μερικές περιπτώσεις λουλουδένιες νότες. Συνήθως, έχει μέτριο σώμα και οξύτητα. Όσον αφορά τον Ασιατικής προέλευσης καφέ, χαρακτηρίζεται από γήινες γεύσεις που θυμίζουν μπαχαρικά, όπως κανέλα ή γαρύφαλλο. Ο καφές από αυτή την ήπειρο είναι πιο γλυκός και έχει πιο βαρύ σώμα (Jovanovic 2021).

Ο κορυφαίος παραγωγός καφέ στον κόσμο είναι η Βραζιλία. Περίπου το 70% του καφέ που καλλιεργείται είναι της ποικιλίας *Arabica*. Οι κόκκοι του βραζιλιάνικου καφέ χαρακτηρίζονται από ξηρές, σοκολατένιες γεύσεις. Επειδή καλλιεργούνται σε χαμηλότερα υψόμετρα, δεν είναι πολύ όξινοι, αντίθετα είναι γλυκόπικροι, σαν μαύρη σοκολάτα. Στη Βραζιλία, περισσότεροι από 2,6 εκατομμύρια τόνοι παρήχθησαν τον περασμένο χρόνο. Ο αριθμός αυτός ξεπερνά κατά ένα εκατομμύριο τόνους την παραγωγή του Βιετνάμ, το οποίο είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός καφέ στον κόσμο. Το 90% του συνόλου του καφέ που καλλιεργείται στο Βιετνάμ είναι της ποικιλίας *Robusta*. Συγκεκριμένα, οι κόκκοι *Robusta* που καλλιεργούνται εκεί αντιπροσωπεύουν περίπου το 20% του καφέ που καταναλώνεται σε όλο τον κόσμο. Επίσης, έχουν έντονη πικρή γεύση και χρησιμοποιούνται κυρίως σε μείγματα με κόκκους *Arabica* (Jovanovic 2021).

Η καλλιέργεια του καφέ στην Κολομβία ξεκίνησε το 1700. Σαν χώρα είναι διεθνώς γνωστή για την κουλτούρα του καφέ και έτσι κατακτά την τρίτη θέση παραγωγού στον κόσμο. Σήμερα, η Κολομβία παράγει περισσότερους από 754.000 τόνους καφέ. Ο Κολομβιανός καφές είναι γνωστός σε όλο τον κόσμο λόγω των χαρακτηριστικών του. Συγκεκριμένα, έχει αρώματα φρούτων και ξηρών καρπών, ήπιο σώμα και νότες οξύτητας και γλυκύτητας (Jovanovic 2021).

Στην τέταρτη θέση παραγωγής καφέ βρίσκεται η Ινδονησία, με παραγωγή που υπερβαίνει τους 668.000 τόνους. Ο ινδονησιακός καφές *Arabica* έχει γήινα, πικάντικα, σοκολατένια και ξυλώδη αρώματα. Διαθέτει πλούσια γεύση και γεμάτο σώμα, ενώ εξακολουθεί να διατηρεί μια απαλή οξύτητα (Jovanovic 2021).

Υπάρχουν περίπου 50 χώρες στον κόσμο που παράγουν και εξάγουν καφέ. Ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος που καταναλώνεται σε παγκόσμιο επίπεδο προέρχεται από τις 15 κορυφαίες χώρες παραγωγής που παρουσιάζονται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 6).

Countries	Coffee Production (metric tons)	Variety	Taste
 Brazil	2,680,515	74% arabica	Nuts, chocolate, bittersweet, low acidity
 Vietnam	1,542,398	89% robusta	Strong, bitter
 Colombia	754,376	100% arabica	Fruits, nuts, mild acidity & sweetness
 Indonesia	668,677	75% robusta	Earth, spices, chocolate, wood, leather, gentle acidity & rich taste (Indonesian arabica)
 Honduras	475,042	91% arabica	Hazelnut, vanilla, subtle acidity
 Ethiopia	471,247	54% arabica	Floral, fruit, mild acidity
 Peru	346,466	94% arabica	Floral, nuts, fruit, medium acidity & rich sweetness
 India	312,000	72% robusta	Cinnamon, clove, nutmeg, cardamom, tropical fruit, gentle acidity & rich taste (Indian arabica)
 Guatemala	245,441	98% arabica	Chocolate, nuts, caramel, rich sweetness
 Uganda	209,325	89% robusta	Chocolate, caramel, red berry, citrus, nougat, wine-like acidity (Ugandan arabica)
 Mexico	153,794	96% arabica	Fruit, nuts, chocolate, slight acidity
 Laos	150,795	85% robusta	Chocolate, vanilla, strong, bitter
 Nicaragua	128,111	98% arabica	Caramel, chocolate, citrus, floral, nuts, vanilla, balanced acidity
 China	115,150	99% arabica	Chocolate, cream, fruit, mild acidity & sweetness
 Côte d'Ivoire	103,514	100% robusta	Strong, bitter

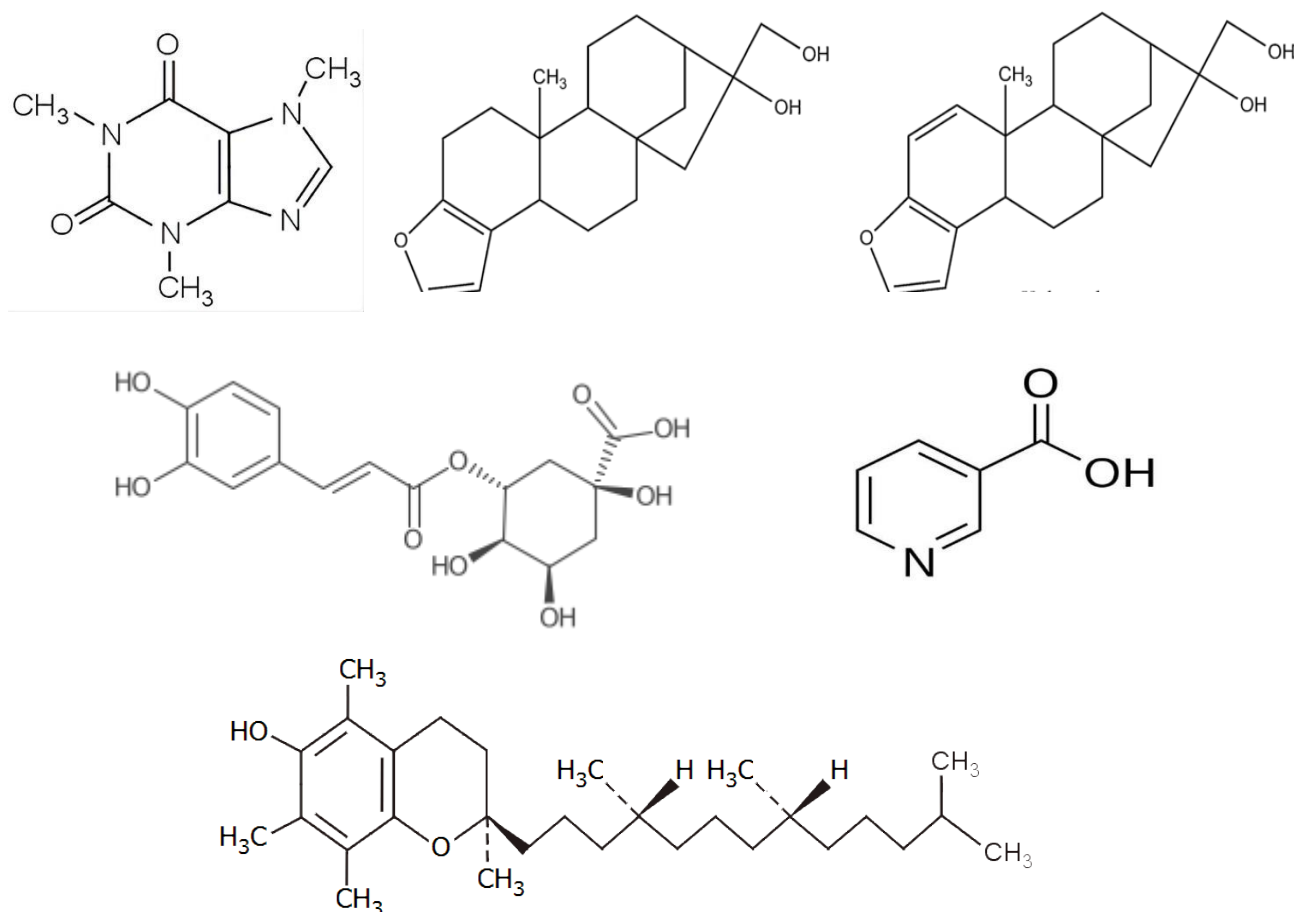
Εικόνα 6. Οι 15 χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή καφέ το 2023.

Ηλεκτρονική Πηγή: (The World's Top 15 Coffee Producing Countries In 2023)

1.4 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΙ ΟΦΕΛΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

Ο καφές είναι ένα από τα ευρύτερα καταναλώσιμα ροφήματα στον κόσμο λόγω του διεγερτικού του χαρακτήρα και της μοναδικής του γεύσης. Αν και ιστορικά συσχετίζεται με αρνητικές επιπτώσεις για την υγεία, πρόσφατες μελέτες αναδεικνύουν τα ευεργετικά του αποτελέσματα (Barrea κ.ά. 2023).

Συγκεκριμένα, ο καφές διαθέτει οφέλη για την υγεία λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε καφεΐνη, καφεστόλη και καφεόλη (διτερπενικές αλκοόλες), χλωρογενικό οξύ, κάλιο, μαγνήσιο, νιασίνη και βιταμίνη E (Εικόνα 7). Η καφεΐνη, που είναι το βασικότερο συστατικό του, μειώνει τον κίνδυνο εμφάνισης νευροεκφυλιστικών ασθενειών, όπως το Αλτσχάιμερ και τη Νόσο Πάρκινσον, ενώ παράλληλα παρουσιάζει ψυχοδιεγερτική δράση (Cappelletti κ.ά. 2015). Ειδικά ο πράσινος καφές, είναι πλούσιος σε χλωρογενικό οξύ (CGA), το οποίο ανήκει στα φαινολικά οξέα και παρουσιάζει πολυάριθμα οφέλη για την υγεία μεταξύ των οποίων αντιβακτηριακές, αντιμυκητιασικές και αντιοξειδωτικές ιδιότητες (Bharath, Sowmya, και Mehta 2015).



Εικόνα 7. Οι συντακτικοί τύποι των βασικών συστατικών του καφέ σε σειρά: Καφεΐνη, Καφεστόλη, Καφεόλη, Χλωρογενικό οξύ, Νιασίνη και Βιταμίνη E.

Η καφεόλη που περιέχεται στον καφέ έχει χαρακτηριστεί ως μία από τις κύριες ενώσεις που είναι υπεύθυνη για την πρόληψη του καρκίνου, όπως στις περιπτώσεις καρκίνου του παχέος εντέρου, του ήπατος και του μαστού. Συγκεκριμένα, η καφεόλη αποτελεί αντιοξειδωτικό και προστατεύει το DNA από το οξειδωτικό στρες που του προκαλεί το υπεροξείδιο του υδρογόνου καθαρίζοντας αντιδραστικά είδη οξυγόνου (ROS). Εκτός από την καφεόλη, πολυφαινόλες που βρίσκονται στον καφέ, όπως το χλωρογενικό οξύ, έχουν αντιοξειδωτική και αντιφλεγμονώδη ιδιότητα. Επιπλέον, το καφεϊκό οξύ καταστέλλει τη μεθυλίωση του DNA στα καρκινικά κύτταρα και συνδέεται με την αδρανοποίηση λειτουργιών του οργανισμού που συνδέονται με την αύξηση εμφάνισης όγκων, όπως είναι το στρες, η απόπτωση και η φλεγμονώδης απόκριση. Γενικότερα, ο καφές παρουσιάζει αντικαρκινική δράση λόγω εμφάνισης ανασταλτικών/κατασταλτικών επιδράσεων σε κάθε στάδιο της διαδικασίας της καρκινογένεσης. Δηλαδή, αποτρέπει την ανάπτυξη καρκίνου απομακρύνοντας τον προκαρκινογόνο παράγοντα, αναστέλλοντας τον οξειδωτικό και τονώνοντας την κυτταρική άμυνα του οργανισμού στη φάση έναρξης της καρκινογένεσης, αφαιρώντας κατεστραμμένα κύτταρα και εμφανίζοντας αντιφλεγμονώδη δράση (Gökceci και Şanlıer 2019).

Αρκετές επιδημιολογικές μελέτες συσχετίζουν την κατανάλωση του καφέ με μειωμένη συχνότητα εμφάνισης διαφόρων χρόνιων παθήσεων, όπως είναι ο διαβήτης και οι καρδιαγγειακές παθήσεις. Ο διαβήτης τύπου II αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα υγείας που πλήττει εκατομμύρια ανθρώπους σε όλο τον κόσμο και χαρακτηρίζεται από αυξημένα επίπεδα σακχάρου στο αίμα. Άτομα που καταναλώνουν καφέ παρουσιάζουν σημαντικά μειωμένο κίνδυνο ανάπτυξης της ασθένειας με 23-50% χαμηλότερο κίνδυνο εμφάνισής της. Ακόμη, ο καφές δρα θετικά στις χρόνιες ηπατικές παθήσεις, διότι συνδέεται αντιστρόφως με τη δράση των ηπατικών ενζύμων σε άτομα που κινδυνεύουν. Μια από τις ασθένειες αυτές είναι η κίρρωση, που το ήπαρ έχει αντικατασταθεί σε μεγάλο βαθμό από ουλώδη ιστό. Αποδεικνύεται ότι ο καφές μπορεί να προστατεύσει από την κίρρωση με 80% χαμηλότερο κίνδυνο εμφάνισης (Gökceci και Şanlıer 2019).

Παρά τα οφέλη για την υγεία, η υπερβολική κατανάλωση καφέ δεν συνιστάται καθώς μπορεί να συνδεθεί με τον κίνδυνο εμφάνισης καρδιαγγειακών παθήσεων, λόγω της παρουσίας παραγόντων που αυξάνουν τη χοληστερόλη. Συγκεκριμένα, οι διτερπενοειδείς αλκοόλες αυξάνουν τα επίπεδα ομοκυστεΐνης και χοληστερόλης και ως εκ τούτου έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα (Barrea κ.ά. 2023).

Σύμφωνα με μελέτες των τελευταίων ετών, η κατανάλωση έως και 400 mg/ημέρα (3-4 φλιτζάνια την ημέρα – μέτρια κατανάλωση) καφεΐνης είναι ασφαλής για τον μέσο ενήλικα και 200 mg/ημέρα (2 φλιτζάνια την ημέρα) για έγκυες και θηλάζουσες γυναίκες. Ωστόσο, θα

πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ο καφές παρέχει μέγιστα οφέλη όταν καταναλώνεται χωρίς ζάχαρη, γάλα ή άλλα πρόσθετα (όπως σιρόπι με γεύση). Επίσης, για καταναλωτές που λαμβάνουν φαρμακευτική αγωγή, το χρονικό διάστημα μεταξύ της κατανάλωσης καφέ και ορισμένων φαρμάκων πρέπει να υπάρχει σε βαθμό που θα αποτρέπει την αλληλεπίδραση μεταξύ των συστατικών αυτών (Gökceci και Şanlıer 2019).

1.5 ΑΓΟΡΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΦΕ

Ο καφές αποτελεί τόσο το δεύτερο μεγαλύτερο εμπορικό προϊόν που διακινείται στο διεθνές εμπόριο όσο και ένα από τα πολυτιμότερα γεωργικά προϊόντα που διακινούνται παγκοσμίως. Οι κύριοι προμηθευτές βρίσκονται σε αναπτυσσόμενες χώρες και οι κύριοι αγοραστές είναι οι ανεπτυγμένες χώρες. Για την ακρίβεια, από πλευράς κατανάλωσης, οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Ευρωπαϊκή Ένωση, η Βραζιλία και η Ιαπωνία αντιπροσωπεύουν τα δύο τρίτα της παγκόσμιας ζήτησης καφέ (Vegro και de Almeida 2020). Έτσι, εκείνος έχει σημαντικό αντίκτυπο σε εκατομμύρια ανθρώπους παγκοσμίως, από αγρότες μέχρι καταναλωτές. Αποτελέσματα ερευνών δείχνουν ότι το παγκόσμιο εμπόριο καφέ αυξάνεται σταθερά και ότι ο αριθμός των επιστημονικών δημοσιεύσεων στον καφέ αυξάνεται επίσης εκθετικά (Pancsira 2022).

Ο τομέας του καφέ είναι μια παγκόσμια επιχείρηση πολλών δισεκατομμυρίων δολαρίων, στην οποία συμμετέχουν χιλιάδες εταιρείες και αρκετά εκατομμύρια αγρότες. Οι εδαφικές συνθήκες που επικρατούν στη μεσοτροπική και ισημερινή ζώνη («Ζώνη του Καφέ»), καθορίζουν τον σχεδιασμό της εμπορικής αλυσίδας για συναλλαγές καφέ παγκόσμια. Τα τελευταία χρόνια, όμως, ο τομέας αυτός αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις αειφορίας, όπως η ρύπανση των υδάτων, η απώλεια βιοποικιλότητας, η διάβρωση του εδάφους, η χρήση αγροχημικών και η αποψίλωση των δασών. Ακόμη, μεγάλο αντίκτυπο στην καλλιέργεια καφέ παρουσιάζει η κλιματική αλλαγή, με τις εκτεταμένες ξηρασίες και τις δυσμενείς θερμοκρασίες να την επηρεάζουν. Τα παραπάνω συμβάλλουν στην παραγωγή μη φυσικών και κατ' επέκταση μη εμπορικών ποικιλιών (Bager και Lambin 2020).

Τα ζητήματα αειφορίας δεν αντιμετωπίζονται ομοιόμορφα στον τομέα του καφέ, καθώς μόνο το ένα τρίτο όλων των εταιρειών δείχνει απτή δέσμευση στη βιωσιμότητα που ασκείται μέσω διαφορετικών προσεγγίσεων. Η βιωσιμότητα είναι ένα πρότυπο παραγωγής το οποίο στοχεύει στο καλύτερο οικονομικό αποτέλεσμα τόσο για τον καταναλωτή όσο και για το φυσικό περιβάλλον. Γι' αυτό, ύψιστης σημασίας αποτελεί η συμμόρφωση των εταιρειών και των παραγωγών στα μέτρα της. Ωστόσο, ο τομέας του καφέ θα πρέπει να καταβάλλει μεγάλη προσπάθεια για να διασφαλίσει τη βιωσιμότητα σε ολόκληρο τον κλάδο. Οι συστηματικοί έλεγχοι, οι τυποποιημένοι δείκτες, η υποχρεωτική υποβολή εκθέσεων και η αυξημένη

διαφάνεια αυτών που υιοθετούν πρακτικές θα διασφάλιζαν ότι οι ενέργειες στον τομέα αυτόν έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη βιωσιμότητα. Επίσης, με την αυξανόμενη ευαισθητοποίηση των ενδιαφερομένων σχετικά με τις προκλήσεις αειφορίας και τις νέες τεχνολογίες πληροφοριών, οι καινοτομίες αειφορίας είναι πιθανό να συνεχίσουν να μεταμορφώνουν τον τομέα του καφέ (Bager και Lambin 2020).

Μελλοντικά, αναμένεται ακόμη μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τον καφέ από τις επιχειρήσεις και τα επαγγέλματα που συνδέονται μαζί του. Ο καφές θα συνεχίσει να αποτελεί έμπνευση για την ανθρωπότητα και το εμπόριο, παρέχοντας τα πλαίσια στους ανθρώπους και τα έθνη να ανοίξουν το δρόμο τους σε μεγαλύτερη διεθνή συνεργασία προς όφελος όχι μόνο των εμπλεκόμενων αλλά και της κοινωνίας ως σύνολο. Αυτό είναι δυνατό να συμβεί μιας που ο καφές προάγει την κοινωνικοποίηση και διεγείρει τους διαλόγους και τις συναντήσεις, βοηθώντας να ξεπεραστούν διαφορές ώστε να προωθήσουν το ιδιαίτερα αναγκαίο δημοκρατικό περιβάλλον (Vegro και de Almeida 2020).

Από την άλλη πλευρά, η κλιματική αλλαγή προβλέπεται να αυξήσει τη συχνότητα εμφάνισης και τη σοβαρότητα των παρασίτων και ασθενειών του καφέ. Για παράδειγμα, η σκουριά των φύλλων του καφέ, που συνιστά μια από τις σημαντικότερες ασθένειες του, ενώ συνήθως εμφανιζόταν κατά την έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες, πλέον καταγράφεται να κινείται ανοδικά στα ορεινά και τις ψυχρότερες περιοχές. Ακόμη, οι κλιματικές αλλαγές αναμένεται να επηρεάσουν την κατανομή των ειδών, με τις σημερινές κατεχόμενες περιοχές να γίνονται ακατάλληλες για την καλλιέργεια του. Οι αλλαγές αυτές θα οδηγήσουν σε μείωση του αριθμού των βέλτιστων τοποθεσιών παραγωγής καφέ και των χωρών εξαγωγής στη Μεσοαμερική, τη Νότια Αμερική, τα νησιά του Ειρηνικού και την Αφρική. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα του καφέ και οι χώρες παραγωγής θα πρέπει να προσαρμόσουν τις γεωργικές πρακτικές τους μετριάζοντας τις επιπτώσεις της μελλοντικής κλιματικής αλλαγής, ώστε να μην τεθεί σε κίνδυνο η παραγωγή καφέ τα επόμενα χρόνια (Weldemichael και Teferi 2019).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΝΟΘΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΝΟΘΕΙΑ ΣΕ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Το φαινόμενο της νοθείας τροφίμων αποτελεί τεράστια απειλή για τον επιστημονικό τους κλάδο και για το καταναλωτικό κοινό εδώ και πολλά χρόνια. Από τον Μεσαίωνα, η επιμόλυνση των τροφών από μικρόβια προκάλεσε επιδημίες τύφου και χολέρας που αφάνισαν εκατομμύρια ανθρώπους. Ακόμη, υπήρξαν περιπτώσεις πρόσληψης υψηλών ποσοτήτων μολύβδου, κυρίως από σωλήνες ύδρευσης, γεγονός που αποτέλεσε τυπικό παράδειγμα νόσησης από την κατανάλωση νερού σε αστικά κέντρα. Από εκείνα τα χρόνια, ως σήμερα, πραγματοποιείται αλόγιστη χρήση εντομοκτόνων και λιπασμάτων στα φυτά και φρούτα, η χορήγηση ορμονών σε ζώα, καθώς και η χρήση χρωστικών σε συντηρημένα προϊόντα (Brooks κ.ά. 2021).

Η χρήση πρακτικών νοθείας στα προϊόντα τροφίμων ήταν κοινή στις διάφορες κοινωνίες. Οι νομικοί έλεγχοι της ποιότητας των τροφίμων ήταν ελάχιστοι και η παρακολούθηση από τις αρχές αμελητέα ή ακόμη και ανύπαρκτη. Οι σύγχρονες μαρτυρίες νοθείας χρονολογούνται από τη δεκαετία του 1850 έως σήμερα. Η πρώτη έρευνα σχετικά με τη νοθεία προϊόντων τροφίμων πραγματοποιήθηκε το 1820 από τον Γερμανό χημικό Frederick Accum, ο οποίος εντόπισε πολλούς χρωματισμούς από μέταλλα σε τρόφιμα και ποτά, οι οποίοι αποδείχτηκαν τοξικοί για τον οργανισμό (Manasha και Janani 2016). Αργότερα, ο γιατρός Άρθουρ Χιλ Χάσαλ πραγματοποίησε εκτεταμένες έρευνες, στις αρχές της δεκαετίας του 1850, οι οποίες οδήγησαν στο νόμο περί νόθευσης του 1860, αλλά και σε περαιτέρω νομοθετικές ρυθμίσεις (Ghimire 2016). Τα τελευταία χρόνια η διασφάλιση της γνησιότητας και της ποιότητας των τροφίμων έχει αυξηθεί λόγω του υψηλού προφίλ περιστατικών νοθείας τροφίμων. Το 2019, αναφέρθηκαν 114 περιστατικά διεθνώς, ενώ το 2020 εντοπίστηκαν συνολικά 147, με αξιοσημείωτη αύξηση της τάξης του 22% από έτος σε έτος (Brooks κ.ά. 2021).

Στον Ελλαδικό χώρο εντοπίζεται σε πολύ μεγάλο ποσοστό το πρόβλημα της νοθείας. Το Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης με συνέχεις και ενδεδειγμένες έρευνες που πραγματοποιεί για την ταυτοποίηση των χαρακτηριστικών των προϊόντων, αποκαλύπτει ότι τα ποσοστά νοθείας ανέρχονται σε ποσοστό 20% - 50%. Τα υψηλά αυτά ποσοστά προκαλούν προβληματισμό τόσο στην κυβέρνηση όσο και στο καταναλωτικό κοινό. Πράγματι, ο κίνδυνος που συνδέεται με τη νοθεία των τροφίμων αυξάνεται τόσο ως προς την απειλή που αποτελεί για τη δημόσια υγεία, όσο και για την ανησυχία που δημιουργεί στους καταναλωτές. Αυτό σχετίζεται με την αυξανόμενη πολυπλοκότητα των αλυσίδων εφοδιασμού τροφίμων, με τις εταιρείες που ελέγχουν λιγότερο βασικές διαδικασίες και τους οργανισμούς παρακολούθησης που έχουν λιγότερη ικανότητα να εντοπίζουν περιστατικά νοθείας. Η περιγραφόμενη

κατάσταση επιδεινώθηκε από την παγκόσμια ύφεση, καθώς οι προμηθευτές, πιεζόμενοι από την ανόρθωση της ακρίβειας και του κόστους, είχαν ισχυρότερα κίνητρα να διαπράξουν κάποιου είδους νοθεία (Lord, Flores Elizondo, και Spencer 2017).

2.2 ΝΟΘΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Στον τομέα των τροφίμων το φαινόμενο της νοθείας διέπεται από δυο νόμους. Ο πρώτος νόμος αναφέρεται στο γεγονός ότι η τεχνολογία της νοθείας προηγείται πάντα της τεχνολογίας του ελέγχου. Ο συγκεκριμένος νόμος αφορά τόσο τους καταναλωτές, που δεν αναπτύσσουν την κατάλληλη ευαισθητοποίηση σχετικά με το θέμα και δεν λαμβάνουν επαρκή ενημέρωση, όσο και την πολιτική ηγεσία, η οποία οφείλει να λαμβάνει κατάλληλα μέτρα για τον εντοπισμό φαινομένων νοθείας και κατ' επέκταση να υποβάλει ανάλογες κυρώσεις. Ο δεύτερος νόμος ισχυρίζεται ότι η νοθεία του κάθε προϊόντος είναι ανάλογη του μεγέθους του. Συγκεκριμένα, όσο περισσότερο απαραίτητο κρίνεται ένα προϊόν, δηλαδή περισσότερο διαδεδομένο, αναγκαίο, καθημερινής χρήσης, τόσο συχνότερη είναι η νοθεία του. Για παράδειγμα, η νοθεία του άρτου και του γάλατος είναι συχνότερη συγκριτικά με τη νοθεία της ρίγανης, η οποία ενδέχεται να είναι μηδενική (Brooks κ.ά. 2021; Ghimire 2016).

Γενικά, τα τρόφιμα υπόκεινται σε διάφορα είδη νοθείας είτε όταν η ζήτηση του προϊόντος είναι μεγαλύτερη από την προσφορά στην αγορά, ή για να φτάσει στο ίδιο επίπεδο με τους ανταγωνιστές της αγοράς, με μείωση του κόστους παραγωγής. Ακόμη, η έλλειψη εκπαιδευμένου ανθρώπινου δυναμικού, σε συνδυασμό με την επεξεργασία τροφίμων με τη χρήση απαρχαιωμένων τεχνικών και την έλλειψη επαρκούς γνώσης των καταναλωτών ως προς τις πιθανές αιτίες εμφάνισης ασθενειών που προκαλούνται λόγω κατανάλωσης νοθευμένων προϊόντων, ενισχύουν τις πρακτικές αυτές (Choudhary κ.ά. 2020).

Παρακάτω παρατίθενται παγκόσμια συμβάντα νοθείας τροφίμων που προκάλεσαν παγκόσμιο ενδιαφέρον. Σε μια περίπτωση νοθείας στην Αμερική που χαρακτηρίστηκε ως “Honeygate”, μεγάλες ποσότητες μελιού, εισαγόμενες κυρίως από την Κίνα, επανασυσκευάστηκαν σε άλλες χώρες και με παραποιημένα στοιχεία προέλευσης εισήχθησαν στην Αμερικανική αγορά. Οι έρευνες έδειξαν ότι το μέλι περιείχε συστατικά μη επιτρεπόμενα από την αμερικανική νομοθεσία και σε κάποιες περιπτώσεις το μέλι αποτελούσε μίγμα γλυκαντικών και χημικών ουσιών, οι οποίες σε καμία περίπτωση δεν αποτελούσαν μέλι. Μεγαλύτερο σκάνδαλο εμφανίστηκε με την περίπτωση προσθήκης μελαμίνης σε παιδικά γάλατα, που προκάλεσε μέχρι και θάνατο σε βρέφη. Επίσης, η αραίωση εξαιρετικά παρθένων ελαιόλαδων με φθηνότερα, χαμηλότερης ποιότητας έλαια, για την αύξηση των αποδόσεων και μείωση του κόστους παραγωγής και το «σκάνδαλο» που αφορούσε το κρέας αλόγου, το οποίο

ανακαλύφθηκε σε αρκετές βρετανικές και ιρλανδικές αγορές, κατά το οποίο ανιχνεύτηκε αλογίσιο κρέας σε προϊόντα μοσχαρίσιου και χοιρινού κρέατος. Ο αντίκτυπος των παραπάνω περιπτώσεων οδήγησε σε αυξημένη ευαισθητοποίηση των καταναλωτών και σε επακόλουθες νομοθετικές και παγκόσμιες βελτιώσεις προτύπων, ωστόσο εξακολουθούν να υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης (Choudhary κ.ά. 2020; Lord, Flores Elizondo, και Spencer 2017).

2.3 ΕΙΔΗ ΝΟΘΕΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Τα κυριότερα είδη πρακτικών νοθείας που εντοπίζονται στα προϊόντα τροφίμων απαντώνται σε επτά διαφορετικές κατηγορίες. Αρχικά, παρατηρείται έντονα το φαινόμενο της λανθασμένης επισήμανσης, δηλαδή της διαδικασίας τοποθέτησης ψευδών στοιχείων στις συσκευασίες για οικονομικό όφελος. Η χρήση του συγκεκριμένου όρου περιορίζεται σε δόλιες επισημάνσεις των χαρακτηριστικών ετικέτας που περιγράφουν τις διαδικασίες παραγωγής, για παράδειγμα πώληση συμβατών προϊόντων ως βιολογικά, αλλά και στην παραποίηση των ημερομηνιών λήξης σε τελικά προϊόντα, με στόχο την παράταση της διάρκειας ζωής τους (Tranchard 2016).

Ένα εξίσου σημαντικό μέσο νόθευσης των προϊόντων τροφίμων είναι η υποκατάσταση ή αντικατάσταση (substitution – replacing) ενός συστατικού, ή μέρους του προϊόντος, υψηλής αξίας με ένα συστατικό, ή μέρος του προϊόντος, με κάποιο χαμηλότερης αξίας. Η αντικατάσταση συνήθως περιλαμβάνει αραίωση του προϊόντος, ή επέκταση ενός αυθεντικού συστατικού, με την προσθήκη ενός ή περισσότερων μέσων νόθευσης. Έτσι, θεωρείται ως μία κατηγορία μαζί με την αραίωση, κατά την οποία πραγματοποιείται ανάμειξη υγρού συστατικού υψηλής αξίας με υγρό χαμηλότερης αξίας. Ένα παράδειγμα που παρατηρείται συχνά είναι η προσθήκη ύδατος και κιτρικού οξέος σε χυμό λεμονιού για να αυξηθεί η ογκομετρούμενη οξύτητα του τελικού προϊόντος του χυμού (Νίκα 2022).

Η κατηγορία αντικατάστασης περιλαμβάνει επίσης ψευδείς δηλώσεις για τη γεωγραφική, βοτανική, ή ποικιλιακή προέλευση ενός τροφίμου. Όσον αφορά τη γεωγραφική προέλευση, τα προϊόντα χαρακτηρίζονται ως ΠΟΠ (Προστατευόμενη Ονομασία Προέλευσης) ή ΠΓΕ (Προστατευόμενη Γεωγραφική Ένδειξη). Κύριος στόχος της συγκεκριμένης κατηγορίας είναι η αποφυγή δασμών και φόρων και η επισήμανση ενός συνθετικού συστατικού ως "φυσικό". Σύνηθες γεγονός, που χαρακτηρίζει την εξής κατηγορία, αποτελεί η αντικατάσταση του κατσικίσιου γάλακτος με αγελαδινό γάλα μικρότερης αξίας (Νίκα 2022).

Κάθε είδος νοθείας σε τρόφιμα περιλαμβάνει την απόκρυψη κάποιας πτυχής του πραγματικού περιεχομένου τους. Η διαδικασία απόκρυψης, είτε της χαμηλής ποιότητας

συστατικών τροφίμων, ή ενός προϊόντος, ή των ιδιοτήτων του προϊόντος, συμπεριλαμβάνεται στα είδη νοθείας των τροφίμων. Ένα από τα παραδείγματα που αναφέρονται σ' αυτή την κατηγορία είναι των πουλερικών, τα οποία εγχέονται με ορμόνες επιβλαβείς για την υγεία, οι οποίες αποκρύπτονται από τους καταναλωτές. Ακόμη, η χρήση χρωστικών στα φρούτα για τη βελτίωση της εμφάνισής τους ταξινομείται ως τεχνητή ενίσχυση, με την προσθήκη μη επιτρεπτών υλών σύμφωνα με τη νομοθεσία. Η συγκεκριμένη πρακτική περιλαμβάνει την προσθήκη μικρών ποσοτήτων συστατικών χαμηλής ποιότητας που καλύπτουν ένα συστατικό ανώτερης ποιότητας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η προσθήκη πρόσθετων χρωμάτων στην πάπρικα για την ενίσχυση του χρώματος (Νίκα 2022; Brooks κ.ά. 2021).

Τις παραπάνω μεθόδους νοθείας συμπληρώνει εκείνη της παραποίησης. Η παρούσα διαδικασία περιλαμβάνει την αντιγραφή της επωνυμίας, της ιδέας συσκευασίας, της συνταγής και της μεθόδου επεξεργασίας των προϊόντων διατροφής για οικονομικό όφελος. Η παραποίηση προϊόντων τροφίμων είναι ένα πρόβλημα που έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, με τους παραχαράκτες να χρησιμοποιούν μηχανήματα υψηλής τεχνολογίας για την παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας, τα οποία είναι εξαιρετικά δύσκολο να διακριθούν από τα αυθεντικά προϊόντα. Βέβαια, η ανάγκη για μείωση του κόστους παραγωγής των τροφίμων και η παγκόσμια διανομή οδήγησαν στην παραγωγή νοθευμένων τροφίμων τα οποία ομοιάζουν με τα αντίστοιχα αυθεντικά. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει την παραβίαση της πνευματικής ιδιοκτησίας και παραγωγής εκτός κανονιστικού ελέγχου. Χαρακτηριστικά τρόφιμα που νοθεύονται συχνά με χρήση της περιγραφόμενης μεθόδου είναι το ελαιόλαδο, τα μπαχαρικά και το μέλι. (Νίκα 2022; Tranchard 2016).

Τέλος, υπάρχει η κατηγορία της μη εγκεκριμένης βελτίωσης. Η συγκεκριμένη συνιστά τη διαδικασία προσθήκης άγνωστων, μη δηλωμένων υλικών σε προϊόντα διατροφής για τη βελτίωση των ποιοτικών τους χαρακτηριστικών. Η προσθήκη ενός συστατικού που δεν έχει δηλωθεί, προσδίδει την εμφάνιση των επιθυμητών ιδιοτήτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η προσθήκη μελαμίνης στο γάλα με στόχο την αύξηση της πρωτεϊνικής του αξίας. Συμπληρωματικά, η υπέρβαση στη χρήση υλών εκτός ορίων που να θεσπίζει η νομοθεσία, θεωρείται μέσο νόθευσης των προϊόντων. Η νομοθεσία τροφίμων εγκρίνει τη χρήση συγκεκριμένων προσθέτων, σε ορισμένες κατηγορίες τροφίμων, καθορίζοντας συνήθως το ανώτατο επιτρεπτό όριο στο τρόφιμο, το οποίο εκφράζεται σε μονάδες mg/kg ή μg/L, αναλόγως της φυσικής κατάστασης του τροφίμου (στερεό ή υγρό) (Νίκα 2022; Brooks κ.ά. 2021).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΝΟΘΕΙΑ ΤΟΥ ΚΑΦΕ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΟΥ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο καφές είναι αναμφισβήτητα ένα από τα πιο ευρέως διαδεδομένα προϊόντα διατροφής, ζωτικής σημασίας για τις οικονομίες των χωρών που εμπλέκονται στην παραγωγή και την εξαγωγή του. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχει παρατηρηθεί συνεχής αύξηση της παγκόσμιας κατανάλωσης καφέ, λόγω παραγωγής νέων προϊόντων, καθώς και της εμφάνισης πολλών καταστημάτων πώλησής του και καφετεριών σε κεντρικούς δρόμους. Παρόλα αυτά, καθώς ο καφές γίνεται όλο και πιο δημοφιλής, οι μέθοδοι νόθευσής του πληθαίνουν, καθιστώντας τον ως το μοναδικό προϊόν διατροφής που έχει υποβληθεί σε τόσες μορφές νοθείας (Ferreira κ.ά. 2021; Toci κ.ά. 2016).

Η νοθεία του καφέ χρονολογείται από τις αρχές του 18ου αιώνα, με την επέκταση της κουλτούρας της κατανάλωσης του καφέ από τον Δυτικό κόσμο. Κυρίως στόχος της νοθείας του ήταν η παραποίηση της εμφάνισής του, δεδομένου ότι η μίμηση της γεύσης του από νέα προϊόντα ήταν πολύ πιο δύσκολο να επιτευχθεί. Το πλέον νοθευμένο είδος καφέ ήταν το *Coffea Arabica*, λόγω της περιορισμένης διάθεσής του στην αγορά και της υψηλής εμπορικής του αξίας. Η νόθευση του καφέ στόχευε στη μείωση του κόστους παραγωγής. Συγκεκριμένα, προθέτονταν πιο οικονομικά συστατικά κατά τη διάρκεια παραγωγής του, με σκοπό τη μίμηση ανώτερων ποιοτήτων του. Επιπλέον, συχνό φαινόμενο για εκείνη την εποχή αποτελούσε η αλλοίωση του καφέ από το θαλασινό νερό κατά τη διάρκεια της μεταφοράς του. Η πλωτή οδός ήταν η βασικότερη μεταξύ των εμπορικών οδών, συνεπώς, η άσκηση πρακτικών νοθείας για την κάλυψη ζημιών που προκαλούνταν κατά τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων καφέ ήταν κρίσιμης σημασίας (de Carvalho Couto κ.ά. 2023; Ferreira κ.ά. 2021).

Κατά το δεύτερο μισό του 19ου αιώνα και στις αρχές του 20ου αιώνα, ενισχύθηκαν οι πρακτικές τυποποίησης. Οι εθνικοί οργανισμοί ενισχύθηκαν και η νομοθεσία τροφίμων εμπλουτίστηκε με κανονισμούς που στόχευαν στον αυστηρό έλεγχο της σύστασης των τροφίμων. Δεδομένου ότι ο καφές υπόκειται σε υψηλό βαθμό νοθείας, δημιουργήθηκαν συγκεκριμένοι νόμοι για τη διατήρηση της σύστασης και της ποιότητάς του. Παρόλο που αποτελεί κοινή πεποίθηση το γεγονός ότι η νόθευση είναι μια παράνομη πρακτική, η έννοιά της και οι αντίστοιχες κυρώσεις διαφέρουν ανάλογα με τη χώρα. Μόνο ορισμένοι μεγάλοι παραγωγοί ή/και καταναλωτικές χώρες, όπως η Βραζιλία, διαθέτουν κανονισμούς ειδικά διαμορφωμένους για το εμπόριο του καφέ και τις διάφορες πρακτικές νοθείας. Μερικά παραδείγματα φορέων, απ' όλο τον κόσμο, που ρυθμίζουν την ποιότητα του καφέ είναι η Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων - European Food Safety Authority (EFSA),

ο Αμερικάνικος Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων - U.S. Food and Drug Administration (FDA), η Υπηρεσία Προτύπων Τροφίμων του Ηνωμένου Βασιλείου – Food Standards Agency (FSA), η Agência Nacional de Vigilância Sanitária της Βραζιλίας (ANVISA), το Instituto Colombiano Agropecuario της Κολομβίας (ICA), το Center for Food Safety του Χονγκ Κονγκ (CFS) και το Food Safety and Standards Authority of India (FSSA) (Ferreira κ.ά. 2021).

3.2 ΕΙΔΗ / ΤΥΠΟΙ ΝΟΘΕΙΑΣ ΚΑΦΕ

Έρευνες δείχνουν ότι η νοθεία του καφέ πραγματοποιείται και στα τρία στάδια παραγωγής του, δηλαδή στον ωμό, στον καβουρδισμένο και στον αλεσμένο καφέ. Αρχικά, όσον αφορά τον ωμό καφέ, στην περίπτωση που δεν προέρχεται από ποικιλία ανώτερης ποιότητας, δεν έχει ωριμάσει αρκετά, έχει υποστεί βλάβη κατά τη συγκομιδή, ή έχει φθαρεί κατά τη μεταφορά, βάφεται με ελαιοπράσινο χρώμα. Για το "βάψιμο" χρησιμοποιούνται διάφορα χρώματα, οργανικά ή και ανόργανα και ακολουθεί ένα στίλβωμα, ώστε να κατανεμηθεί το χρώμα. Η πιο αθώα μέθοδος κατεργασίας πραγματοποιείται με πριονίδια ξύλου. Έπειτα, οι κόκκοι του καφέ ραντίζονται με νερό (ή με υδρατμούς), ψήνονται ελαφρά για να φουσκώσουν και πωλούνται ως ανώτερης ποιότητας απ' αυτή που πραγματικά είναι (Ferreira κ.ά. 2021).

Στον καβουρδισμένο καφέ, πραγματοποιείται επεξεργασία των κόκκων, δεδομένου ότι οι γυαλιστεροί κόκκοι πουλιούνται ακριβότερα. Συγκεκριμένα, οι κόκκοι καφέ καβουρντίζονται με χρήση ζάχαρης και παραφίνης, ώστε να αποκτήσουν την εμφάνιση που επιθυμούν οι καταναλωτές. Για το "γυάλισμα" χρησιμοποιούνται συστατικά όπως γλυκερίνη, βαζελινέλαιο, φοινικέλαιο, αμυλοσάκχαρο, σελάκ, ζελατίνη, μελάσα κ.ά. Επιπλέον, υπάρχει η μέθοδος παραγωγής τεχνητών κόκκων από άμυλο και συνθετική καφεΐνη, που με τη βοήθεια διαφόρων τύπων μηχανήματων αποδίδεται οποιοδήποτε σχήμα επιθυμεί ο νοθευτής στον συνθετικό κόκκο, σ' όποιο μείγμα και αν προστεθούν τα συστατικά αυτά. Επίσης, μικρές ποσότητες καλαμποκιού, χαρουπόσπορου, λούπινου, σόγιας, ή φάβας έχουν ανιχνευθεί σε κόκκους καφέ, με στόχο την αύξηση της τιμής. Σχετικά με το καβούρντισμα, στην περίπτωση που ξεπερνά τα επιτρεπτά όρια στη διάρκειά του, υπάρχει κίνδυνος θερμοθραύσης των συστατικών του καφέ, από την οποία δημιουργούνται ίχνη καρκινογόνων κόκκων πίσσας. Γενικά, το καρβούδισμα γίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες με εφαρμογή διαφόρων μεθόδων επεξεργασίας, ανάλογα με τον τύπο του καφέ, με τους σπόρους να γίνονται προοδευτικά σκουρότεροι όσο αυξάνεται η διάρκειά του (Ferreira κ.ά. 2021).

Στην περίπτωση του αλεσμένου καφέ, η πιο «αθώα» πρακτική νοθείας εφαρμόζεται με τη χρήση καβουρδισμένων και αλεσμένων σύκων. Ακολουθεί η νοθεία με κριθάρι και ρεβίθι, ή σίκαλη και με κιχώριο, δηλαδή με ρίζα ραδικιού. Το κιχώριο περιέχει λιγότερα λιπαρά

συστατικά και καθόλου καφεΐνη. Αν και έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει την υγεία του εντέρου, μειώνει τα επίπεδα σακχάρου στο αίμα και προάγει την απώλεια βάρους, το κιχώριο πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή από άτομα με ευαίσθητο στομάχι, διότι οι ίνες του είναι ένα είδος ζυμώσιμης ίνας, που μπορεί να προκαλέσει δυσφορία σε όσους έχουν ευαίσθητο στομάχι και πεπτικά προβλήματα, όπως φούσκωμα, αέρια και διάρροια. Επιπρόσθετα, είναι δυνατό να προκαλέσει αλλεργικές αντιδράσεις με σοβαρά συμπτώματα, όπως κνίδωση και δυσκολία στην αναπνοή. Τέλος, έχει χρησιμοποιηθεί άμυλο, καραμέλα, πικραλίδα, ξερά βελανίδια, διάφορα όσπρια, πίτουρο, πατατάλευρο και καβουρδισμένο πριονίδι, με στόχο τη νόθευση του καφέ, καθιστώντας τον μέχρι και άγευστο (Ferreira κ.ά. 2021).



Εικόνα 8. Κιχώριο, φυσικό υποκατάστατο του καφέ.

Ηλεκτρονική Πηγή: https://www.deahellas.gr/journal2/blog/post?journal_blog_post_id=21

3.3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΣ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΤΗΣ ΝΟΘΕΙΑΣ ΤΟΥ ΚΑΦΕ

Δεδομένου ότι ο καφές έχει γίνει αναπόσπαστο μέρος της καθημερινότητας των ανθρώπων και ότι αποτελεί προϊόν υψηλής οικονομικής αξίας, το οποίο, μάλιστα, χρησιμοποιείται με ευκολία σε σύγχρονες στρατηγικές μάρκετινγκ, οι παραγωγοί, προκειμένου να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη τους, οδηγούνται στην άσκηση πρακτικών που υποβαθμίζουν την ποιότητα του καφέ και που θέτουν σε κίνδυνο την υγεία των καταναλωτών. Με την προσθήκη υλικών χαμηλότερου κόστους, όπως καλαμπόκι, κριθάρι ή ακόμα και φλούδες καφέ, στον εμπορικό καφέ, επιτυγχάνεται μεγάλη αύξηση του κέρδους, εφόσον οικονομικότερα συστατικά αντικαθιστούν ακριβότερα κατά την διαδικασία παραγωγής του καφέ, προδίδοντας παρόμοιο αποτέλεσμα (Milani κ.ά. 2020).

Όσον αφορά τον κοινωνικό αντίκτυπο, δυστυχώς, ο καταναλωτής δε μπορεί να διακρίνει με ευκολία τον νοθευμένο καφέ από τον «αυθεντικό». Ακόμη και μετά την κατανάλωσή του, σε περίπτωση που διακρίνει διαφορετική γεύση από τη συνηθισμένη, θα την αποδώσει στην

ποιότητα του καφέ, ή σε εξωτερικούς παράγοντες που επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα της γεύσης του, όπως είναι η χρήση ανεπαρκώς καθαρισμένων σκευών κατά την προετοιμασία του, ή η ενδεχομένη απειρία του προσωπικού στον χώρο παρασκευής του. Κρίσιμης σημασίας αποτελεί το γεγονός ότι οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται με στόχο τη νοθεία του καφέ (κριθάρι, ρεβίθι, σίκαλη κ.τ.λ.), όταν καβουρντίζονται και αλέθονται έχουν την ίδια όψη με τον καφέ και σε μικρή αναλογία "χάνονται" μέσα στο δυνατό άρωμα και τη γεύση του. Έτσι, μόνο μέσω χημικής ανάλυσης μπορεί να προσδιοριστεί η νοθεία του (de Carvalho Couto κ.ά. 2023).

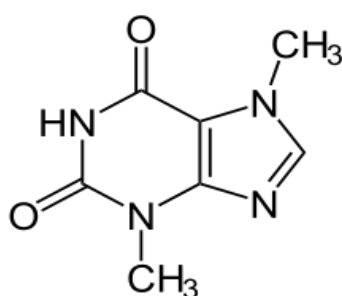
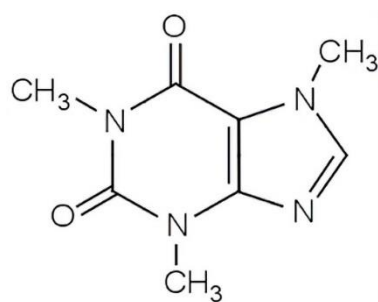
Οι υπεύθυνοι παραγωγής διαθέτουν στην αγορά προϊόντα με ψευδείς πληροφορίες ως προς τους ενδιαφερόμενους που επιθυμούν να προμηθευτούν το προϊόν τους. Με αυτόν τον τρόπο, θέτουν σε κίνδυνο την πιθανότητα ανάπτυξης μιας υγιούς σχέσης «παραγωγού – αγοραστή», γεγονός που ενδέχεται να επιφέρει σοβαρές οικονομικές απώλειες που οδηγούν σε ανεπαρκή πρόβλεψη των εσόδων της βιομηχανίας παραγωγής. Μάλιστα, μέσω αντιδράσεων των ενδιαφερομένων, που ακολουθούνται, συνήθως, με δυσφήμιση της αντίστοιχης εταιρείας, εκείνη μπορεί να οδηγηθεί σε οριστικό κλείσιμο (Du 2021).

Σε συνδυασμό με τα παραπάνω, εφόσον οι αρμόδιοι φορείς ελέγχου των προϊόντων παρουσιάζουν καθυστέρηση και δεν αναπτύσσουν, πολλές φορές, τις κατάλληλες μεθόδους εντοπισμού νοθείας, αναμένεται να προκληθεί τεράστια οικονομική ζημία σε επενδυτές και ενδιαφερόμενους. Με αυτόν τον τρόπο, η αγορά υπονομεύεται και η εμπιστοσύνη των επενδυτών και αγοραστών κλονίζεται. Με βάση τα προαναφερθέντα, τονίζεται η ανάγκη για θέσπιση αυστηρών νόμων σχετικά με τη νοθεία του καφέ και της απόλυτης υπακοής από τους παραγωγούς και τους ενδιαφερόμενους σε εκείνους (Du 2021).

3.4 ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΟΘΕΥΜΕΝΟΥ ΚΑΦΕ

Η κατανάλωση του καφέ έχει αρκετούς κινδύνους για την υγεία των καταναλωτών, ειδικά όταν πραγματοποιείται σε μεγάλη ποσότητα ή από ευπαθείς ομάδες. Μέσω της άσκησης πρακτικών νοθείας σ' εκείνον, οι κίνδυνοι αυτοί είναι λογικό να εντείνονται. Ιδιαίτερης σημασίας αποτελεί το γεγονός ότι τα συστατικά που χρησιμοποιούνται για το γυάλισμα των καβουρδισμένων κόκκων, όπως η ζάχαρη, η παραφίνη, η γλυκερίνη, το βαζελινέλαιο, το φοινικέλαιο, το αμυλοσάκχαρο, η μελάσα κ.ά., προσθέτουν κορεσμένα λιπαρά και εξτρά θερμίδες στη διατροφή των καταναλωτών. Σε συνδυασμό με τη ζάχαρη, την κρεμά, ή οποιοδήποτε άλλο σιρόπι που επιθυμεί κανείς να προσθέσει στον καφέ του, αυξάνονται τα επίπεδα σακχάρου στο αίμα, και προωθείται η αύξηση του σωματικού βάρους (Κρήνη 2016).

Η συνθετική καφεΐνη συνιστά την χημική ένωση 1,3,7-τριμεθυλξανθίνη, γνωστή ως καφεΐνη, που έχει όμως συντεθεί σε εργαστήριο από μια φυτική ένωση γνωστή ως θεοβρωμίνη (Εικόνα 10). Η θεοβρωμίνη, γενικά, βρίσκεται στο τσάι ή στο κακάο, ή απομονώνεται με τη μορφή καφεΐνης από τον καφέ χωρίς καφεΐνη. Υποστηρίζεται ότι η συνθετική καφεΐνη μεταβολίζεται πολύ πιο γρήγορα από τη φυσική καφεΐνη, προκαλώντας μια άνοδο της ενέργειας που ακολουθείται από μια πτώση. Γι' αυτό, ασφαλής θεωρείται η κατανάλωση έως 400 mg καφεΐνης/ημέρα για τους υγιείς ενήλικες, ποσότητα που συνήθως αντιστοιχεί σε 2 κανονικούς «βαριούς» καφέδες (Κρήνη 2016).



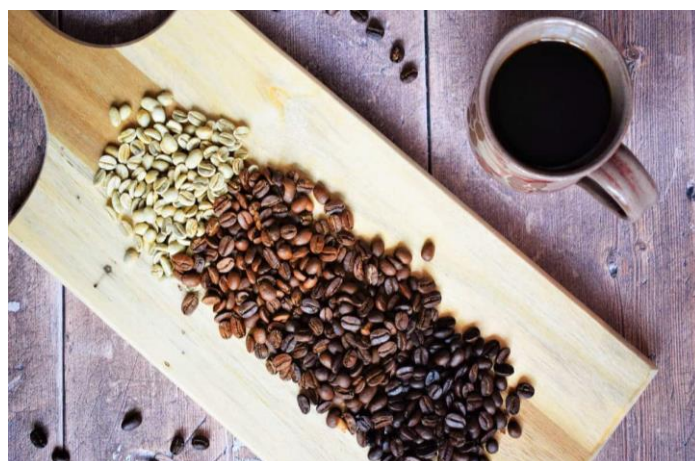
Εικόνα 9. Δεξιά - 1,3,7-τριμεθυλξανθίνη, Αριστερά - θεοβρωμίνη.

Υπάρχουν δεκαέξι διαφορετικοί τρόποι καβουρδίσματος του καφέ στο εμπόριο (*Cinnamon Roast, Blonde Roast, New England Roast, Half City Roast, Continental Roast* κ.α.). Οι τέσσερις, όμως, βασικοί τύποι είναι οι: *Light, Medium, Medium-Dark, και Dark* (Εικόνα 11), με τους σπόρους, ανάλογα με το ψήσιμο, να αποκτούν σκουρότερο χρώμα προοδευτικά. Καθώς οι κόκκοι φτάνουν στο τελικό στάδιο του καβουρδίσματος, τα σάκχαρα και τα οξέα που περιέχουν υφίστανται χημικές αντιδράσεις που καθορίζουν την γεύση των κόκκων. Στην περίπτωση που το καβούρδισμα επεκταθεί χρονικά, υπάρχει κίνδυνος θερμοθραύσης των συστατικών του κόκκου. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εμφανιστούν ίχνη καρκινογόνων ουσιών πίσσας και ελαιοειδών προϊόντων πίσσας, όπως είναι η πυριδίνη και το κρεόζωτο ή αλλιώς κρεόσοτο, που είναι μίγμα καρκινογόνων πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (PAH), ιδιαίτερα επιβλαβών για την υγεία των καταναλωτών (Ferreira κ.ά. 2021).

Εικόνα 10. Οι τέσσερις βασικοί τύποι καβουρδίσματος: *Light, Medium, Medium-Dark & Dark*

Ηλεκτρονική Πηγή:

<https://inthekitch.net/how-to-roast-coffee-beans/>



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΝΟΘΕΙΑΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΦΕ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι για τον εντοπισμό όλων των πρακτικών νοθείας που εφαρμόζονται στα προϊόντα του καφέ. Οι πρώτες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν βασίζονταν στην ανάλυση της χημικής σύνθεσης του καφέ, εστιάζοντας ιδιαίτερα στη σύνθεση της καφεΐνης, η οποία προσδιοριζόταν με διάφορες μεθόδους όπως με βρασμό σε νερό, καθίζηση με βασικό οξικό μόλυβδο ($Pb_3(OH)_4(O_2CCH_3)_2$), εκχύλιση με χλωροφόρμιο και ξήρανση. Μια ακόμη μέθοδος, που χρησιμοποιήθηκε όμως λιγότερο, περιλαμβάνει τη μέτρηση του ταννικού οξέος, που αναφέρεται στο φαινολικό κλάσμα του καφέ. Αν και ορισμένα από τα χημικά πρωτόκολλα ήταν επίσημα, η πλειοψηφία όσων εφαρμόζονταν δεν ήταν. Ένα βασικό εμπόδιο, που δεν είχε επιλυθεί μέχρι πολύ αργότερα, ήταν ότι οι πολυάριθμες ποικιλίες καφέ παρουσίαζαν σημαντικές χημικές διαφορές μεταξύ τους (Ferreira κ.ά. 2021).

Εκείνη την εποχή, είχαν ήδη αναπτυχθεί αρκετές χημικές μέθοδοι για την ανίχνευση του κιχωρίου, όπως η μέθοδος λεύκανσης με χλωριωμένη σόδα, της αναζήτησης αναγωγικών σακχάρων, της παρατήρησης υψηλότερων επιπέδων χλωρίου στην τέφρα και πολλές άλλες. Ακόμη, για τον εντοπισμό των δημητριακών, το πρώτο βήμα ήταν η ανίχνευση αμύλων μέσω εφαρμογής της δοκιμασίας ιωδίου. Η μέση περιεκτικότητα σε τέφρα αποτελούσε, επίσης, δείκτη, δεδομένου ότι ήταν σημαντικά χαμηλότερη στα δημητριακά σε σύγκριση με τον καφέ. Τέλος, με στόχο την ανίχνευση της χρήσης τεχνητών χρωστικών, πραγματοποιούνταν δοκιμές για διάφορα μέταλλα ή ημιμεταλλικά περιεχόμενα (σίδηρος, μόλυβδος, χρώμιο, χαλκός, κασσίτερος και αρσενικό), τα επίπεδα των οποίων εξετάζονταν με βάση υδατικά-αλκοολικά ιζήματα ή στάχτες, με τα οποία αποκάλυπταν το χρώμα και τη σύνθεσή τους (Ferreira κ.ά. 2021).

Από τον 20^ο αιώνα, μέχρι σήμερα, οι συμβατικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται ευρέως στα εργαστήρια για τον εντοπισμό της νοθείας στον καφέ περιλαμβάνουν τη χρήση οπτικού και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Συμπληρωματικά, πραγματοποιούνται φυσικοχημικές αναλύσεις, συμπεριλαμβανομένης της περιεκτικότητας σε υγρασία, υπολείμματα ορυκτών και καφεΐνη. Οι αναλύσεις με βάση τη μικροσκοπία, ωστόσο, χρειάζονται αρκετό χρόνο για να ολοκληρωθούν και χαρακτηρίζονται από υποκειμενικότητα, η οποία συνεπάγεται ενδεχόμενα αντικρουόμενα αποτελέσματα. Επομένως, άλλες τεχνικές έχουν μελετηθεί και εφαρμοστεί, με στόχο την παροχή πιο αξιόπιστων αναλύσεων, ικανών να αναγνωρίζουν τους διαφορετικούς

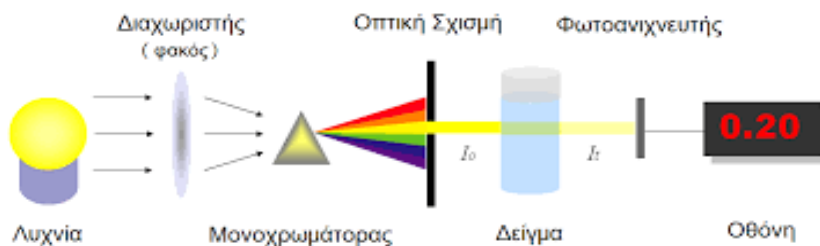
τύπους πιθανής νοθείας. Αυτές οι εναλλακτικές τεχνικές περιλαμβάνουν περισσότερες αναφορές για φασματοσκοπικές μεθόδους, ακολουθούμενες από χρωματογραφικές, μικροσκοπικές και μεθόδους βασισμένες στο DNA (Ferreira κ.ά. 2021; Toci κ.ά. 2016).

4.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

Οι φασματοσκοπικές τεχνικές βασίζονται στην αλληλεπίδραση μεταξύ του υλικού του δείγματος και της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας όπως η ανάκλαση, η διαπερατότητα, η απορρόφηση, ο φωσφορισμός, ο φθορισμός και η ραδιενεργή διάσπαση. Συνιστούν άμεσες μεθόδους, καθώς ελέγχονται οι μεταβολές της ουσίας και όχι της ακτινοβολίας. Γενικά, οι φασματοσκοπικές τεχνικές θεωρούνται γρήγορες, με ελάχιστη ή καθόλου προετοιμασία του δείγματος, και με την ικανότητα ταυτόχρονης μέτρησης πολλών χαρακτηριστικών ενός δείγματος, δημιουργώντας ένα συγκεκριμένο φάσμα με περιοχή ακτινοβολιών από την υπεριώδη έως την υπέρυθη ακτινοβολία (200-800 nm) (Ferreira κ.ά. 2021).

4.2.1 ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ-ΟΡΑΤΟΥ (UV – Vis)

Η φασματοσκοπία UV-Vis χαρακτηρίζεται από απορροφήσεις εγγύς υπεριώδους (UV: 190-400 nm), ή ορατής ακτινοβολίας (Visual: 400-800 nm) και προκαλεί μόνο ηλεκτρονιακές διεγέρσεις, δηλαδή διεγέρσεις ηλεκτρονίων της στοιβάδας σθένους, που μεταβαίνουν από μια δεσμική σε μια αντιδεσμική κατάσταση, χωρίς όμως να αλλάζουν τον κύριο κβαντικό αριθμό. Η παρούσα τεχνική παρέχει φάσματα απορρόφησης που χρησιμοποιούνται για την διαπίστωση ύπαρξης χαρακτηριστικών ομάδων, τη διευκρίνιση της δομής μιας ουσίας, αλλά και με στόχο την ταυτοποίηση ουσιών, με τη βοήθεια πρότυπων φασμάτων ουσιών, αντίστοιχα. Βασικό πλεονέκτημα της φασματοσκοπίας UV-Vis συνιστά το γεγονός ότι χρησιμοποιεί ελάχιστη ποσότητα δείγματος, μάλιστα, μέχρι και το τέλος της ανάλυσης, εκείνο δεν καταστρέφεται. Ακόμη, τα αποτελέσματα λαμβάνονται σε σύντομο χρονικό διάστημα και έχουν μεγάλη ακρίβεια (Wang, Lim, και Fu 2020).



Εικόνα 11. Τυπική διάταξη φασματοφωτομέτρου.

Ηλεκτρονική πηγή: (Μ. ΚΟΥΠΠΑΡΗΣ ΠΑΡΑΔΟΣΕΙΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΙΙ χ.χ.)

Οι σπόροι καφέ που ομοιάζουν με μπιζέλι (*Εικόνα 13*) είναι γνωστοί ως *Peaberries*. Λιγότερο από το 10% του συνόλου του καφέ που κυκλοφορεί στο εμπόριο είναι *Peaberries*. Για τον καφέ *Peaberry*, η νοθεία πραγματοποιείται με την προσθήκη φθηνότερου κανονικού αλεσμένου καβουρδισμένου καφέ. Για την σπάνια αυτή μορφή του καφέ, η νοθεία συμβαίνει συχνά με τη μορφή αλεσμένου καβουρδισμένου καφέ, αφού μετά το καβούρδισμα και το άλεσμα, η διάκριση του κανονικού καφέ από τον *Peaberry* είναι σχεδόν αδύνατη με τις συμβατικές μεθόδους. Οι δυνατότητες εφαρμογής προηγμένων αναλυτικών μεθόδων έχουν διερευνηθεί για την ανίχνευση νοθείας αυτής και εκτιμώντας την αυθεντικότητα του αλεσμένου καβουρδισμένου καφέ. Ωστόσο, αυτές οι ακριβείς μέθοδοι είναι δαπανηρές ως προς τον εξοπλισμό και απαιτούν άριστα εκπαιδευμένο προσωπικό (Suhandy, Yulia, και Kusumiyati 2018).



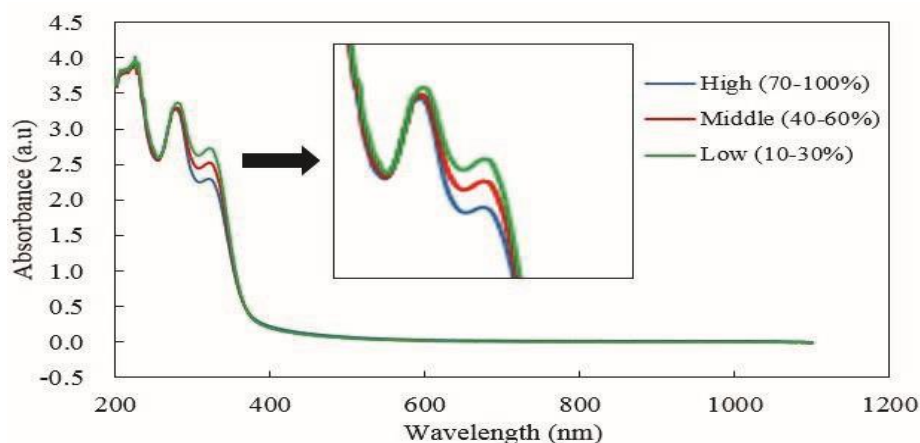
Εικόνα 12. Δυο σπόροι καφέ (Δεξιά).

Ένας σπόρος καφέ – Peaberry (Αριστερά).

Ηλεκτρονική πηγή: (<https://bigislandcoffeeroasters.com/blogs/blog/what-is-peaberry-coffee>).

Μεταξύ αυτών των διαθέσιμων μεθόδων, η ανίχνευση νοθείας αλεσμένου καβουρδισμένου καφέ με χρήση φασματοσκοπίας UV-Vis είναι προτιμότερη, δεδομένου ότι ο εξοπλισμός είναι οικονομικότερος. Πρόσφατη μελέτη, εστίασε στην εκτίμηση της συγκέντρωσης του καφέ *Peaberry* σε μίγματα με κανονικό, φθηνότερο, καφέ, αποδεικνύοντας ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι φασματικές πληροφορίες στην UV-Vis περιοχή του αλεσμένου καβουρδισμένου καφέ, για την ποσοτική εκτίμηση της αναλογίας *Peaberry* προς κανονικό καφέ σε διάφορα μίγματά τους. Ο κύριος σκοπός της εργασίας ήταν η καθιέρωση μιας νέας και απλής αναλυτικής μεθόδου με ελάχιστη προετοιμασία δειγμάτων και σχετικά γρήγορη ανάλυση που να επιτρέπει τον ακριβή προσδιορισμό της περιεκτικότητας του καφέ *Peaberry* σε ένα μείγμα (Suhandy, Yulia, και Kusumiyati 2018).

Για την εφαρμογή της παρούσας μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν 210 μείγματα αλεσμένων δειγμάτων καβουρδισμένου καφέ που ανήκαν τόσο στον καφέ *Peaberry* όσο και στον κανονικό καφέ. Τα δείγματα είχαν έντεκα διαφορετικά επίπεδα περιεκτικότητας σε *Peaberry* (10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 95% και 100% (w/w). Στην προετοιμασία τους, συμπεριλήφθηκε η διαδικασία του κοσκινίσματος και της εκχύλισης. Το φάσμα κάθε δείγματος μετρήθηκε αμέσως μετά τη διαδικασία εκχύλισης και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με φασματομέτρο UV-Vis, εξοπλισμένο με κυψελίδα χαλαζία και φασματική ανάλυση 1 nm στην περιοχή 190–1100 nm. Το τυφλό φάσμα καταγράφηκε με απεσταγμένο νερό, ενώ η συγκέντρωση του αλεσμένου καβουρδισμένου καφέ *Peaberry* στα μείγματα (% w/w) υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας το στατιστικό μοντέλο παλινδρόμησης μερικών ελαχίστων τετραγώνων (PLS). Τα φάσματα ελήφθησαν για τα αλεσμένα μείγματα καβουρδισμένου καφέ με διαφορετικά επίπεδα *Peaberry* (Εικόνα 14) με χαμηλό, μεσαίο και υψηλό περιεχόμενο. Παρατηρήθηκε ότι τα φάσματα ήταν παρόμοια, με τα περισσότερα από τα σημαντικά μήκη κύματος να συγκεντρώνονται στο εύρος 190–450 nm. Έτσι, επιτεύχθηκε ποιοτική ανάλυση των δυο τύπων καφέ, εντοπίζοντας τον συμβατό, πιο οικονομικό, στον καφέ *Peaberry* και επιβεβαιώθηκαν οι δυνατότητες της φασματοσκοπίας UV-Vis, σε συνδυασμό με την χημειομετρική ανάλυση, για την επικύρωση της γνησιότητας του αλεσμένου καβουρδισμένου καφέ *Peaberry* (Suhandy, Yulia, και Kusumiyati 2018).



Εικόνα 13. Τα φάσματα των 210 δειγμάτων με χαμηλή, μέση και υψηλή περιεκτικότητα σε *Peaberry* καφέ.

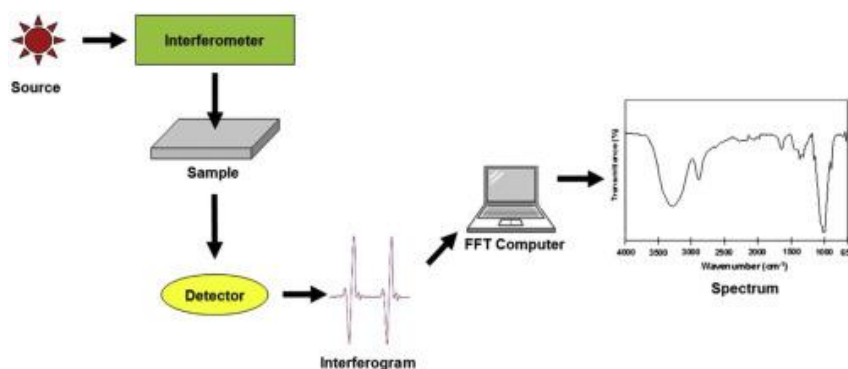
(Suhandy, Yulia, και Kusumiyati 2018)

Επιπρόσθετα, πρόσφατα πραγματοποιήθηκε μελέτη που πέτυχε την ποσοτικοποίηση της νοθείας με καλαμπούκι σε επεξεργασμένα καβουρδισμένα δείγματα καφέ *Peaberry*. Αυτή η

έρευνα περιέγραψε τη χρήση της φασματοσκοπίας UV-Vis μαζί με χημειομετρική ανάλυση για τον ποσοτικό προσδιορισμό του επιπέδου νοθείας καλαμποκιού στον ειδικό καφέ *Peaberry* με διαφορετικές μεθόδους επεξεργασίας κόκκων. Η προτεινόμενη φασματοσκοπία UV-Vis και το παγκόσμιο μοντέλο PLSR ανίχνευσαν μια πρόσμιξη καλαμποκιού στον αλεσμένο καβουρδισμένο καφέ *Peaberry* στην περιοχή από 10% έως 50%. Η αξιοπιστία του παγκόσμιου μοντέλου PLSR επιβεβαιώθηκε χρησιμοποιώντας τόσο μεμονωμένα (υγρά και ξηρά) όσο και συνδυασμένα δείγματα, υποδεικνύοντας τις μεγάλες δυνατότητες της φασματοσκοπίας UV-Vis και της χημειομετρίας ως μια αποδοτική και χαμηλού κόστους αναλυτικής μεθόδου (Yulia και Suhandy 2021).

4.2.2 ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ ΜΕ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ FOURIER

Η φασματοσκοπία υπέρυθρου με μετασχηματισμό Fourier (FTIR) αποτελεί μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές για την ανίχνευση νοθείας σε προϊόντα τροφίμων. Η τεχνική βασίζεται στην ιδέα της συμβολής της ακτινοβολίας μεταξύ δυο δεσμών για την παραγωγή ενός σήματος που ονομάζεται συμβολόγραμμα (interferogram). Το τελευταίο είναι ένα σήμα που παράγεται ως συνάρτηση της μεταβολής του μήκους διαδρομής μεταξύ των δυο δεσμών. Η μέθοδος της φασματοσκοπίας FTIR στηρίζεται στην καταγραφή του συμβολογράμματος, ενός φάσματος που λαμβάνεται από μια συσκευή που ονομάζεται συμβολόμετρο. Η υπέρυθη ακτινοβολία με τη βοήθεια της συσκευής αυτής υφίσταται το φαινόμενο της συμβολής, δηλαδή διέρχεται από το δείγμα και καταλήγει στον ανιχνευτή. Έπειτα, το συμβολόγραμμα μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, με κατάλληλο λογισμικό, μετασχηματίζεται κατά Fourier σε ένα τυπικό IR φάσμα (Εικόνα 15) (Valand κ.ά. 2020).



Εικόνα 14. Διαδικασία ανάλυσης δείγματος με την τεχνική FT-IR

(Valand κ.ά. 2020)

Τα FTIR όργανα χαρακτηρίζονται από υψηλή ταχύτητα και ευαισθησία. Ακόμη, έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν όλες τις συχνότητες ταυτόχρονα για την απόκτηση ολοκληρωμένου φάσματος κατά τη διάρκεια της σάρωσης. Άλλα πλεονεκτήματα είναι η αυξημένη οπτική ικανότητα, η μεγάλη αξιοπιστία, λόγω απλούστερου μηχανικού σχεδιασμού, η εξάλειψη της παράσιτης ακτινοβολίας και τέλος το ισχυρό μηχανογραφικό σύστημα δεδομένων. Επίσης, δεν απαιτείται μεγάλη ποσότητα δείγματος για την απόκτηση έγκυρων αποτελεσμάτων. Τέλος, προϋποθέτουν μεγάλη ακρίβεια στις ποσοτικές μετρήσεις και παράλληλα ακριβείς προσδιορισμούς των συγκεντρώσεων στις οποίες βρίσκονται τα συστατικά των προς ανάλυση μιγμάτων. Παρά τα πολλά προτερήματα, τα όργανα FTIR δεν είναι απεγάδιαστα. Το μεγαλύτερο τους μειονέκτημα είναι η παρουσία σφαλμάτων, με κοινά παραδείγματα σφαλμάτων σε φάσματα FTIR να περιλαμβάνουν τους υδρατμούς και το διοξείδιο του άνθρακα (Valand κ.ά. 2020).

Όσον αφορά τον καφέ, αν και τα φάσματα υπερύθρου των προϊόντων του είναι πολύπλοκα, μελέτες έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητα αυτής της αναλυτικής τεχνικής για την ανίχνευση νοθείας στον καβουρδισμένο καφέ. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μελέτη που έλαβε μέρος το 1996, στην οποία χρησιμοποιήθηκε από τους ερευνητές Briandet, Kemsley και Wilson φασματοσκοπία υπερύθρου μετασχηματισμού Fourier για την ανίχνευση νοθείας λυοφιλοποιημένων (freeze-dried) δειγμάτων στιγμιαίου καφέ. Οι συγγραφείς διερεύνησαν δύο διαφορετικούς τύπους FTIR, εκείνον της διάχυτης ανάκλασης (DRIFT), για στερεά δείγματα, και της εξασθενημένης ολικής ανάκλασης (ATR), για υγρά δείγματα, που σχετίζονταν με στατιστικά χημειομετρικά εργαλεία. Φάσματα προτύπων ειδών καφέ (μίγματα *C. arabica* και *C. canephora*) συλλέχθηκαν και συγκρίθηκαν με δείγματα νοθευμένα με γλυκόζη, άμυλο ή κιχώριο (Ferreira κ.ά. 2021).

Δεδομένης της πολυπλοκότητάς τους, στα φάσματα, εφαρμόστηκε στατιστική ανάλυση. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis, PCA), ενώ παράλληλα έγινε Γραμμική Διακριτική Ανάλυση (Linear Discriminant Analysis, LDA). Με αυτή την προσέγγιση, επιτεύχθηκε ποσοστό επιτυχίας διαχωρισμού 98%. Συγκεκριμένα, δεδομένα PCA που ελήφθησαν από τα φάσματα ATR παρείχαν καλύτερους χωρικούς διαχωρισμούς, σε σύγκριση με τα φάσματα DRIFT. Έπειτα, εφαρμόστηκε το στατιστικό μοντέλο παλινδρόμησης μερικών ελαχίστων τετραγώνων (Partial Least Square, PLS) σε τρεις προστιθέμενους υδατάνθρακες (ξυλόζη, γλυκόζη και φρουκτόζη) προκειμένου να εκτιμηθεί το δυναμικό της φασματοσκοπίας FT-IR για τον προσδιορισμό του προφίλ υδατανθράκων του στιγμιαίου καφέ. Τέλος, η διάκριση του καθαρού από τον νοθευμένο καφέ πραγματοποιήθηκε με τη χρήση τεχνητού νευρωνικού δικτύου (Artificial Neural Network,

ANN), το οποίο χρησιμοποιώντας ένα ανεξάρτητο σύνολο δεδομένων, πέτυχε ποσοστό 100% σωστής ταξινόμησης (Toci κ.ά. 2016). Οι περιοχές που εντοπίστηκε αυτή η διάκριση μεταξύ νοθευμένων και μη δειγμάτων ήταν μεταξύ $900 - 1100 \text{ cm}^{-1}$ και $1600-1800 \text{ cm}^{-1}$. Μάλιστα, οι τρεις ερευνητές ισχυρίστηκαν ότι ο σχεδιασμός της μελέτης τους ήταν αρκετά αντιπροσωπευτικός, παρά τις διαφορές στις συνθήκες καλλιέργειας, των χωρών προέλευσης και των ειδών καφέ, των δειγμάτων. Ωστόσο, σημείωσαν ότι ακόμη και η χρήση της ίδιας ποσότητας νερού για όλα τα υγρά δείγματα, οι διαφορές στην περιεκτικότητα σε νερό των νοθευμένων δειγμάτων θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ανάλυση (Ferreira κ.ά. 2021:).

4.2.3 ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΜΕΣΟΥ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ

Η περιοχή του εγγύς υπέρυθρου φάσματος (NIR) βρίσκεται κοντά στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η ιστορία του ξεκίνησε το 1800, από τον Herschel, κατά τη διάρκεια μίας διαδικασίας δοκιμής φίλτρων με σκοπό την παρατήρηση κηλίδων ηλίου. Κατά τη δοκιμή κόκκινου φίλτρου παρατήρησε παραγωγή θερμότητας μεγαλύτερη από αυτήν στο ορατό φάσμα. Η φασματοσκοπία στο εγγύς υπέρυθρο θεωρείται μια φασματοσκοπία δόνησης, διότι λειτουργεί σε ενεργειακά δονητικά επίπεδα. Στη συγκεκριμένη, λαμβάνουν μέρος τόσο δονητικές, όσο και ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις. Οι ζώνες που οφείλονται σε ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις και παρατηρούνται στην περιοχή NIR γενικά είναι αδύναμες, όπως αδύναμες είναι και οι ζώνες που προκύπτουν από απορροφήσεις υπερτονικές και συνδυασμού, στις οποίες βασίζεται η συγκεκριμένη τεχνική. Οι υπερτονικές έχουν συχνότητες που αντιστοιχούν περίπου σε διπλάσιο, τριπλάσιο κ.λπ. μιας βασικής δόνησης και θεωρούνται κατώτερες από τις κοινές στη θεμελιώδη IR περιοχή. Παράλληλα, οι ζώνες συνδυασμού προκύπτουν από την αλληλεπίδραση δυο ή και περισσοτέρων δονήσεων που λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα με τη συχνότητα της δέσμης να είναι το πολλαπλάσιο άθροισμα των σχετικών θεμελιωδών συχνοτήτων. Μάλιστα, οι μεταβάσεις αυτές είναι απαγορευτικές, σύμφωνα με τους κανόνες επιλογής της κβαντικής μηχανικής, όμως πραγματοποιούνται και ανιχνεύονται από την NIR. Έτσι, το γεγονός ότι η περιοχή NIR είναι περιοχή απαγορευμένων μεταπτώσεων, σε συνδυασμό με την χρησιμότητά της στην ανίχνευση χύδην υλικού και πορωδών δειγμάτων με ελάχιστη προετοιμασία αυτών, την κάνει μοναδική και αξιοσημείωτα διαφορετική από άλλες περιοχές (Beć, Grabska, και Huck 2021).

Τα όργανα της φασματοσκοπίας NIR καλύπτουν τις ανάγκες για μεγάλη ταχύτητα ανάλυσης, ευελιξία και προσαρμογή σε διαφορετικούς τύπους δείγματος. Τα φασματόμετρα NIR που διατίθενται στις μέρες μας παρέχουν γρήγορα μεγάλο όγκο πληροφοριών που απαιτούν ταχεία και αποτελεσματική επεξεργασία ώστε να προκύψουν χρήσιμες πληροφορίες.

Σημαντικό πλεονέκτημα της NIR φασματοσκοπίας είναι ότι το φως που χρησιμοποιεί είναι δυνατόν να διαπερνά τις ίνες του οπτικού γυαλιού, διατηρώντας το μεγαλύτερο μέρος του σήματος ακέραιο, ακόμη και αν η ένταση εξόδου είναι χαμηλή. Συγκεντρωτικά, τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα της NIR φασματοσκοπίας είναι τα εξής:

- Μέθοδος μη καταστρεπτική και μη παρεμβατική
- Απαιτεί ελάχιστη ή και καθόλου προετοιμασία των δειγμάτων
- Μέθοδος χαμηλού κόστους
- Η μέτρηση και η απόδοση του αποτελέσματος είναι ταχεία
- Μπορεί η συσκευή να είναι φορητή για μετρήσεις πεδίου
- Ανάλυση πολλών δειγμάτων συγχρόνως

Αντίθετα, η παρούσα μέθοδος χαρακτηρίζεται από βασικά μειονεκτήματα, τα οποία είναι τα ακόλουθα. Αρχικά, οι μετρήσεις δεν είναι επιλεκτικές, επομένως είναι απαραίτητες οι τεχνικές μοντελοποίησης των δεδομένων για τη διεξαγωγή της πληροφορίας. Επίσης, δεν υπάρχουν ακριβή μοντέλα να λαμβάνουν υπόψη την αλληλεπίδραση της ύλης με το φως που εκπέμπει το φασματόμετρο NIR. Επομένως, η βαθμονόμηση είναι εμπειρική στις περισσότερες περιπτώσεις. Τέλος, δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη τεχνική με αποτέλεσμα να μπορεί να εφαρμοσθεί μόνο για συγκεκριμένα συστατικά (Beć, Grabska, και Huck 2021).

Τα αρχικά φάσματα NIR δειγμάτων καβουρδισμένου καφέ, έχει αποδειχθεί ότι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας προς ανάπτυξη ενός μοντέλου διάκρισης μεταξύ νοθευμένων και μη ποικιλιών, με μέτρια έως και υψηλή ικανότητα ταξινόμησης. Η απόδοση της παραπάνω προσέγγισης ενισχύθηκε από την χρήση της μεθόδου LDA και έδειξε μια επικύρωση εξωτερικού συνόλου δοκιμών, με τα δείγματα να ταξινομούνται 100% (Perez κ.ά. 2023).

Μια προσέγγιση έλαβε μέρος με σκοπό την ανίχνευση καλαμποκιού σε σκούρο καβουρδισμένο *C. Arabica*. Δείγματα καφέ αναμίχθηκαν με καλαμπόκι σε διάφορες συγκεντρώσεις από 1 έως 20% w/w καλαμποκιού. Δεν αναφέρθηκε έλεγχος για το μέγεθος των σωματιδίων. Το συγκεκριμένο μοντέλο ήταν σε θέση να ανιχνεύσει δείγματα με νοθεία μεγαλύτερη από 5%. Οι συγγραφείς, όμως, δεδομένων των δυσκολιών με τις οποίες ήρθαν αντιμέτωποι, κατέληξαν στην ανάγκη για πρόσθετες μελέτες με μεγαλύτερη δειγματοληψία και άλλα είδη νοθείας. Έτσι, το 2012, εφαρμόστηκε η μέθοδος της φασματοσκοπίας μέσου υπερόθρου (Mid-IR) για την ανίχνευση της προσθήκης φλοιών καφέ σε καβουρδισμένο *C. Arabica*. Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν 13 διαφορετικά δείγματα και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι περιέχουν διαφορετικά ποσοστά φλοιών καφέ που ποικίλαν από 0,5 έως 30%. Οι προσμίξεις με φλοιό καφέ πραγματοποιήθηκαν σε έξι διαφορετικές συγκεντρώσεις. Τα μοντέλα PCA και PLS εφαρμόστηκαν σε φασματικά δεδομένα. Τα

δείγματα που περιείχαν περισσότερο από 0,5% φλοιών καφέ διακρίθηκαν από τα μη νοθευμένα δείγματα μέσω PCA φασμάτων υπέρυθρων, ενώ η ποσοτική εκτίμηση της νοθείας επιτεύχθηκε με παλινδρόμηση PLS, μέσω της οποίας υπολογίστηκε η περιεκτικότητα του φλοιού στα δείγματα. Όσον αφορά την αισθητηριακή ανάλυση, οι καταναλωτές ήταν σε θέση να αντιληφθούν το φλοιό του καφέ μόνο σε ποσότητες ίσες ή υψηλότερες από 10% (w/w). Ελάχιστο ποσοστό νόθευσης αποτέλεσε το 0,5%, μικρότερο από το μέγιστο επίπεδο (1,0%) πρόσθετων συστατικών που επιτρέπεται από το νόμο (Perez κ.ά. 2023; Toci κ.ά. 2016).

4.2.4 ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΠΥΡΗΝΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ (NMR)

Το φαινόμενο του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR) παρατηρείται όταν πυρήνες ατόμων τοποθετούνται εντός ομογενούς, στατικού μαγνητικού πεδίου και διεγείρονται από ένα δεύτερο ταλαντευόμενο μαγνητικό πεδίο, για τη μελέτη φυσικών, χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων της ύλης. Με τη βοήθειά του επιτυγχάνεται αποτελεσματικός προσδιορισμός της μοριακής δομής ενός σημαντικού πλήθους ενώσεων σε ένα δείγμα, με ταυτόχρονη λήψη σημαντικών δομικών πληροφοριών για το σύνολο των ομάδων που περιέχονται σε αυτό. Το συγκεκριμένο φαινόμενο φέρει πλεονεκτήματα όπως το γεγονός ότι είναι μια μη καταστρεπτική τεχνική και απαιτεί ελάχιστη προετοιμασία του δείγματος. Μάλιστα, παρέχει ταχεία απόκτηση δεδομένων και είναι ιδιαίτερα αξιόπιστη, καθώς, τυχόν αποκλίσεις μεταξύ δειγμάτων προέρχονται από βιολογικές, και όχι οργανικές, διακυμάνσεις. Η χαμηλή ευαισθησία και ο ακριβός εξοπλισμός συνιστούν τα μόνα αρνητικά στοιχεία της (de Moura Ribeiro κ.ά. 2017; Wang, Lim, και Fu 2020).

Με την φασματοσκοπία πρωτονίου - ^1H -NMR, μπορεί να προσδιοριστεί ο αριθμός των χαρακτηριστικών πυρήνων υδρογόνου που υπάρχουν σε μια ένωση, καθώς και η φύση του περιβάλλοντός τους. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό αποτέλεσε την βάση για την επιλογή της παρούσας τεχνικής ως μέσο ανίχνευσης της νοθείας στα διαφορά προϊόντα καφέ. Ειδικά, για την ανάλυση των διάφορων δειγμάτων δεν απαιτείται χημική παραγωγοποίηση και διαχωρισμός, γεγονός που απλοποιεί σημαντικά τη ροή εργασίας. Οι πρώτες εφαρμογές της ^1H -NMR έγιναν με στόχο τη διάκριση μεταξύ των ποικιλιών *Robusta* και *Arabica*. Η φασματοσκοπία NMR, όμως, αποδείχθηκε ιδιαίτερα χρήσιμη και για την ανίχνευση άλλων μέσων νοθείας στον καφέ (de Moura Ribeiro κ.ά. 2017).

Με αυτό τον σκοπό, εφαρμόστηκε η μέθοδος ^1H NMR για την ανίχνευση καλαμποκιού, φλοιών καφέ, κριθαριού και σόγιας, σε υδατικό εκχύλισμα δειγμάτων καφέ. Η πειραματική πορεία περιείχε εκχύλιση των αλεσμένων δειγμάτων, ομογενοποίηση σε *Vortex*, φυγοκέντρηση για 10 λεπτά και μεταφορά του δείγματος σε σωληνίσκο NMR για ανάλυση σε

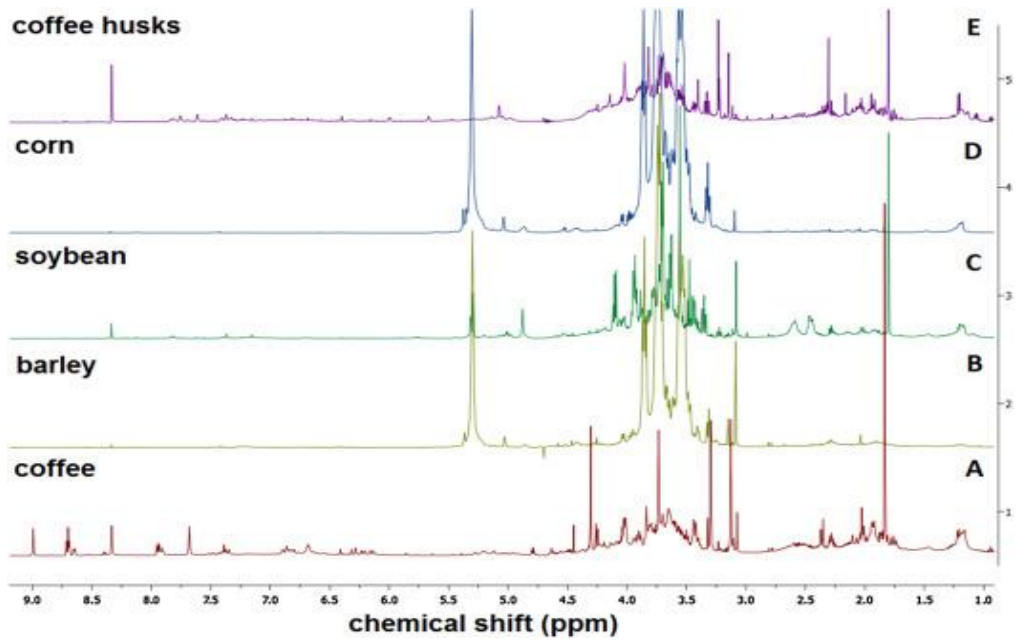
φασματογράφο. Για την ανίχνευση της παρουσίας καλαμποκιού χρησιμοποιήθηκε μια έντονη κορυφή στα 5,30 ppm που φάνηκε να συμπίπτει με το φάσμα του νοθευμένου δείγματος καφέ, με απουσία στο φάσμα του καθαρού καβουρδισμένου καφέ (Εικόνα 17). Αντίστοιχα, σήματα στα 5,30 και 3,15 ppm επιλέχθηκαν για την ανίχνευση κριθαριού. Κορυφές στις 5,30 και 4,87 ppm χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό σόγιας και σήματα στο 5,08 και 4,98 ppm αναγνωρίστηκαν ως δείκτες για τον φλοιό καφέ (Εικόνα 16).

Για να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, αναλύθηκαν 24 εμπορικά μίγματα καφέ, από διαφορετικές περιοχές της Βραζιλίας. Πραγματοποιήθηκε, επίσης, ανάλυση σε επτά δείγματα πιστοποιημένα από την ABIC (*Associação Brasileira da Indústria de Café*). Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με αυτά που ελήφθησαν χρησιμοποιώντας την προτεινόμενη μεθοδολογία (Πίνακας 1) (de Moura Ribeiro κ.ά. 2017; Wang, Lim, και Fu 2020).

Πίνακας 1. Σύγκριση μεταξύ της μεθόδου ABIC και της ¹HNMR

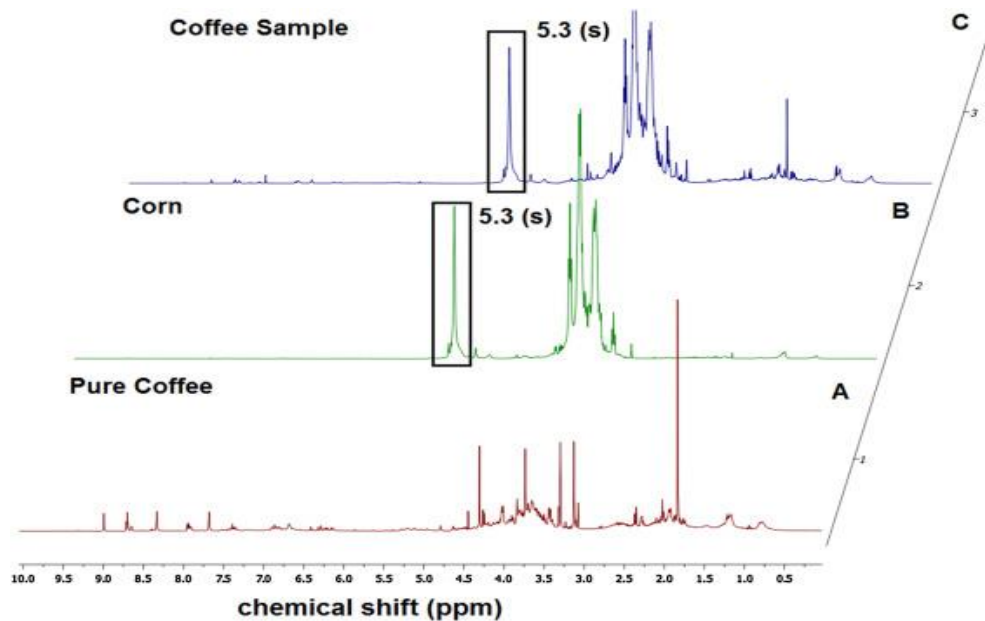
sample	ABIC method	proposed method
3	0.62–6.75% barley	adulterated with barley
25	2.39% corn	adulterated with corn
9	pure	pure
10	pure	pure
21	7.35% coffee husks	adulterated with coffee husks
26	3.69–10.16% barley	adulterated with barley
30	2.60% coffee husks	adulterated with coffee husks

Πέντε από τα δείγματα που αναλύθηκαν παρουσίασαν νοθεία λόγω της παρουσίας καλαμποκιού, κριθαριού ή φλοιού καφέ. Είναι αξιοσημείωτο ότι οι περισσότερες μελέτες που χρησιμοποιούν την τεχνική NMR για τη μελέτη του καφέ έχουν επικεντρωθεί στην ταυτοποίηση μεμονωμένων ουσιών ή μικρών ομάδων ουσιών που υπάρχουν στα εκχυλισμένα κλάσματα καφέ. Η προσέγγιση που υιοθετήθηκε σε αυτή τη μελέτη εξέτασε το φάσμα στο σύνολό του.



Εικόνα 15. Τα φάσματα ^1H NMR καβουρδισμένου καφέ (A), κριθαριού (B), σόγιας (C), καλαμποκιού (D) και φλοιών καφέ (E).

(Milani κ.ά. 2020)



Εικόνα 16. Επικάλυψη φασμάτων ^1H NMR για καθαρό καβουρδισμένο καφέ (A), καλαμπόκι (B) και δείγμα καφέ του εμπορίου (C).

(de Moura Ribeiro κ.ά. 2017)

4.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Η χρωματογραφία εφευρέθηκε από τον Ρώσο βοτανολόγο Mikhail Tswett στις αρχές του εικοστού αιώνα. Ονομάστηκε έτσι επειδή αρχικά χρησιμοποιήθηκε για διαχωρισμό εγχρωμών ουσιών και συγκεκριμένα φυτικών χρωστικών, όπως οι χλωροφύλλες και οι ξανθοφύλλες. Οι διαχωριζόμενες ουσίες εμφανίζονταν ως έγχρωμες ζώνες. Η χρωματογραφία είναι μια τεχνική στην οποία το δείγμα τοποθετείται στην μία άκρη ενός υλικού προσρόφησης που ονομάζεται στατική φάση. Στη συνέχεια, αυτό εκλούεται από την κινητή φάση, η οποία κινείται προς την άλλη άκρη της στατικής φάσης. Όσες ουσίες είναι πολύ διαλυτές στην κινητή φάση εκρέονται πιο γρήγορα από κείνες που προσροφώνται ισχυρά από την στατική φάση και κινούνται με πιο βραδύ ρυθμό πάνω στο προσροφητικό υλικό. Το αποτέλεσμα είναι ο διαχωρισμός τους. Η κινητή φάση μπορεί να είναι υγρή ή αέρια με όσο το δυνατόν μικρότερο ιξώδες, ώστε να ρυθμίζεται κατάλληλα η ροή της για επιτυχή διαχωρισμό. Από την άλλη, η στατική φάση βρίσκεται σε μια στήλη ή σε μια στερεή επιφάνεια και βασικό κριτήριο επιλογής της είναι να παρέχει όσο γίνεται διαφορετικούς συντελεστές κατανομής για τις προς διαχωρισμό ουσίες. Γενικά, οι δύο φάσεις επιλέγονται έτσι, ώστε τα συστατικά του δείγματος να κατανέμονται μεταξύ της κινητής και της στατικής φάσης σε διαφορετικό βαθμό και στις περισσότερες χρωματογραφίες μεθόδους, έχουν ελάχιστη φυσικοχημική συγγένεια. Τα συστατικά του δείγματος διαχωρίζονται καταλαμβάνοντας το καθένα ξεχωριστές ταινίες ή ζώνες και στη συνέχεια μπορούν να προσδιορισθούν ποιοτικά ή/και ποσοτικά.

Οι χρωματογραφικές τεχνικές μπορούν να ταξινομηθούν με τρεις τρόπους:

- Με βάση το είδος των στατικών και κινητών φάσεων, που βρίσκονται σε επαφή.
 - Χρωματογραφία στήλης: η στατική φάση συγκρατείται σε μια στενή στήλη.
 - Επίπεδη χρωματογραφία: η στατική φάση στηρίζεται σε μια επίπεδη πλάκα ή στους πόρους ενός χαρτιού.

Στην περίπτωση αυτή η κινητή φάση κινείται μέσω της στατικής φάσης με τριχοειδή φαινόμενα ή με την επίδραση της βαρύτητας.

- Με βάση τον τύπο των κινητών και στατικών φάσεων και το είδος των ισοροπιών, οι οποίες εμπλέκονται στην ανταλλαγή των διαλυμένων ουσιών μεταξύ των φάσεων (υγρή και αέρια χρωματογραφία).
- Με βάση τον μηχανισμό στον οποίο βασίζεται ο διαχωρισμός.
 - Χρωματογραφία προσρόφησης: Σε αυτή λαμβάνει μέρος ο διαχωρισμός των διαφόρων ουσιών που βασίζεται στο διαφορετικό βαθμό προσρόφησης στη στατική φάση. Η τεχνική βρίσκει εφαρμογή στο διαχωρισμό ουσιών με παρόμοια δομή, αλλά και με διαφορετική πολικότητα. Ανάλογα με τη σχέση πολικότητας μεταξύ της

στατικής και της κινητής φάσης υπάρχουν δύο είδη χρωματογραφίας προσρόφησης. Αρχικά, η χρωματογραφία κανονικής φάσης, κατά την οποία η στατική φάση είναι πολικότερη από την κινητή. Δεύτερον, η χρωματογραφία αντίστροφης φάσης, όπου η στατική φάση είναι λιγότερο πολική της κινητής, η οποία κινητή αποτελείται από μείγματα οργανικών διαλυτών (μεθανόλη, ακετονιτρίλιο, κ.ά.) με υδατικά ρυθμιστικά διαλύματα και νερό.

- Χρωματογραφία κατανομής στήλης: Ο διαχωρισμός στηρίζεται στη διαφορετική κατανομή των συστατικών ενός μείγματος μεταξύ της κινητής και της υγρής στατικής φάσης και εφαρμόζεται στην ανάλυση ομόλογων, μη ιονικών ενώσεων.
- Χρωματογραφία μοριακού αποκλεισμού: Λαμβάνει μέρος διαχωρισμός κατηγοριών ενώσεων και συγκεκριμένα χωρίζονται τα μικρά από τα μεγάλα μόρια (π.χ. πεπτίδια – πρωτεΐνες). Τα μεγάλα μόρια εξέρχονται πρώτα από τη στήλη, ενώ τα μικρά μόρια, καθώς εισέρχονται στους πόρους των σωματιδίων της στατικής φάσης, καθυστερούν και βγαίνουν αργότερα.
- Χρωματογραφία ιοντοανταλλαγής: Ο διαχωρισμός γίνεται μόνο μεταξύ διαφορετικά φορτισμένων ουσιών. Οι κυριότερες παράμετροι που καθορίζουν τη συγκράτηση στη χρωματογραφία ιοντοανταλλαγής είναι το αντίθετο ιόν της δραστικής ομάδας της στατικής φάσης, η ιονική ισχύς, το pH, ο τροποποιητής της κινητής φάσης και η θερμοκρασία.
- Χρωματογραφία συγγενείας: Για την επίτευξη του διαχωρισμού, οι προσδιοριζόμενες ενώσεις δεσμεύονται εκλεκτικά σε υποκαταστάτες, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι στην επιφάνεια του διοξειδίου του πυριτίου. Ουσιαστικά, απομονώνεται μια μόνο ουσία, η οποία επιλέγεται εκλεκτικά και εξέρχεται μόνη της.
(Coskun 2016; Wang, Lim, και Fu 2020).

4.3.1 ΑΕΡΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

Η αέρια χρωματογραφία (Gas Chromatography - GC) είναι μια αναλυτική τεχνική που εφαρμόζεται για τον διαχωρισμό των συστατικών ενός μίγματος και την εν συνεχεία ανίχνευσή τους για επιβεβαίωση της παρουσίας ή απουσίας τους (ποιοτική ανάλυση) ή/και της ποσότητάς τους (ποσοτική ανάλυση). Βασική προϋπόθεση για μια επιτυχή ανάλυση είναι τα συστατικά που χρησιμοποιούνται να είναι πτητικά, με μοριακό βάρος <1250 Da και θερμικά σταθερά, ώστε να μην καταστρέφονται εντός της συσκευής. Ο διαχωρισμός πραγματοποιείται εντός μιας λεπτής (τριχοειδούς) χρωματογραφικής στήλης, που τα συστατικά του μείγματος συγκρατούνται σε διαφορετικούς βαθμούς από ένα προσροφητικό υλικό (στατική φάση), ενώ ταυτόχρονα κινούνται παρασυρόμενα από μια αέρια κινητή φάση (φέρων αέριο: He, N₂ ή H₂).

Αυτό έχει αποτέλεσμα τα συστατικά του μίγματος να εξέρχονται ένα-ένα σε διαφορετικούς χρόνους κατακράτησης και, αφού ανιχνευθούν από κατάλληλους ανιχνευτές, να ταυτοποιούνται ή/και να προσδιορίζονται ποσοτικά. Το αποτέλεσμα ονομάζεται αέριο χρωματογράφημα και η ταυτοποίηση και ο ποσοτικός προσδιορισμός των συστατικών του μίγματος γίνεται μετά από σύγκριση με πρότυπες ουσίες (Coskun 2016).

Οι δυνατότητες της αέριας χρωματογραφίας αυξάνουν σημαντικά εάν χρησιμοποιηθεί ως ανιχνευτής των συστατικών που εξέρχονται από τη στήλη ένα φασματόμετρο μάζας (mass spectrometer) αέρια χρωματογραφία - φασματομετρία μάζας (GC/MS). Το φασματόμετρο μάζας προκαλεί την διάσπαση κάθε συστατικού που εξέρχεται από τη στήλη σε ιόντα, και στη συνέχεια το διαχωρισμό των ιόντων σύμφωνα με τη μάζα και το φορτίο τους. Η καταγραφή των θραυσμάτων του κάθε συστατικού που εξέρχεται από τη στήλη αποτελεί το λεγόμενο φάσμα μάζας του συστατικού και αποτελεί το δακτυλικό του αποτύπωμα. Η σύγκριση του φάσματος μάζας κάθε συστατικού με φάσματα μάζας γνωστών ουσιών επιτρέπει την ταυτοποίηση του συστατικού, εργασία η οποία σήμερα γίνεται ταχύτατα με ηλεκτρονικούς υπολογιστές που περιέχουν βιβλιοθήκες φασμάτων μάζας σε ηλεκτρονική μορφή (Coskun 2016).

Το 1990, προτάθηκε για πρώτη φορά μια μέθοδος αεριοχρωματογραφίας για την ανίχνευση και τον ποσοτικό προσδιορισμό των αλκοολών μαννιτόλη και ινοσιτόλη σε μίγματα διαλυτού καφέ και φλοιών καφέ. Τα πρότυπα των αλκοολών και τα δείγματα καφέ αναλύθηκαν με αέρια χρωματογραφία στήλης. Πρότυπα δείγματα και φλοιοί *Arabica*, από έναν ξηρά επεξεργασμένο καφέ, καβουρδίστηκαν σε ελαφρύ βαθμό για να συγκριθούν με εμπορικούς διαλυτούς καφέδες από 13 διαφορετικές χώρες (Αυστραλία, Βραζιλία, Καναδάς, Ελ Σαλβαδόρ, Εκουαδόρ, Γερμανία, Ουγγαρία, Ιαπωνία, Μεξικό, Παραγουάη, Ελβετία, Ηνωμένο Βασίλειο και ΗΠΑ). Η μαννιτόλη εντοπίστηκε για πρώτη φορά σε προϊόντα καφέ, σε ποσότητες μεταξύ 1,61 και 2,03% (ξηρά ουσία), γεγονός που επιβεβαιώθηκε και μέσω εφαρμογής αεριοχρωματογραφίας συζευγμένης με φασματομετρία μάζας. Ακόμη και υπό διεργασίες εκχύλισης που έθεταν σε καταπόνηση τα δείγματα, η μαννιτόλη παρέμεινε σταθερή με ανάκτηση 95%. Η παρουσία μαννιτόλης σε δείγματα καφέ σε επίπεδα άνω του 0,3% συνδέθηκε με νοθεία από φλοιούς καφέ (Ferreira κ.ά. 2021).

Το 2009 πραγματοποιήθηκε μια μελέτη με στόχο την ανίχνευση της νοθείας καφέ με καβουρδισμένο κριθάρι, με βάση την ανάλυση GC-MS και την εστίαση στις πτητικές ενώσεις στην κορυφή πολλών δειγμάτων αλεσμένου καβουρδισμένου καφέ και κριθαριού, χρησιμοποιώντας μια τεχνική μικροεκχύλισης στερεάς φάσης (Solid Phase Microextraction - SPME), συμπεριλαμβανομένης της δοκιμαστικής αναγνώρισης χημικών δεικτών και

πολυπαραγοντικών στατιστικών δεδομένων. Έτσι, «καλής ποιότητας» δείγματα ακατέργαστου καφέ και κριθαριού ελήφθησαν από τις τοπικές αγορές και καβουρδίστηκαν σε τρεις διακριτούς βαθμούς ψησίματος σε φούρνο εργαστηρίου σε θερμοκρασίες 200°C και 300°C, αντίστοιχα. Τα δείγματα ζυγίστηκαν πριν και μετά το ψήσιμο προκειμένου να αξιολογηθεί η απώλεια βάρους. Λίγο πριν από κάθε ανάλυση, τα δείγματα καφέ και κριθαριού αλέστηκαν με ηλεκτρικό μύλο καφέ για 30 δευτερόλεπτα. Μια ίνα τριπλής φάσης χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των πτητικών συστατικών από τον καβουρδισμένο καφέ και το κριθάρι, αντίστοιχα. Περίπου 3 mL από κάθε δείγμα (αλεσμένος καφές, κριθάρι και μίγματα καφέ/κριθαριού) τοποθετήθηκαν σε σφραγισμένα φιαλίδια των 5 mL και θερμάνθηκαν για 10 λεπτά στους 70 °C. Οι αναλύσεις GC πραγματοποιήθηκαν εις διπλούν χρησιμοποιώντας αέριο χρωματογράφο συζευγμένο με φασματομέτρο μάζας και He ως φέρον αέριο (1 mL/min) (Oliveira κ.ά. 2009; Wang, Lim, και Fu 2020).

Για την ανάλυση του κύριου συστατικού, οι πίνακες δεδομένων δημιουργήθηκαν έτσι ώστε οι σειρές να αντιστοιχούν σε δείγματα καβουρδισμένου καφέ ή/και κριθαριού και κάθε στήλη να αντιπροσωπεύει την περιοχή κορυφής ενός συγκεκριμένου συστατικού. Μόνο οι χρωματογραφικές κορυφές με αναλογία σήματος προς θόρυβο υψηλότερες από 50 συμπεριλήφθηκαν στον τελικό πίνακα δεδομένων ανεξάρτητα από τον προσδιορισμό της ουσίας. Δεδομένου του εκτεταμένου αριθμού ενώσεων που ανιχνεύθηκαν σε όλα τα δείγματα καβουρδισμένου καφέ και κριθαριού, πραγματοποιήθηκε ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA) προκειμένου να επαληθευτεί η πιθανότητα διάκρισης μεταξύ τους με βάση τα πτητικά προφίλ. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ήταν δυνατό να ανιχνευθεί νοθεία καφέ με καβουρδισμένο κριθάρι σε προσμίξεις με 1% (w/w), αλλά μόνο για τους υψηλότερους (πιο σκούρους) βαθμούς καβουρδίσματος. Το γεγονός αυτό είναι λογικό, δεδομένου ότι τα νοθευμένα δείγματα συνήθως υποβάλλονται σε ακραίες συνθήκες ψησίματος (σκούρα), έτσι ώστε η αισθητηριακή αντίληψη της νοθείας να γίνεται πιο δύσκολη. Επίσης, όσο αυξανόταν η ποσότητα του κριθαριού, ο διαχωρισμός γινόταν πιο εμφανής. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν στην παρούσα μελέτη υποδεικνύουν ότι η SPME-GC-MS είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνική ανίχνευσης που πρέπει να χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό νοθείας στον καφέ. Ωστόσο, απαιτούνται περαιτέρω μελέτες σχετικά με διαφορετικές συνθήκες ψησίματος και ρύπους για να εξασφαλιστεί η δυνατότητα εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε ένα ευρύτερο φάσμα συνθηκών καβουρδίσματος και επίσης για την ταυτόχρονη ανίχνευση διαφορετικών μέσων νόθευσης στο ίδιο δείγμα (Oliveira κ.ά. 2009; Wang, Lim, και Fu 2020).

4.3.2 ΥΓΡΟΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (HPLC)

Στην υγρή χρωματογραφία στήλης (Liquid Chromatography - LC), η στατική φάση είναι στερεό πορώδες υλικό ή υγρό καθηλωμένο σε στερεό υπόστρωμα, που βρίσκεται εντός στήλης, ενώ η κινητή φάση είναι υγρό. Ο διαχωρισμός βασίζεται στις διαφορές που υπάρχουν σε ορισμένες ιδιότητες των συστατικών ενός μίγματος όπως είναι το σημείο ζέσεως, η πολικότητα, τα ηλεκτρικά φορτία και το μέγεθος των μορίων. Στην υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης το δείγμα εισάγεται στη κορυφή της στήλης και με τη βοήθεια της κινητής φάσης τα συστατικά του μετακινούνται με τη μορφή ζωνών και τελικά εκχυλίζονται το ένα μετά το άλλο. Οι ουσίες προς ανάλυση κατανέμονται μεταξύ της στατικής και της κινητής φάσης, με αποτέλεσμα να μετακινούνται με διαφορετικές ταχύτητες κατά μήκος της στήλης. Η διαβίβαση της κινητής φάσης μέσα από τη στατική επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση αντλιών χαμηλής πίεσης όταν η στατική φάση αποτελείται από σχετικά μεγάλης διαμέτρου σωματίδια που παρουσιάζουν μικρή αντίσταση (κλασική υγρή χρωματογραφία στήλης), είτε με τη χρησιμοποίηση αντλιών υψηλής πίεσης όταν η στατική φάση αποτελείται από πολύ μικρής διαμέτρου και επομένως μεγάλης αντίστασης, υψηλής διαχωριστικής απόδοσης, σωματίδια. Αποτελεί γρήγορη τεχνική για την ανάλυση μειγμάτων ουσιών, παρέχοντας άμεσα τόσο τον ποιοτικό όσο και τον ποσοτικό προσδιορισμό της κάθε ουσίας ξεχωριστά (Coskun 2016; Perez κ.ά. 2023).

Οι χρωματογραφικές μέθοδοι συνιστούν τις πιο ευέλικτες μεθόδους όσων αφορά την ανίχνευση νοθείας στον καφέ. Το 1989 προτάθηκε για πρώτη φορά η χρήση υγρής χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης (HPLC) με παραγωγολογία και ανίχνευση UV (530 nm), χρωματογραφία λεπτής στιβάδας και αέρια χρωματογραφία, για την διάκριση καθαρού καφέ από δείγματα που περιείχαν υπερβολικές ποσότητες φλοιών και περγαμηνών. Αρχικά, διευρύνθηκε η περιεκτικότητα και το προφίλ έξι μονοσακχαριτών (ξυλόζη, αραβινόζη, φρουκτόζη, μαννόζη, γλυκόζη και γαλακτόζη). Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν δυαδικά μίγματα με χρήση τριών τύπων φλοιών ελαφρώς καβουρδισμένων, μη σφαιροποιημένων (85% καφές και 15% φλούδες καφέ), σφαιροποιημένων (75% καφέ και 25% φλούδες καφέ) και θερμικά επεξεργασμένων (85% καφέ και 15% φλούδες καφέ). 122 εμπορικά διαλυτά δείγματα καφέ από 11 χώρες αναλύθηκαν. Η αύξηση της περιεχόμενης ξυλόζης, συνδέθηκε με την παρουσία φλοιού καφέ και περγαμηνής. Ανεξάρτητα από τις συνθήκες εκχύλισης, τα μη νοθευμένα δείγματα καφέ περιείχαν μέγιστα επίπεδα 0,3% ξυλόζης και σακχαρόζης, καθόλου μαλτόζη και περίπου 2% ολική γλυκόζη. Μερικά εμπορικά δείγματα έδειξαν αυξημένα επίπεδα ξυλόζης σε συγκεντρώσεις έως και 25%. Αυτά τα δείγματα περιείχαν επίσης γλυκόζη (πιθανότατα από την προσθήκη μαλτοδεξτρινών) και σακχαρόζη (πιθανώς από την προσθήκη

μαύρης ζάχαρης). Η μέθοδος αυτή αποδείχθηκε αρκετά καταστροφική, χαμηλής απόδοσης και μεγάλου κόστους (Ferreira κ.ά. 2021; Wang, Lim, και Fu 2020).

Το 2018, προτάθηκε μια μέθοδος βασισμένη σε HPLC για την ανίχνευση καβουρδισμένου κριθαριού, σιταριού και ρυζιού σε σκόνη καφέ. Η κύρια διαφορά αυτής της μελέτης σε σύγκριση με όλες τις προηγούμενες ήταν η χρήση τριγωνελίνης, ενός αλκαλοειδούς, φυτικής προέλευσης, ουσίας που βρίσκεται στον καφέ, στους σπόρους της τριγωνέλλας και κυρίως στα ραπανάκια, και νικοτινικού οξέος, μιας πρόδρομης ουσίας των ενζύμων NAD και NADP, που συμμετέχει σε πολλές οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, σε συνδυασμό με τους μονοσακχαρίτες μαννόζη, ραμνόζη, γλυκόζη, γαλακτόζη, ξυλόζη και αραβινόζη. Δεν αναφέρθηκαν τα είδη καφέ και ο βαθμός ψησίματος. Ο καφές και τα μέσα νοθείας αγοράστηκαν στην τοπική εμπορική αγορά και τα δείγματα αλέστηκαν και κοσκινίστηκαν. Οι αναλύσεις μονοσακχαριτών, τριγωνελίνης και νικοτινικού οξέος πραγματοποιήθηκαν με ανίχνευση UV. Οι μονοσακχαρίτες ανιχνεύθηκαν στα 245 nm, ενώ η τριγωνελίνη και το νικοτινικό οξύ ανιχνεύθηκαν στα 263 nm. Στη συνέχεια, παρασκευάστηκαν δυαδικά μίγματα σε αναλογίες από 1 – 100 % (w/w). Η μέθοδος αυτή αποδείχθηκε αρκετά ευαίσθητη με αποτελεσματικότητα ανάκτησης στην περιοχή από 84,1% έως 90,2% για τους μονοσακχαρίτες, 113,6% για την τριγωνελίνη και 114,9% για το νικοτινικό οξύ. Τα όρια ανίχνευσης κυμαίνονταν μεταξύ 7,05 και 10,50 mg kg⁻¹ για τους μονοσακχαρίτες, 0,209 mg kg⁻¹ για την τριγωνελίνη και 0,117 mgkg⁻¹ για το νικοτινικό οξύ. Η τριγωνελίνη και το νικοτινικό οξύ δεν βρέθηκαν σε κανένα νοθευμένο δείγμα. Ωστόσο, οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η γλυκόζη ήταν ο καλύτερος δείκτης για τη διάκριση του καφέ από τα νοθευμένα δείγματα. Η παρούσα τεχνική, μάλιστα, χαρακτηρίστηκε αρκετά επίπονη και καταστροφική για τα δείγματα και κυρίως πολύ ακριβή (Ferreira κ.ά. 2021; Toci κ.ά. 2016).

Πιο πρόσφατα, το 2021, αξιολογήθηκε και συγκρίθηκε η δυνατότητα εφαρμογής των μη στοχευμένων τεχνικών HPLC-DAD, Υγρή Χρωματογραφία Υψηλής Πίεσης με ανιχνευτή Συστοιχίας Φωτοδιόδων, η οποία είναι μια αναλυτική τεχνική που διαχωρίζει και χαρακτηρίζει χημικά μίγματα με βάση τις χημικές και φυσικές τους ιδιότητες, και φθορισμού HPLC για την ανίχνευση και τον ποσοτικό προσδιορισμό του κιχωρίου σε στιγμιαίο κανονικό καφέ και καφέ χωρίς καφεΐνη. Δείγμα εμπορικού στιγμιαίου καφέ χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του μοντέλου μελέτης. Δεν αναφέρθηκαν τα είδη καφέ και ο βαθμός ψησίματος. Το μοτίβο δακτυλικών αποτυπωμάτων HPLC-DAD στα 280 nm και το πρότυπο φθορισμού HPLC στα 310 nm και 410 nm επιλέχθηκαν για τη δημιουργία των προφίλ για σκοπούς επαλήθευσης ταυτότητας. Τα αποτελέσματα υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με χημειομετρικές αναλύσεις (PCA, PLS-DA και PLS). Και οι δύο μεθοδολογίες HPLC μπόρεσαν να ανιχνεύσουν και να

ποσοτικοποιήσουν τη νοθεία του καφέ έως το 15% της περιεκτικότητας σε νόθευση. Τόσο οι στρατηγικές δακτυλικών αποτυπωμάτων HPLC-UV όσο και HPLC-Fluorescence αποδείχθηκαν δυνητικά εφικτές, απλές και σχετικά φθηνές μέθοδοι για τον εντοπισμό και τον ποσοτικό προσδιορισμό της νοθείας με κιχώριο. Ωστόσο, απαιτείται ακόμη ανάλυση μεγάλου αριθμού δειγμάτων από διαφορετικούς παραγωγούς για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων αυτών των μεθόδων (Ferreira κ.ά. 2021).

4.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ

Ξεκινώντας από τη δεκαετία του 1950, οι μέθοδοι που εισάγονται για την ανίχνευση νοθευμένων δειγμάτων καφέ βασίζονται στην οπτική μικροσκοπία. Οι συγκεκριμένες τεχνικές προϋποθέτουν επεξεργασία του δείγματος, δηλαδή έκπλυση με οργανικό διαλύτη, ξήρανση και κοσκίνισμα. Στην οπτική μικροσκοπία χρησιμοποιούνται οφθαλμικοί φακοί για επαρκή εστίαση στην υπό μελέτη ουσία. Μάλιστα, οι αναλύσεις εξαρτώνται από το βαθμό συμφωνίας που λαμβάνεται μεταξύ των χαρακτηριστικών της άγνωστης ουσίας και εκείνων που συνιστούν πρότυπα μη νοθευμένων αλεσμένων ή καβουρδισμένων κόκκων καφέ. Γενικά, προς διευκόλυνση της λήψης αποτελεσμάτων, απαιτείται ομαλότητα στην υπό παρατήρηση επιφάνεια, όμως αυτό δεν είναι εφικτό στην περίπτωση του καφέ. Η συγκεκριμένη μέθοδος προϋποθέτει σημαντική τεχνική ικανότητα και επομένως είναι υποκειμενική (Ferreira κ.ά. 2021).

Το 1951, αναπτύχθηκε μια μέθοδος που χρησιμοποιούσε οπτικό μικροσκόπιο για να εκτιμήσει την ποσότητα από φλοιούς καφέ που προσθέτονταν σε αλεσμένους, καβουρδισμένους καφέδες ποικιλίας *Arabica*. Η μεθοδολογία της περιλάμβανε τέσσερα βήματα. Αρχικά, πραγματοποιούνταν οργανοληπτικές αναλύσεις, έπειτα επεξεργασία με χλωροφόρμιο, και τέλος συλλογή των φλοιών για εξέταση με μεγεθυντικό φακό, ακολουθούμενη από μικροσκοπικές αναλύσεις. Βάσει αποτελεσμάτων, εντοπίστηκαν προσμίξεις έως και 20% με φλοιούς. Ωστόσο, το μέγεθος των σωματιδίων και ο βαθμός καβουρδίσματος δεν ελέγχονταν. Μάλιστα, η μέθοδος δεν εφαρμόστηκε σε εμπορικά δείγματα και η εκτίμηση της δεν επικυρώθηκε (Toci κ.ά. 2016).

Η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης SEM είναι μια προηγμένη εξέλιξη της οπτικής μικροσκοπίας. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί μια δέσμη ηλεκτρονίων για να δημιουργήσει μια εικόνα του δείγματος. Τα πλεονεκτήματα των τεχνικών που βασίζονται στην ηλεκτρονική μικροσκοπία σε συνδυασμό με την ανάλυση ψηφιακής εικόνας επέτρεψαν την εφαρμογή της στην ανίχνευση μορφολογικών αλλοιώσεων επεξεργασμένων τροφίμων, όπου μια απλή οπτική εξέταση δεν αρκεί. Συνήθως, η σύγχρονη μικροσκοπική ανάλυση περιλαμβάνει τρία στάδια,

έκπλυση με χλωροφόρμιο, διήθηση μέσω διηθητικού χαρτιού για την αφαίρεση λεπτών σωματιδίων και επεξεργασία εικόνας. Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις πτυχές, το 1999 προτάθηκε η εφαρμογή του SEM για τον εντοπισμό πρακτικών νοθείας στα προϊόντα του καφέ. Με αυτόν τον τρόπο, μέσω της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης, έχει ανιχνευθεί ποσοστό ίσο με 2,5% κόκκων αμύλου σε δείγματα κόκκων καφέ, που σημαίνει προσθήκη δημητριακών, όπως σίκαλη, κριθάρι, καλαμπόκι και σιτάρι ως νοθευτές (Ferreira κ.ά. 2021; Toci κ.ά. 2016).

Ενώ η άσκηση μεθόδων που βασίζονται στη χρήση οπτικού μικροσκοπίου για την ανίχνευση της νοθείας του καφέ μπορεί να είναι σχετικά απλή, αν και όχι πάντα αποτελεσματική, σύγχρονες προσεγγίσεις όπως αυτές που χρησιμοποιούν SEM είναι πιο καταστροφικές και χρονοβόρες. Το όριο νοθείας που ανιχνεύεται από τις διάφορες μελέτες φαίνεται να ποικίλλει ανάλογα με τη μέθοδο και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται. Επομένως, χρειάζονται περισσότερες συγκριτικές μελέτες με τη χρήση μικροσκοπίας (Toci κ.ά. 2016).

4.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΟ DNA

Οι μέθοδοι που βασίζονται στο DNA περιλαμβάνουν διάφορες μοριακές τεχνικές που επιτρέπουν την άμεση ταυτοποίηση του γονότυπου. Από όλα τα βιολογικά μόρια, το DNA είναι το πιο σταθερό και ανθεκτικό, έχοντας την ιδιότητα να διατηρεί και να μεταφέρει πληροφορίες στα έμβια όντα. Λόγω του συγκεκριμένου χαρακτηριστικού, οι μέθοδοι που βασίζονται στο DNA έχουν χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της αυθεντικότητας διαφόρων τροφίμων. Παρόλα αυτά, όλες οι υπάρχουσες αναφορές σχετικά με τον έλεγχο της γνησιότητας του καφέ από αναλύσεις DNA βασίζονται στη διαφοροποίηση των ειδών του, γεγονός που δεν προϋποθέτει πάντα τον εντοπισμό πρακτικών νοθείας σε αυτόν (Ferreira κ.ά. 2021; Toci κ.ά. 2016).

Σύγχρονες τεχνικές όπως η αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης (polymerase chain reaction - PCR) προσφέρουν τη δυνατότητα αναγνώρισης του DNA, που σε συνδυασμό με τη χρήση μοριακών δεικτών, καθίσταται εφικτή η αναγνώριση διαφορετικών ειδών ή ποικιλιών. Μοριακοί δείκτες έχουν χρησιμοποιηθεί για τον χαρακτηρισμό των ειδών καφέ, επιτρέποντας τη διάκριση μεταξύ των ποικιλιών *Robusta* και *Arabica* και την ανίχνευση της παρουσίας νοθείας (Ferreira κ.ά. 2021).

Πρόσφατα, εφαρμόστηκε μια μέθοδος βασισμένη στο DNA για την ανίχνευση και την ποσοτικοποίηση νοθείας του καβουρδισμένου καφέ με κριθάρι, καλαμπόκι και ρύζι. Η ανάλυση των δειγμάτων έγινε με την τεχνική PCR - *Randomly Amplified Polymorphic DNA*

(RAPD), με οριζόντια ηλεκτροφόρηση σε γέλη αγαρόζης. Έχοντας επιλεχθεί τα γονίδια-δείκτες για τον καφέ, το κριθάρι, τον αραβόσιτο και το ρύζι, οι περιοχές δεικτών που έδειξαν ομοιότητα με άλλα είδη απορρίφθηκαν και επιλέχθηκαν συγκεκριμένες περιοχές ως DNA πρότυπα για το σχεδιασμό των σιταριών και του καφέ. Συγκεκριμένα, τα γονίδια-δείκτες για το κριθάρι, τον αραβόσιτο και το ρύζι δεν είχαν ομοιότητες με τους οργανισμούς των ειδών *C. Arabica* και *C. Robusta*, ώστε να εντοπιστούν εύκολα οι αντίστοιχες αλληλουχίες DNA τους σε περίπτωση νοθευμένων δειγμάτων καφέ. Αυτή η πολλά υποσχόμενη μέθοδος έδειξε την ικανότητα ανίχνευσης των προαναφερθέντων νοθευτών σε δείγματα καφέ, υποδεικνύοντας ότι θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη διασφάλιση της ποιότητάς του, σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές της αγοράς (Toci κ.ά. 2016).

Ο μονονουκλεοτιδικός πολυμορφισμός (Single Nucleotide Polymorphism - SNP) είναι το φαινόμενο κατά το οποίο προκαλείται πολυμορφισμός από την αντικατάσταση ενός νουκλεοτιδίου σε μια συγκεκριμένη θέση στην αλληλουχία του DNA από ένα άλλο. Οι αλλαγές αυτές στο DNA είναι ικανές να διακρίνουν είδη ή/και ποικιλίες μεταξύ ίδιων προϊόντων. Οι μέθοδοι που βασίζονται στον SNP βρίσκουν εφαρμογή στον έλεγχο της αυθεντικότητας των κόκκων καφέ, βασιζόμενες στη διαφοροποίηση μεταξύ των ποικιλιών *Arabica* και *Robusta*. Το 2012, αναπτύχθηκε μια μέθοδος που βασίστηκε στο φαινόμενο αυτό, το οποίο προσδιόριζε με ακρίβεια το ποσοστό κόκκων ποικιλίας *Arabica* και *Robusta* σε δείγματα που περιείχαν μίξεις αυτών. Αργότερα, μέσω του SNP, δημιουργήθηκαν τεστ τύπου ράβδου στάθμης (*dipstick-type tests*), μιας χρήσης, ιδιαίτερα χαμηλού κόστους, τα οποία επέτρεπαν την ανίχνευση νοθευμένων κόκκων καφέ μέσω της παρατήρησής τους με γυμνό μάτι (Perez κ.ά. 2023).

Οι μέθοδοι που βασίζονται στη μοριακή βιολογία έχουν δείξει ορισμένα πλεονεκτήματα για τον έλεγχο της αυθεντικότητας προϊόντων τροφίμων, όπως υψηλή εξειδίκευση και ευαισθησία. Ωστόσο, εξακολουθούν να εξαρτώνται από την ακεραιότητα του DNA των τροφίμων-στόχων. Η παρουσία αναστολέων της αντίδρασης PCR σε αλεσμένους και καβουρδισμένους καφέδες αποτελεί εμπόδιο για μια ολοκληρωμένη εφαρμογή των αντίστοιχων μεθόδων. Παρόλα αυτά, έχουν αναφερθεί προτάσεις για τη βελτίωση της ποιότητας των συγκεκριμένων πρακτικών. Για παράδειγμα, όσον αφορά τις μεθόδους εκχύλισης, η προσθήκη ενισχυτικών ουσιών, όπως κιτρικό οξύ, θειώδες νάτριο, αποβουτυρωμένο γάλα, αλβουμίνη ορού βοοειδών (BSA), κ.ά. (Ferreira κ.ά. 2021).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Η συνεχώς αυξανόμενη κατανάλωση καφέ που παρατηρείται σε όλες τις ηπείρους, τους τελευταίους τρεις αιώνες, έχει προκαλέσει την εισαγωγή μεγάλης ποικιλίας απομιμήσεων και νοθευτών σε αυτόν. Μέχρι και τον 20^ο αιώνα, το κichório ήταν η πιο μελετημένη τροφή που χρησιμοποιήθηκε για την αραίωση του αλεσμένου καβουρδισμένου καφέ. Από τον 20^ο αιώνα και μετά, το καλαμπόκι, τα υποπροϊόντα του καφέ και το κριθάρι αποτέλεσαν τα πιο συχνά επιλεγμένα μέσα νοθείας του καφέ, ακολουθούμενα από το κichório και άλλα τρόφιμα. Η άνοδος των νέων τεχνολογιών επέτρεψε στους ερευνητές να αναπτύξουν πιο εξελιγμένες μεθόδους για τον εντοπισμό της νοθείας αυτής (Ferreira κ.ά. 2021).

Οι σύγχρονες τεχνικές όπως η φασματοσκοπία, η χρωματογραφία, η φασματομετρία, με ή χωρίς χημειομετρικές αναλύσεις και η αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης, κατέστησαν επιτυχή τη διαφοροποίηση του καφέ από τους νοθευτές του σε ελεγχόμενες αναλύσεις. Σε ορισμένα εμπορικά δείγματα, ωστόσο, έχουν προκύψει σοβαροί περιορισμοί για την αναγνώριση των νοθευτών, ειδικά όταν βρίσκονται σε μικρές ποσότητες και με περισσότερους από έναν νοθευτές. Τα φαινόμενα που σχετίζονται με το βαθμό ψησίματος και το μέγεθος των κόκκων φαίνεται να είναι ένα από τα πιο μεγάλα προβλήματα σε αυτές τις προσεγγίσεις. Επιπλέον, δεδομένης της έλλειψης ελέγχου των ειδών καφέ αναφοράς και της καθαρότητας, τα αποτελέσματα αρκετών μελετών μπορεί να θεωρηθούν ασαφή ή αναξιόπιστα (Ferreira κ.ά. 2021).

Οι τεχνολογίες και οι μεθοδολογίες που βασίζονται στη χρωματογραφία έχουν εξελιχθεί σημαντικά μαζί με την αύξηση της ευαισθησίας και της ταχύτητας για την ανίχνευση συγκεκριμένων χημικών δεικτών τόσο σε αλεσμένους καβουρδισμένους όσο και σε διαλυτούς καφέδες. Η ανάλυση κύριων συνιστωσών είναι επίσης χρήσιμη για τη διάκριση δειγμάτων μέσω της ανάλυσης δακτυλικών αποτυπωμάτων. Οι περισσότερες διαθέσιμες μελέτες βασίζονται στο προφίλ των υδατανθράκων. Οι υδατάνθρακες που χρησιμοποιούνται περισσότερο ως δείκτες για τον εντοπισμό της νοθείας στον καφέ είναι η ξυλόζη και η μαννιτόλη (φλοιοί), η σταχυόζη (όσπρια), η μαννόζη (σπόροι), η σακχαρόζη, η γλυκόζη και η φρουκτόζη (καστανή ζάχαρη). Άλλες κατηγορίες ενώσεων που επιλέγονται ως δείκτες είναι οι τοκοφερόλες, τα λιπαρά οξέα και διάφορες πτητικές ενώσεις, η τριγωνελίνη και το νικοτινικό οξύ. Ωστόσο, οι χρωματογραφικές μέθοδοι προϋποθέτουν προετοιμασία του δείγματος που μπορεί μερικές φορές να είναι πολύπλοκη και επίπονη. Ακόμη, παρουσιάζουν χαμηλή ευαισθησία για ορισμένους νοθευτές, γεγονός που τις καθιστά μη αποτελεσματικές για τον εντοπισμό τους σε ορισμένες ομάδες τροφίμων (Ferreira κ.ά. 2021; Toci κ.ά. 2016).

Όσον αφορά την φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR), η συγκεκριμένη μεθοδολογία αντιμετωπίζει προβλήματα επέκτασης της δυνατότητας εφαρμογής της για τις διάφορες δοκιμές του καφέ, συμπεριλαμβανομένης της ανίχνευσης μολυσματικών ουσιών και της διευκρίνισης των συνθηκών ψησίματος (προφίλ χρόνου-θερμοκρασίας, βαθμοί ψησίματος) που επηρεάζουν τα δακτυλικά αποτυπώματα των δειγμάτων. Όμως, παρά το γεγονός ότι είναι χρονοβόρα και πιο δαπανηρή από άλλες φασματομετρικές μεθόδους, σαν τεχνική έχει προσφέρει εξαιρετικά ελπιδοφόρα αποτελέσματα για την ανίχνευση ενός ευρέος φάσματος νοθευτών που αφορούν διαφορετικά είδη καφέ, όπως φλούδες καφέ, μαλτοδεξτρίνη, καραμελωμένη ζάχαρη, όσπρια, καλαμπόκι, άμυλο και κριθάρι (Milani κ.ά. 2020; Toci κ.ά. 2016).

Οι μέθοδοι που βασίζονται στο DNA φαίνεται να έχουν πολλές προοπτικές για την αξιολόγηση της αυθεντικότητας του καφέ, δεδομένου ότι τα όρια ανίχνευσης και ποσοτικοποίησης είναι χαμηλά και η ευαισθησία είναι υψηλότερη από άλλες μεθόδους. Ωστόσο, όσο αυξάνεται ο βαθμός ψησίματος, η ευαισθησία των μεθόδων μειώνεται. Επιπλέον, οι περισσότερες από τις μεθόδους που παρουσιάζονται δεν έχουν επικυρωθεί (Perez κ.ά. 2023).

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, ιδανικές αξιολογήσεις της αυθεντικότητας του καφέ, που θα εξασφαλίσουν ακριβή διάγνωση, εξακολουθούν να απαιτούν τη χρήση πολλαπλών τεχνικών και έναν δαπανηρό προϋπολογισμό. Γι' αυτό, θα πρέπει να ενθαρρυνθεί η διαθεσιμότητα ολόκληρων κόκκων και μύλου καφέ στην αγορά. Για τους αλεσμένους καβουρδισμένους καφέδες, το μεσαίο ψήσιμο θα πρέπει να προτιμάται έναντι των σκούρων καβουρδισμένων κόκκων, δεδομένου ότι οι περισσότεροι περιορισμοί στην εκτίμηση της νοθείας συμβαίνουν όταν εκείνοι είναι σκουρόχρωμοι καβουρδισμένοι. Ενώ δεν είναι ακόμη διαθέσιμες αποτελεσματικές μέθοδοι χαμηλού κόστους, η κλασική οπτική μικροσκοπία εξακολουθεί να χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της καθαρότητας σε πολλές χώρες, αν και μπορεί να είναι αναξιόπιστο να εξαρτάται αποκλειστικά από την ανθρώπινη οπτική επιθεώρηση για αυτόν τον σκοπό (Toci κ.ά. 2016).

Συμπερασματικά, παρά την ύπαρξη πολύτιμων μελετών στον τομέα αυτό, εξακολουθεί να είναι απαραίτητη η ανάπτυξη μιας ευρέως εφαρμόσιμης και ευαίσθητης μεθοδολογίας που θα μπορεί να αντιμετωπίσει τις διάφορες πτυχές της νοθείας του καφέ. Αυτό περιλαμβάνει την διάκριση μεταξύ ειδών, την ανίχνευση ελαττωματικών κόκκων και την αναγνώριση της παρουσίας εξωτερικών παραγόντων. Τέλος, κρίσιμης σημασίας αποτελεί η συνεχής προσπάθεια για την προστασία των παραγωγών καφέ από τις τεράστιες οικονομικές απώλειες και των καταναλωτών από τους κινδύνους για την υγεία τους, που συνεπάγονται αυτές οι πρακτικές (Perez κ.ά. 2023).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ‘ΚΕΦ. 8 ΦΑΣΜΑΤΟΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΟΡΑΤΟΥ UV-Vis Μ. ΚΟΥΠΠΑΡΗΣ ΠΑΡΑΔΟΣΕΙΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΙΙ - PDF ΔΩΡΕΑΝ Λήψη’.
<https://docplayer.gr/13441985-Kef-8-fasmatofotometria-yperiodoys-oratoy-uv-vis-m-koupparis-paradoseis-analytikis-himeias-ii.html>.
- Νίκα, Νικολέττα. 2022. ‘Food fraud: περιπτώσεις, συχνότητα, συνέπειες, κίνδυνοι’.
doi:10.26265/polynoe-1878.
- athina. 2016. ‘Η Ανακάλυψη & η Ιστορία του Καφέ’. *ΜΗΧΑΝΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ*.
<https://www.mixanitouxronou.gr/i-apolasustiki-istoria-tou-kafe/>.
- Bager, Simon L., και Eric F. Lambin. 2020. ‘Sustainability Strategies by Companies in the Global Coffee Sector’. *Business Strategy and the Environment* 29(8): 3555–70.
doi:10.1002/bse.2596.
- Barrea, Luigi, Gabriella Pugliese, Evelyn Frias-Toral, Marwan El Ghoch, Bianca Castellucci, Sebastián Pablo Chapela, María de los Angeles Carignano, κ.ά. 2023. ‘Coffee consumption, health benefits and side effects: a narrative review and update for dietitians and nutritionists’.
Critical Reviews in Food Science and Nutrition 63(9): 1238–61.
doi:10.1080/10408398.2021.1963207.
- Beć, Krzysztof B., Justyna Grabska, και Christian W. Huck. 2021. ‘NIR spectroscopy of natural medicines supported by novel instrumentation and methods for data analysis and interpretation’.
Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis 193: 113686.
doi:10.1016/j.jpba.2020.113686.
- Bharath, Nagaraj, Nagur Karibasappa Sowmya, και Dhoom Singh Mehta. 2015. ‘Determination of antibacterial activity of green coffee bean extract on periodontogenic bacteria like Porphyromonas gingivalis, Prevotella intermedia, Fusobacterium nucleatum and Aggregatibacter actinomycetemcomitans: An in vitro study’.
Contemporary Clinical Dentistry 6(2): 166–69.
doi:10.4103/0976-237X.156036.
- Brooks, Christopher, Lesley Parr, Jordan M. Smith, Dominic Buchanan, Dominika Snioch, και Essam Hebshy. 2021. ‘A review of food fraud and food authenticity across the food supply chain, with an examination of the impact of the COVID-19 pandemic and Brexit on food industry’.
Food Control 130: 108171.
doi:10.1016/j.foodcont.2021.108171.
- Cappelletti, Simone, Piacentino Daria, Gabriele Sani, και Mariarosaria Aromatario. 2015. ‘Caffeine: Cognitive and Physical Performance Enhancer or Psychoactive Drug?’
<https://www.ingentaconnect.com/content/ben/cn/2015/00000013/00000001/art00009> (4 Οκτώβριος 2023).
- Carrasco-Cabrera, Claudia P., Tina L. Bell, και Michael A. Kertesz. 2019. ‘Caffeine Metabolism during Cultivation of Oyster Mushroom (Pleurotus Ostreatus) with Spent Coffee Grounds’.
Applied Microbiology and Biotechnology 103(14): 5831–41.
doi:10.1007/s00253-019-09883-z.
- de Carvalho Couto, Cinthia, Caroline Corrêa de Souza Coelho, Edna Maria Moraes Oliveira, Susana Casal, και Otniel Freitas-Silva. 2023. ‘Adulteration in roasted coffee: a comprehensive

- systematic review of analytical detection approaches'. *International Journal of Food Properties* 26(1): 231–58.
doi:10.1080/10942912.2022.2158865.
- Choudhary, Ankita, Neeraj Gupta, Fozia Hameed, και Skarma Choton. 2020. 'An overview of food adulteration: Concept, sources, impact, challenges and detection'. *International Journal of Chemical Studies* 8: 2564–73.
doi:10.22271/chemi.2020.v8.i1am.8655.
- Coskun, Ozlem. 2016. 'Separation Techniques: Chromatography'. *Northern Clinics of Istanbul* 3(2): 156–60. doi:10.14744/nci.2016.32757.
- Du, Mengshuang. 2021. 'Corporate governance: five-factor theory-based financial fraud identification'. *Journal of Chinese Governance* 6(1): 1–19.
doi:10.1080/23812346.2020.1803036.
- Ferreira, Thiago, Leticia Galluzzi, Tomas de Paulis, και Adriana Farah. 2021. 'Three centuries on the science of coffee authenticity control'. *Food Research International* 149: 110690.
doi:10.1016/j.foodres.2021.110690.
- Ghimire, Sangita. 2016. 'Knowledge on Food Adulteration and Their Effects on Health'. Thesis. Faculty of Education, Tribhuvan University Kirtipur.
<https://elibrary.tucl.edu.np/handle/123456789/1485>.
- Gökçen, Büşra Başar, και Nevin Şanlıer. 2019. 'Coffee consumption and disease correlations'. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 59(2): 336–48.
doi:10.1080/10408398.2017.1369391.
- Goldstein, David. 2021. 'Coffee Production by Country'. *Mekko Graphics*.
<https://www.mekkographics.com/coffee-production-by-country/>.
- 'International Coffee Organization - What's New'. <http://www.ico.org/>.
- Lachenmeier, Dirk W., Steffen Schwarz, Jörg Rieke-Zapp, Ennio Cantergiani, Harshadrai Rawel, María Angeles Martín-Cabrejas, Maria Martuscelli, Vera Gottstein, και Simone Angeloni. 2022. 'Coffee By-Products as Sustainable Novel Foods: Report of the 2nd International Electronic Conference on Foods—“Future Foods and Food Technologies for a Sustainable World”'. *Foods* 11(1): 3.
doi:10.3390/foods11010003.
- Lord, Nicholas, Cecilia Juliana Flores Elizondo, και Jon Spencer. 2017. 'The Dynamics of Food Fraud: The Interactions between Criminal Opportunity and Market (Dys)Functionality in Legitimate Business'. *Criminology & Criminal Justice* 17(5): 605–23.
doi:10.1177/1748895816684539.
- Milani, Maria Izabel, Eduardo Luiz Rossini, Tiago Augusto Catelani, Leonardo Pezza, Aline Theodoro Toci, και Helena Redigolo Pezza. 2020. 'Authentication of roasted and ground coffee samples containing multiple adulterants using NMR and a chemometric approach'. *Food Control* 112: 107104.
doi:10.1016/j.foodcont.2020.107104.
- de Moura Ribeiro, Marcos Vinícius, Nivaldo Boralle, Helena Redigolo Pezza, Leonardo Pezza, και Aline Theodoro Toci. 2017. 'Authenticity of roasted coffee using ¹H NMR spectroscopy'.

- Journal of Food Composition and Analysis* 57: 24–30.
doi:10.1016/j.jfca.2016.12.004.
- ‘New ISO Specification for Better Management of Animal Welfare Worldwide’. 2016. ISO.
<https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/news/2016/12/Ref2147.html>.
- Oliveira, Rafael C. S., Leandro S. Oliveira, Adriana S. Franca, και Rodinei Augusti. 2009. ‘Evaluation of the potential of SPME-GC-MS and chemometrics to detect adulteration of ground roasted coffee with roasted barley’. *Journal of Food Composition and Analysis* 22(3): 257–61.
doi:10.1016/j.jfca.2008.10.015.
- Pancsira, János. 2022. ‘International Coffee Trade: A Literature Review’. *Journal of Agricultural Informatics* 13(1).
doi:10.17700/jai.2022.13.1.654.
- Perez, Maria, Inés Domínguez-López, Anallely López-Yerena, και Anna Vallverdú Queralt. 2023. ‘Current strategies to guarantee the authenticity of coffee’. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 63(4): 539–54.
doi:10.1080/10408398.2021.1951651.
- Plants & People group 5. 2014. ‘Climate of Coffee Beans’. *Keep Calm and Drink Coffee*.
<https://pbiobloggroup5.wordpress.com/2014/11/12/climate-of-coffee-beans/>.
- Seninde, Denis Richard, και Edgar Chambers. 2020. ‘Coffee Flavor: A Review’. *Beverages* 6(3): 44.
doi:10.3390/beverages6030044.
- Smith, Reginald F. 1985. ‘A History of Coffee’. Στο *Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage*, επιμ. M. N. Clifford και K. C. Willson. Boston, MA: Springer US, 1–12.
doi:10.1007/978-1-4615-6657-1_1.
- Suhandy, Diding, Meinilwita Yulia, και Kusumiyati. 2018. ‘Chemometric quantification of peaberry coffee in blends using UV–visible spectroscopy and partial least squares regression’. *AIP Conference Proceedings* 2021(1): 060010.
doi:10.1063/1.5062774.
- ‘The World’s Top 15 Coffee Producing Countries In 2023’. 2021.
<https://fluentincoffee.com/coffee-producing-countries/>.
- Toci, Aline Theodoro, Adriana Farah, Helena Redigolo Pezza, και Leonardo Pezza. 2016. ‘Coffee Adulteration: More than Two Decades of Research’. *Critical Reviews in Analytical Chemistry* 46(2): 83–92.
doi:10.1080/10408347.2014.966185.
- Valand, Reema, Sangeeta Tanna, Graham Lawson, και Linda Bengtström. 2020. ‘A review of Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy used in food adulteration and authenticity investigations’. *Food Additives & Contaminants: Part A* 37(1): 19–38.
doi:10.1080/19440049.2019.1675909.
- Vegro, Celso Luis Rodrigues, και Luciana Florêncio de Almeida. 2020. ‘Chapter 1 - Global coffee market: Socio-economic and cultural dynamics’. Στο *Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil*, Woodhead Publishing Series in Consumer Sci & Strat Market, επιμ.

Luciana Florêncio de Almeida και Eduardo Eugênio Spers. Woodhead Publishing, 3–19.
doi:10.1016/B978-0-12-814721-4.00001-9.

Wang, Xiuju, Loong-Tak Lim, και Yucheng Fu. 2020. 'Review of Analytical Methods to Detect Adulteration in Coffee'. *Journal of AOAC INTERNATIONAL* 103(2): 295–305.
doi:10.1093/jaoacint/qs2019.

Weldemichael, Getachew, και Demelash Teferi. 2019. 'The Impact of Climate Change on Coffee (Coffea Arabica L.) Production and Genetic Resources'. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences* 5.
doi:10.20431/2454-6224.0511004.

Yulia, Meinilwita, και Diding Suhandy. 2021. 'Quantification of Corn Adulteration in Wet and Dry-Processed Peaberry Ground Roasted Coffees by UV–Vis Spectroscopy and Chemometrics'. *Molecules* 26(20): 6091.
doi:10.3390/molecules26206091.