



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ-ΣΧΟΛΕΣ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ, ΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***«Μελέτη της επίδρασης του καβουρδίσματος στα φυσικοχημικά
χαρακτηριστικά του Ελληνικού καφέ»***



Νικολίνα Σ. Παπαδημητρίου, Χημικός BSc

Επιβλέπουσα καθηγήτρια :

Αναστασία Μπαδέκα, Καθηγήτρια Π.Ι – Τομέας Χημείας Τροφίμων

Ιωάννινα, Ιούλιος 2026

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Νικολίνα Παπαδημητρίου του Σπυρίδωνος, με αριθμό μητρώου 1460 μεταπτυχιακή φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων της Σχολής Θετικών επιστημών του Τμήματος Χημείας, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

Αποτελώ συγγραφέα της διπλωματικής εργασίας και η οποιαδήποτε βοήθεια η οποία έλαβα για την προετοιμασία της είναι εμφανώς αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, όλες οι πηγές από τις οποίες άντλησα δεδομένα, ιδέες ή φράσεις, είτε αυτούσιες είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη λεπτομέρεια στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο και το περιοδικό. Επίσης αναλυτικά αναφέρονται οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει επιμεληθεί από εμένα εξ ολοκλήρου και είναι προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας δικής μου και του Ιδρύματος.

Η Δηλούσα,
Νικολίνα Παπαδημητρίου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	11
1.1 Το φυτό του καφέ	11
1.2 Ανατομία καρπού (Cherry)	12
1.3 Ιστορία του καφέ	13
1.4 Η εισαγωγή του καφέ στην Ευρώπη και την Αμερική	15
1.5 Τα είδη <i>C. arabica</i> και <i>C. robusta</i>	16
1.6 Το είδος <i>Coffea liberica</i> (<i>C. liberica</i>)	20
1.7 Καφέδες <i>Rio Minas</i> και <i>Uganda</i>	20
1.8 Φύτευση καφεόδεντρων	20
1.9 Συγκομιδή καρπών	21
1.10 Επεξεργασία καρπών	22
1.11 Αποφλοίωση των κόκκων	23
1.12 Συσκευασία πράσινων κόκκων σε σιζάλ	23
1.13 Παραγωγή Ελληνικού καφέ σε βιομηχανική κλίμακα	24
1.14 Προμήθεια & Αποθήκευση α' υλών	25
1.15 Καβούρδισμα Καφέ	26
1.15.1 Ξανθό καβούρδισμα	28
1.15.2 Σκούρο καβούρδισμα	28
1.16 Άλεση καφέ	29
1.17 Συσκευασία & Αποθήκευση Καφέ	29
1.18 Τρόπος παρασκευής Ελληνικού καφέ	29
1.19 Ο ρόλος του νερού	30
1.20 Οργανοληπτική δοκιμή του καφέ	30
1.21 Αντίδραση Maillard & Αποικοδόμηση Strecker	31
1.22 Χημικά χαρακτηριστικά καβουρδισμένου καφέ	31
1.23 Πρωτεΐνες	32
1.24 Λιπίδια	32
1.25 Τερπένια	32
1.26 Χλωρογενικό οξύ	33
1.27 Τριγωνελίνη	34
1.28 Μελανοϊδίνες	34
1.29 Πτητικές ενώσεις	35
1.30 Καφεΐνη	36
Αντικείμενο μελέτης	37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	38
Δείγματα	38
Αντιδραστήρια	38
Εξοπλισμός.....	39
Πλάνο αναλύσεων.....	40
2.1 Προσδιορισμός υγρασίας και πυκνότητας σε ψημένους κόκκους	42
2.2 Προσδιορισμός pH (ενεργός οξύτητα).....	42
2.3 Προσδιορισμός ογκομετρούμενης οξύτητας	43
2.4 Προσδιορισμός Φαινολικού Περιεχομένου.....	43
2.5 Προσδιορισμός Αντιοξειδωτικής Ικανότητας με τη μέθοδο DPPH	45
2.6 Προσδιορισμός Θολερότητας.....	47
2.7 Αντικειμενική Μέτρηση Χρώματος	47
2.8 Ταυτοποίηση πτητικών ενώσεων με την τεχνική μικροεκχύλισης στερεάς φάσης (SPME) σε συνδυασμό με αέρια χρωματογραφία - φασματομετρία μάζας (GC/MS). ..	48
2.9 Προσδιορισμός Τανινών	49
2.10 Προσδιορισμός Καφεΐνης.....	51
2.11 Οργανοληπτική αξιολόγηση	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ/ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	54
3.1 Προσδιορισμός υγρασίας και πυκνότητας σε ψημένους κόκκους	54
3.2 Προσδιορισμός pH (ενεργός οξύτητα).....	57
3.3 Προσδιορισμός ογκομετρούμενης οξύτητας	59
3.4 Προσδιορισμός φαινολικού περιεχομένου	61
3.5 Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής ικανότητας με τη μέθοδο DPPH	64
3.6 Προσδιορισμός θολερότητας.....	67
3.7 Αντικειμενική Μέτρηση Χρώματος	70
3.8 Ταυτοποίηση πτητικών ενώσεων με την τεχνική μικροεκχύλισης στερεάς φάσης (SPME) σε συνδυασμό με αέρια χρωματογραφία - φασματομετρία μάζας (GC/MS). ..	73
3.8Α Προφίλ πτητικών ενώσεων του ελληνικού καφέ- Ποιοτικοί Προσδιορισμοί	73
3.8.Β Ποσοτικοί προσδιορισμοί	74
3.9 Προσδιορισμός Ταννινών.....	83
3.10 Προσδιορισμός καφεΐνης	86
3.11 Οργανοληπτική αξιολόγηση	89
Συμπεράσματα & προτάσεις για μελλοντική μελέτη	95
Βιβλιογραφία.....	97

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διατριβή μελετήθηκε η επίδραση των διαδικασιών καβουρδίσματος στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της α' ύλης, του ροφήματος και του κατακαθιού του Ελληνικού καφέ. Χρησιμοποιήθηκαν δύο δείγματα ξανθού και σκούρου καφέ με σχεδόν εξάμηνη διαφορά παραγωγής για λόγους επαναληψιμότητας. Ο ξανθός καφές κατεργάζεται για λιγότερο χρόνο και σε χαμηλότερη θερμοκρασία από τον σκούρο καφέ. Αρχικά προσδιορίστηκε η υγρασία και η πυκνότητα των ωμών κόκκων καφέ και έπειτα των ψημένων πριν την άλεση και βρέθηκε ότι η υγρασία μειώνεται περίπου 6-7 φορές κατά το ψήσιμο ενώ η πυκνότητα κατά 1 φορά. Στη συνέχεια στον αλεσμένο καφέ και τα προϊόντα του, εξετάστηκε το pH, η ογκομετρούμενη οξύτητα, το φαινολικό περιεχόμενο, η αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο DPPH, η θολερότητα, το χρώμα και το πτητικό προφίλ με την τεχνική της μικροεκχύλισης δια της στερεάς φάσης (Solid Phase Microextraction-SPME) σε συνδυασμό με αέρια χρωματογραφία-φασματοσκοπία μαζών (GC-MS). Επίσης έγινε προσδιορισμός ταννινών και καφεΐνης και τέλος οργανοληπτική εξέταση στο ρόφημα όπου εξετάστηκε το άρωμα, η γεύση, η υφή, η επίγευση, η πικρότητα και η στυφότητα.

Και τα δύο ροφήματα παρουσίασαν παρόμοιες τιμές pH. Η α' ύλη του ξανθού καφέ βρέθηκε να είναι ελαφρώς πιο όξινη από την α' ύλη του σκούρου καφέ, το ίδιο και το κατακάθι.

Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η α' ύλη, το ρόφημα και το κατακάθι του ξανθού καφέ ήταν πλουσιότερα σε πολυφαινόλες σε σύγκριση με τα αντίστοιχα του σκούρου καφέ. Η αντιοξειδωτική ικανότητα ήταν μεγαλύτερη στο κατακάθι, ακολούθησε η α' ύλη και τελευταίο το ρόφημα. Επίσης παρατηρήθηκε ότι η αντιοξειδωτική ικανότητα ήταν μεγαλύτερη στα τρία προϊόντα του ξανθού καφέ από τα αντίστοιχα του σκούρου.

Από τη μέτρηση θολερότητας, έγινε αντιληπτό ότι το ρόφημα ξανθού καφέ εμφάνισε αρκετά περισσότερα αιωρούμενα και αδιάλυτα σωματίδια και αυτό επιβεβαιώθηκε και κατά τη γευστική αξιολόγηση, εφόσον στο υπερκείμενο υγρό παρατηρήθηκε η παρουσία κόκκων.

Από τη μέτρηση του χρώματος τεκμηριώθηκαν οι προσδιορισμοί «ξανθός» και «σκούρος».

Στην α' ύλη ξανθού καφέ απομονώθηκαν και ταυτοποιήθηκαν περίπου 54 πτητικές ενώσεις, ενώ στην α' ύλη σκούρου καφέ περίπου 85 πτητικές ενώσεις. Στο ρόφημα ξανθού και σκούρου καφέ απομονώθηκαν και ταυτοποιήθηκαν συνολικά 28 και 39 ενώσεις αντίστοιχα. Ο σκούρος καφές ο οποίος έχει ψηθεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες ήταν πιο πλούσιος αρωματικά. Επίσης όπως διαπιστώθηκε αριθμητικά, στο ρόφημα δε μεταφέρθηκαν όλες οι ενώσεις που υπήρχαν στην α' ύλη. Αυτό πιθανόν οφείλεται είτε στο γεγονός ότι δεν εκχυλίστηκαν όλες στο νερό, είτε στο γεγονός ότι κάποιες μπορεί να καταστράφηκαν κατά το βρασμό.

Τα αποτελέσματα για τον ξανθό καφέ έδειξαν ότι η α' ύλη ήταν πιο πλούσια σε τανίνες. Για τον σκούρο, πιο πλούσιο σε τανίνη ήταν το κατακάθι. Επίσης παρατηρήθηκε ότι η α' ύλη του ξανθού είναι πιο πλούσια από την α' ύλη του σκούρου, το ρόφημα του σκούρου πιο πλούσιο από το ρόφημα του ξανθού και το κατακάθι του σκούρου πιο πλούσιο από το κατακάθι του ξανθού.

Όσον αφορά την καφεΐνη, ο σκούρος καφές είχε μεγαλύτερη περιεκτικότητα από τον ξανθό. Αυτό το γεγονός παρατηρήθηκε στην α' ύλη, στο ρόφημα και στο κατακάθι.

Στην οργανοληπτική αξιολόγηση, η πλειοψηφία των συμμετεχόντων κατέδειξε ως 1^ο στην επιλογή τους τόσο βαθμολογικά όσο και ως πιθανότητα επιλογής, τον σκούρο καφέ.

ABSTRACT

The present thesis investigated the effect of roasting conditions on the physicochemical characteristics of the raw material, the beverage, and the coffee grounds of Greek coffee. Two batches of light-roasted and dark-roasted coffee, produced approximately six months apart, were analyzed to assess the repeatability of the results. Light-roasted coffee is processed for a shorter time and at a lower roasting temperature than dark-roasted coffee.

Initially, the moisture content and density of green coffee beans were determined, followed by the analysis of roasted beans prior to grinding. The results showed that moisture content decreased approximately six- to seven-fold during roasting, while density was reduced by approximately two-fold. Subsequently, ground coffee and its products (brew and spent coffee grounds) were analyzed for pH, titratable acidity, total phenolic content, antioxidant activity using the DPPH assay, turbidity, color, and volatile profile by Solid Phase Microextraction coupled with Gas Chromatography–Mass Spectrometry (SPME–GC–MS). In addition, tannin and caffeine contents were determined. Finally, a sensory evaluation of the coffee beverage was conducted, assessing aroma, flavor, mouthfeel, aftertaste, bitterness, and astringency.

Both coffee beverages exhibited similar pH values. However, the raw material of the light-roasted coffee was found to be slightly more acidic than that of the dark-roasted coffee, with a similar trend observed for the spent coffee grounds.

The results demonstrated that the raw material, beverage, and spent coffee grounds of the light-roasted coffee contained higher levels of total phenolic compounds than the corresponding products of the dark-roasted coffee. Antioxidant activity was highest in the spent coffee grounds, followed by the raw material, while the beverage exhibited the lowest antioxidant activity. Furthermore, all three products of the light-roasted coffee showed greater antioxidant activity than their dark-roasted counterparts.

Turbidity measurements revealed that the light-roasted coffee beverage contained a considerably higher amount of suspended and insoluble particles. This observation was confirmed during the sensory evaluation, as visible coffee particles were detected in the supernatant.

Color measurements objectively confirmed the classification of the coffee samples as light-roasted and dark-roasted.

Approximately 54 volatile compounds were isolated and identified in the raw material of the light-roasted coffee, whereas approximately 85 volatile compounds were identified in the raw material of the dark-roasted coffee. In the corresponding beverages, a total of 28 and 39 volatile compounds were identified in the light-roasted and dark-roasted coffee, respectively. The dark-roasted coffee, processed at higher roasting temperatures, exhibited a richer volatile aroma profile. Moreover, the results demonstrated that not all volatile compounds present in the raw material were transferred to the beverage. This may be attributed either to incomplete extraction into the brewing water or to the thermal degradation of certain compounds during boiling.

Regarding tannin content, the raw material of the light-roasted coffee exhibited the highest concentration, whereas in the dark-roasted coffee the highest tannin content was observed in the spent coffee grounds. In addition, the raw material of the light-roasted coffee contained higher tannin levels than that of the dark-roasted coffee, whereas the beverage and spent coffee grounds of the dark-roasted coffee contained higher tannin levels than the corresponding fractions of the light-roasted coffee.

Concerning caffeine, the dark-roasted coffee exhibited higher caffeine content than the light-roasted coffee in the raw material, the beverage, and the spent coffee grounds.

The sensory evaluation indicated that the majority of the participants preferred the dark-roasted coffee, ranking it first both in terms of overall sensory scores and purchase preference.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών «Αναλυτική Χημεία, Χημεία και Τεχνολογία Περιβάλλοντος και Τροφίμων» του Τμήματος Χημείας της Σχολής Θετικών επιστημών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Στις σπουδές μου ήταν καθοριστική η συμβολή των καθηγητών μου στα γνωστικά αντικείμενα που παρακολούθησα, στους οποίους οφείλω να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες. Ιδιαίτερα επιθυμώ να ευχαριστήσω την καθηγήτριά μου και επιβλέπουσα στην παρούσα διπλωματική εργασία, κα. Αναστασία Μπαδέκα, για την επιστημονική και συμβουλευτική καθοδήγηση που μου προσέφερε σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας με τις εύστοχες και πολύ εποικοδομητικές παρατηρήσεις της. Οφείλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς την Επικ. Καθηγήτρια Ιωάννα Κοσμά για την πολύτιμη βοήθειά της στη διεξαγωγή των πειραματικών δοκιμών όπως επίσης και προς τους συναδέλφους μου, για τη συνεργασία μας στο εργαστήριο. Παράλληλα εκφράζω θερμές ευχαριστίες προς τη διοίκηση της εταιρείας ΣΔΟΥΚΟΣ Α.Ε. για την παροχή των δειγμάτων συσκευασμένου ελληνικού καφέ.

Καφές - το αγαπημένο ποτό του πολιτισμένου κόσμου." - Thomas
Jefferson 1743 - 1826

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1.1 Το φυτό του καφέ



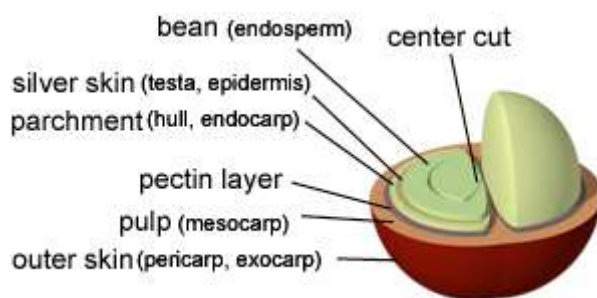
Εικόνα 1.1.1: Τμήμα φυτού Καφέα (*Coffea*).

Παρόλο που το προϊόν τελικής κατανάλωσης, ο καβουρδισμένος κόκκος καφέ, είναι ευρέως αναγνωρίσιμος, η πλειονότητα του κοινού ενδέχεται να μην είναι εξοικειωμένη με τη μητρική του μονάδα, το καρποφόρο φυτό του γένους *Coffea* από το οποίο προέρχεται. Κάθε δέντρο καλύπτεται με πράσινα, κηρώδη φύλλα που αναπτύσσονται το ένα απέναντι από το άλλο σε ζευγάρια. Οι καρποί του καφέ φυτρώνουν κατά μήκος των κλαδιών (Εικόνα 1.1.1). Τα καφεόδεντρα παρουσιάζουν πολυετή καρποφορία, με τα άνθη, τους άωρους και τους ώριμους καρπούς να συνυπάρχουν συχνά στο ίδιο φυτό. Ο καρπός απαιτεί περίπου ένα έτος για να ωριμάσει μετά την ανθοφορία, ενώ η πλήρης παραγωγική ικανότητα επιτυγχάνεται μετά από περίπου πέντε χρόνια βλαστικής ανάπτυξης. Αν και η μέση διάρκεια ζωής ενός καφεόδεντρου μπορεί να φτάσει τα 100 χρόνια, η μέγιστη παραγωγικότητά του εντοπίζεται συνήθως μεταξύ του 7^{ου} και του 20^{ου} έτους. Η παραγωγή καρπών επηρεάζεται σημαντικά από περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως το έδαφος, η θερμοκρασία και η υγρασία, ενώ η σωστή καλλιεργητική διαχείριση μπορεί να επεκτείνει την παραγωγική ζωή του φυτού και να αυξήσει την απόδοση. Η μέση ετήσια παραγωγή καρπών ανά δέντρο ανέρχεται περίπου σε 10 κιλά [1].

Το γένος *Coffea* αποτελεί τη βοτανική ταξινομική κατηγορία στην οποία εντάσσονται τα φυτά του καφέ. Αν και η οικογένεια *Rubiaceae*, στην οποία ανήκει το γένος *Coffea*, περιλαμβάνει πάνω από 6000 είδη, μόλις 25-100 είδη εντός του γένους *Coffea* παράγουν καρπούς που είναι εμπορικά αξιοποιήσιμοι για την παραγωγή καφέ.

Η επιστημονική περιγραφή του γένους και του είδους *C. arabica* -ενός από τα πιο σημαντικά είδη καφέ-πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον διάσημο Σουηδό βοτανολόγο Carl Linnaeus το 1753 στο έργο του "Species Plantarum". Η ταξινομική κατάταξη των ειδών του γένους *Coffea* αποτελεί αντικείμενο συνεχούς επιστημονικής διερεύνησης, λόγω της μεγάλης φαινοτυπικής ποικιλομορφίας που χαρακτηρίζει τα μέλη του [2].

1.2 Ανατομία καρπού (Cherry)



Εικόνα 1.2.1: Ανατομία καρπού καφέ.

Ο καρπός του καφέ, γνωστός και ως κεράσι καφέ, αποτελείται από διάφορα στρώματα, καθένα με διαφορετική σύσταση και λειτουργία. Από έξω προς τα μέσα, βρίσκεται:

- το εξωκάρπιο - εξωτερικό σαρκώδες περίβλημα που προστατεύει τον αναπτυσσόμενο σπόρο
- το μεσοκάρπιο - ένα στρώμα πολτού πλούσιο σε σάκχαρα και οργανικά οξέα, απαραίτητα για την ανάπτυξη του σπόρου
- το ενδοκάρπιο - ένα σκληρό ινώδες στρώμα που περιβάλλει άμεσα τους σπόρους και προσφέρει μηχανική προστασία και διατήρηση της υγρασίας
- τους σπόρους του καφέ - το τελικό προϊόν που καταναλώνουμε

Η κατανόηση της δομής του καρπού, είναι απαραίτητη για την κατανόηση των διαφόρων μεθόδων επεξεργασίας του καφέ και του πώς αυτές επηρεάζουν τη γεύση και την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Για παράδειγμα, η αφαίρεση του μεσοκαρπίου κατά την επεξεργασία επηρεάζει σημαντικά τη γεύση, διότι αφαιρούνται οι σάκχαρα και τα οξέα που βρίσκονται σε αυτό το στρώμα.

Στο εσωτερικό του καρπού, δίπλα-δίπλα, βρίσκονται οι δύο κόκκοι του καφέ, καθένας καλυμμένος ξεχωριστά από μια λεπτή μεμβράνη. Σε ορισμένες περιπτώσεις, αντί για δύο κόκκους, υπάρχει μόνο ένας. Αυτοί οι μονήρεις κόκκοι θεωρούνται από πολλούς ότι έχουν πιο γλυκιά και έντονη γεύση, επομένως μερικές φορές διαλέγονται με το χέρι για ειδική πώληση [3].

1.3 Ιστορία του καφέ

Γύρω από την ακριβή ιστορία της ανακάλυψης του καφέ επικρατεί σύγχυση. Σύμφωνα με τους Taylor et al. [4], τον 9^ο αιώνα τους ένας βοσκός αιγών με το όνομα Kaldi στην Αιθιοπία ανακάλυψε για πρώτη φορά την επίδραση των κόκκων καφέ. Ο Kaldi παρατήρησε ότι οι κατσίκες αφού έτρωγαν τους καρπούς του καφέ, έγιναν πολύ ενεργητικές. Ο Kaldi ανέφερε τα ευρήματά του στον ηγούμενο του τοπικού μοναστηριού, ο οποίος έφτιαξε ένα ποτό με τους καρπούς και διαπίστωσε ότι τον κρατούσε σε εγρήγορση τις πολλές ώρες της βραδινής προσευχής. Ο ηγούμενος μοιράστηκε την ανακάλυψή του με τους άλλους μοναχούς στο μοναστήρι και η φήμη του καφέ άρχισε να διαδίδεται. Στη συνέχεια η είδηση κινήθηκε προς τα ανατολικά και ο καφές έφτασε στην Αραβική χερσόνησο. Το όνομα του καφέ σύμφωνα με τους Kucukkomurler et al. [5], πιστεύεται ότι προέρχεται από το όνομα “Kaffa”, μια πόλη στην περιοχή Σόχα της Αιθιοπίας, που θεωρείται η πατρίδα του φυτού καφέ και το πρωτογενές κέντρο παραγωγής καφέ. Μία άλλη προσέγγιση είναι ότι η λέξη καφές προέρχεται από τα αραβικά μιας και οι καρποί του καφέ ονομάζονται “kahva” στα αραβικά. Η λέξη καφές (kahve) [6], στα τουρκικά χρησιμοποιείται για το ποτό που παρασκευάζεται με το βράσιμο των κόκκων αυτού του φυτού [7].



Εικόνα 1.3.1: Η ανακάλυψη της τονωτικής επίδρασης του καφέ τον 9ο αιώνα.

Η καλλιέργεια και το εμπόριο του καφέ ξεκίνησε στην Αραβική Χερσόνησο. Μέχρι τον 15^ο αιώνα, ο καφές καλλιεργούνταν στην περιοχή της Υεμένης της Αραβίας και τον 16ο αιώνα ήταν ήδη γνωστός στην Περσία, την Αίγυπτο, τη Συρία και την Τουρκία (Εικόνες 1.3.2-1.3.3). Ως το κέντρο του εμπορίου, η Υεμένη ήταν η κύρια πηγή από όπου οι χώρες προμηθεύονταν τους κόκκους του καφέ τους. Οι αρχές εκεί εξασφάλισαν αυστηρό έλεγχο της εκροής γόνιμων κόκκων για να διατηρήσουν το μονοπώλιο τους στην καλλιέργεια καφέ. Ωστόσο, ο Baba Budan, ένας σεβαστός άγιος των Σούφι από την Ινδία, διέκοψε αυτό το μονοπώλιο. Το 1670, κατά τη διάρκεια του προσκυνηματός του στη Μέκκα, κατάφερε να φέρει κρυφά γόνιμους κόκκους καφέ πίσω στην πατρίδα του, γεγονός που σηματοδότησε την έναρξη της καλλιέργειας στην Ινδία [8].



Εικόνα 1.3.2: Συγκομιδή καφέ.



Εικόνα 1.3.2: Διάδοση της φήμης του καφέ προς την Αραβική χερσόνησο.

Ο καφές έγινε αγαπημένη συνήθεια για οικιακή χρήση αλλά και σε πολλά δημόσια καφεενεία (Εικόνα 1.3.4), σε πόλεις σε όλη την Εγγύς Ανατολή. Τα καφεενεία έγιναν σημαντικό κέντρο για την ανταλλαγή πληροφοριών που συχνά αποκαλούνταν «Σχολές των Σοφών». Ταυτόχρονα, χιλιάδες προσκυνητές από όλο τον κόσμο, που

επισκέπτονται την ιερή πόλη της Μέκκας κάθε χρόνο, διέδωσαν τη φήμη του καφέ [9].



Εικόνα 1.3.4: Δημόσιο καφενείο στην Εγγύς Ανατολή.

1.4 Η εισαγωγή του καφέ στην Ευρώπη και την Αμερική

Οι Ευρωπαίοι ταξιδιώτες στην Εγγύς Ανατολή, έφεραν πίσω ιστορίες για ένα ασυνήθιστο ρόφημα. Μέχρι τον 17^ο αιώνα, ο καφές είχε φτάσει στην Ευρώπη και γινόταν δημοφιλής σε όλη την ήπειρο ωστόσο μερικοί άνθρωποι αντέδρασαν σε αυτό το νέο ρόφημα με καχυποψία. Ο κλήρος καταδίκασε τον καφέ όταν ήρθε στη Βενετία το 1615. Η διαμάχη ήταν τόσο μεγάλη που ζητήθηκε από τον Πάπα Κλήμη Η' να παρέμβει. Αποφάσισε να δοκιμάσει το ρόφημα μόνος του πριν πάρει την απόφαση και βρήκε το ποτό τόσο ικανοποιητικό που του έδωσε την παπική έγκριση. Τα καφενεία έγιναν γρήγορα κέντρα κοινωνικής δραστηριότητας και επικοινωνίας στις μεγάλες πόλεις της Ευρώπης και ο καφές άρχισε να αντικαθιστά τα κοινά ροφήματα της εποχής - μύρα και κρασί. Όσοι έπιναν καφέ αντί για αλκοόλ, διατηρούνταν σε εγρήγορση και η ποιότητα της εργασίας τους βελτιώθηκε σημαντικά [10].

Την εισαγωγή στην Αμερική πραγματοποίησε ο βασιλιάς Λουδοβίκος ΙΔ' της Γαλλίας με ένα δενδρύλλιο στη Μαρτινίκα. Από αυτό προήλθαν εκατομμύρια καφεόδεντρα που εξαπλώθηκαν στην Καραϊβική και την Αμερική [11].

1.5 Τα είδη *C. arabica* και *C. robusta*

Τα *C. arabica* και *C. robusta* αποτελούν τα δύο κυρίαρχα είδη καφέ στον κόσμο, ωστόσο διαφέρουν σημαντικά όσον αφορά τη γεύση, το αρωματικό τους προφίλ και τη σύνθεσή τους. Οι διαφορές στις ιδιότητες των δύο ειδών οφείλονται σε συνδυασμό παραγόντων, όπως το προφίλ λιπιδίων και σακχάρων, το γενετικό υπόβαθρο, οι συνθήκες καλλιέργειας, η διαδικασία επεξεργασίας και ο τρόπος καβουρδίσματος. Η *C. arabica* χρησιμοποιείται ευρέως στην παραγωγή καφέ υψηλής ποιότητας, όπως οι μονοποικιλιακοί καφέδες και τα ειδικά χαρμάνια, ενώ η *C. robusta* χρησιμοποιείται συχνά για να προσθέσει ένταση και σώμα σε χαρμάνια και σε στιγμιαίο καφέ.

Οι κόκκοι *C. arabica*, προέρχονται από φυτά με ύψος που φτάνει 2,5m έως 4,5m [12], καλλιεργούνται σε υψηλότερα υψόμετρα (600-2200 μέτρα), σε πιο εύκρατες κλιματικές συνθήκες (15-24°C) και σε περιοχές με υψηλή ετήσια βροχόπτωση (1200-2200 mm). Χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη οξύτητα, γλυκύτητα και από ένα πλούσιο αρωματικό προφίλ με νότες φρούτων, λουλουδιών και σοκολάτας [13]. Αυτά τα χαρακτηριστικά οφείλονται στη χημική σύσταση, η οποία περιλαμβάνει υψηλότερα επίπεδα οργανικών οξέων και σακχάρων.

Οι περισσότεροι παραδοσιακές ποικιλίες του είδους *C. arabica* είναι η *Typica* και η *Bourbon*, από τους πληθυσμούς της Υεμένης. Ορισμένες μεταλλαγές τους όπως η *Caturra*, θεωρούνται εξαιρετικά παράγωγα και παρουσιάζουν υψηλή ποιότητα. Από την άλλη πλευρά, καφέδες από περιοχές της Αιθιοπίας και του Σουδάν, όπως η *Geisha*, θεωρούνται άγριες και επευθύνονται σε εξειδικευμένες αγορές λόγω της χαμηλής παραγωγικότητάς τους σύμφωνα με τους Herrera et al. [14]. Χαρακτηριστικά των ποικιλιών δίνονται παρακάτω.



Εικόνα 1.5.1: Φυτό του είδους *C. arabica*.

- **Anacafe 14:** Ποικιλία από τη Γουατεμάλα. Ξεχωρίζει για την υψηλή παραγωγικότητα και την καλή ποιότητα σε υψόμετρα άνω των 1.300 μ.
- **Bourbon:** Εξαιρετική ποιότητα κυπέλλου. Προσφέρει γλυκές νότες σοκολάτας και βουτύρου με διακριτικές φρουτώδεις αποχρώσεις, αν και έχει σχετικά χαμηλή παραγωγικότητα [15].
- **Catuai:** Υψηλής παραγωγικότητας. Γλυκό προφίλ με νότες σοκολάτας, καραμέλας, μελιού, αμυγδάλου και ήπιων μπαχαρικών
- **Caturra:** Βραζιλιάνικη ποικιλία υψηλής παραγωγικότητας. Χαρακτηρίζεται από γεύσεις σοκολάτας, καραμέλας, μελιού και αμυγδάλου, με διακριτικές νότες μπαχαρικών.
- **Geisha (Panama):** Έντονα αρώματα γιασεμιού και λουλουδιών, με ελαφρύ σώμα και γεύσεις μελιού, εσπεριδοειδών και τροπικών φρούτων. Ξεχωρίζει για την ισορροπημένη οξύτητα και την εξαιρετική ποιότητα κυπέλλου.
- **Typica:** Γλυκιά γεύση και καλή ποιότητα κυπέλλου. Χαμηλή παραγωγικότητα και την αυξημένη ευαισθησία σε ασθένειες [16].

Το φυτό *C. robusta* είναι λίγο πιο ψηλό (4,5m - 6,5m), καλλιεργείται σε χαμηλότερα υψόμετρα (0m - 800m), θερμότερες περιοχές (18°C - 36°C) και απαιτεί μεγαλύτερη ετήσια βροχόπτωση (2200mm - 3000mm). Είναι πιο ανθεκτικό στα έντομα και φτάνει σε μικρότερο χρονικό διάστημα σε πλήρη παραγωγή, με διπλάσια απόδοση ανά φυτό συγκριτικά με το φυτό *C. arabica*. Οι κόκκοι *C. robusta* έχουν πιο έντονη πικράδα, στυφότητα και υψηλότερη περιεκτικότητα σε καφεΐνη που αποτελεί έναν φυσικό αμυντικό μηχανισμό του φυτού ενάντια σε παράσιτα και ασθένειες [17].

Οι στρατηγικές αναπαραγωγής της *C. robusta* καθορίζονται από την αυτοσυμβατότητα του είδους. Μερικές από τις πιο διαδεδομένες ποικιλίες του εμπορίου παραθέτονται παρακάτω:



Εικόνα 1.5.2: Φυτό του είδους *C. robusta*.

- **Ruiru 11:** Ποικιλία με καλή ανθεκτικότητα στις ασθένειες και υψηλή παραγωγικότητα. Χαρακτηρίζεται από ξηρό, οινώδες προφίλ με νότες λεμονιού, κίτρου, πιπεριού και μούρων.
- **Catimor:** Πικάντικη γεύση σαν μαύρο πιπέρι [18].

Διαφοροποιήσεις παρατηρούνται στην κατασκευαστική δομή των κόκκων και στο σχήμα. Οι κόκκοι *C. arabica* είναι πιο μεγάλοι και με ελλειπτικό σχήμα σε σχέση με τους κόκκους *C. robusta*. Οι διαφορές αυτές εξηγούν, γιατί έχουν διαφορετική συμπεριφορά στις ίδιες συνθήκες ψησίματος. (Εικόνα 1.5.3)



Εικόνα 1.5.3: Δομικά χαρακτηριστικά κόκκων *C. arabica* (αριστερά) και *C. robusta* (δεξιά).

Στον πίνακα 1.5.1 παρουσιάζονται συνοπτικά οι διαφορές των 2 ειδών.

Πίνακας 1.5.1 : Διαφορές ειδών *C. arabica* και *C. robusta*

<i>C. arabica</i>	<i>C. robusta</i>
Μικρότερη περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά	Υψηλότερη απόδοση σε εκχυλίσμα στερεά
Ευάλωτος σε παράσιτα και ασθένειες	Ανθεκτικός σε παράσιτα και ασθένειες
Μικρότερη περιεκτικότητα σε καφεΐνη	Διπλάσια περιεκτικότητα σε καφεΐνη
Ανώτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και ποιότητα ροφήματος	Φθηνότερος
Μεγαλύτερο μέγεθος φασολιού	Μικρότερο μέγεθος φασολιού

Οι συνδιαστικές οργανοληπτικές ιδιότητες των *C. arabica* και *C. robusta* οδηγούν στη δημιουργία χαρμανιών. Σε ένα χαρμάνι η αναλογία του *C. arabica* πρέπει να είναι μεγαλύτερη από ότι του *C. robusta*.

1.6 Το είδος *Coffea liberica* (*C. liberica*)

Αντιπροσωπεύοντας λιγότερο από το 1% της παγκόσμιας παραγωγής, η *Coffea liberica* (*C. liberica*) είναι το λιγότερο γνωστό είδος καφέ. Τα δέντρα της *C. liberica* είναι ψηλότερα από τα αντίστοιχα των *C. arabica* και *C. robusta* και οι καρποί του καφέ που παράγονται είναι ασύμμετροι και μεγαλύτεροι. Τα φυτά ευδοκούν σε τροπικά κλίματα και όντας αρκετά ανθεκτικά, μπορούν να επιβιώσουν και χωρίς συστηματική καλλιέργεια. Η καταστροφή των καφεόδεντρων *C. arabica* (και ο παρολίγον αφανισμός τους) από έναν μύκητα που πρόσβαλε τις καφεοφυτείες των Φιλιππίνων και της Ινδονησίας στα τέλη του 19ου στάθηκε η αφορμή για την εισαγωγή φυτών *C. liberica*. Κατά το καβούρδισμα και την εκχύλιση, οι κόκκοι του Λιβεριανού καφέ προικίζονται με αρώματα γης και καπνού, ξηρών καρπών και πικρής σοκολάτας γεγονός που του προσφέρει έντονο άρωμα του και βαριά γεύση- ασυνήθιστη για τους δυτικούς ουρανίσκους. Παρόλη την έντονη γεύση του και τη φήμη του ως «βαρύς» καφές, η περιεκτικότητά του σε καφεΐνη είναι χαμηλότερη από αυτή που συναντάμε στους κόκκους *C. robusta* [19].

1.7 Καφέδες *Rio Minas* και *Uganda*

Rio Minas

100% Arabica από την περιοχή Minas στη Βραζιλία (800–1000 μ.) με ήπια, ισορροπημένη και γλυκιά γεύση, νότες καρυδιού και αμυγδάλου, κατάλληλος και για σκούρο καβούρδισμα [20].

Uganda

Καλλιεργείται κυρίως από μικροπαραγωγούς σε σκιά, με φυσικές μεθόδους. Ξεχωρίζει για τον φρουτώδη, ελαφρύ χαρακτήρα του με νότες εσπεριδοειδών και κρασιού [21].

1.8 Φύτευση καφεόδεντρων

Ο σπόρος του καφεόδεντρου, αν δεν επεξεργαστεί, μπορεί να φυτευτεί και να αναπτυχθεί σε νέο φυτό. Τα φυτά μεγαλώνουν αρχικά σε σκιασμένα φυτώρια και φυτεύονται σε μόνιμη θέση κατά την υγρή περίοδο για καλύτερη ανάπτυξη [22] [23].



Εικόνα 1.8.1: Φύτευση καφέ.

1.9 Συγκομιδή καρπών

Ανάλογα με την ποικιλία, χρειάζονται περίπου 3 με 4 χρόνια για να καρποφορήσουν τα νεοφυτευμένα καφεόδεντρα. Ο καρπός αποκτά φωτεινό, βαθύ κόκκινο χρώμα όταν είναι ώριμος και έτοιμος για συγκομιδή. Στις περισσότερες χώρες, η συγκομιδή της καλλιέργειας γίνεται με το χέρι, αν και σε μέρη όπως η Βραζιλία όπου οι εκτάσεις είναι επίπεδες και απέραντες, η διαδικασία έχει μηχανοποιηθεί [24]. Υπάρχει δυνατότητα:

- Ολικής αφαίρεσης των καρπών από το δένδρο αναξερτήτου βαθμού ωρίμανσης που ακολουθείται από διαλογή
- Επιλεκτικής συλλογής μόνο των ώριμων καρπών [25].



Εικόνα 1.9.1: Συγκομιδή καρπών καφέ.

1.10 Επεξεργασία καρπών

Αφού συλλεχθούν οι καρποί καφέ, η επεξεργασία πρέπει να ξεκινήσει όσο το δυνατόν γρηγορότερα για να αποφευχθεί η αλλοίωση. Αρχικά γίνεται διαλογή. Ακολούθως, ανάλογα με την τοποθεσία και τους τοπικούς πόρους, η επεξεργασία του καφέ γίνεται με έναν από τους δύο τρόπους:

- **Ξηρή μέθοδος**, που χρησιμοποιείται σε χώρες όπου οι υδάτινοι πόροι είναι περιορισμένοι. Οι φρεσκοκομμένοι καρποί απλώνονται σε τεράστιες επιφάνειες για να στεγνώσουν στον ήλιο, γυρίζονται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και σκεπάζονται τη νύχτα ή κατά τη διάρκεια της βροχής. Η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου η περιεκτικότητα σε υγρασία πέσει στο 11%.
- **Υγρή μέθοδος**, κατά την οποία οι φρεσκοκομμένοι καρποί υφίστανται μηχανικό διαχωρισμό φλούδας. Στη συνέχεια οι καρποί χωρίζονται κατά βάρος και περνούν από κανάλια νερού. Οι ελαφρύτεροι επιπλέουν στην κορυφή, ενώ οι βαρύτεροι βυθίζονται στο κάτω μέρος. Διαχωρίζονται κατά μέγεθος και μεταφέρονται σε δεξαμενές ζύμωσης γεμάτες νερό. Ανάλογα με έναν συνδυασμό παραγόντων - όπως η κατάσταση των καρπών, το κλίμα και το υψόμετρο - παραμένουν στις δεξαμενές από 12 έως 48 ώρες για να διαλυθεί το λείο στρώμα του βλεννογόνου που ονομάζεται παρέγχυμα με φυσικά ένζυμα. Όταν ολοκληρωθεί η ζύμωση, οι καρποί ξεπλένονται περνώντας από επιπλέον κανάλια νερού και ξηραίνονται [26].



Εικόνα 1.10.1: Διαλογή κόκκων.



Εικόνα 1.10.2: Ξήρανση κόκκων καφέ.

1.11 Αποφλοιώση των κόκκων

Μηχανήματα αποφλοιώσης αφαιρούν το ενδοκάρπιο. Το ξεφλούδισμα του καφέ αναφέρεται στην αφαίρεση ολόκληρου του αποξηραμένου φλοιού – του εξωκάρπιου, του μεσοκάρπιου και του ενδοκαρπίου - των αποξηραμένων κόκκων. Η ταξινόμηση γίνεται κατά μέγεθος και βάρος, ακολουθεί έλεγχος για χρωματικές ή άλλες ατέλειες και οι ελαττωματικοί καρποί αφαιρούνται. Η ταξινόμηση γίνεται με τη χρήση αέρα για τον διαχωρισμό των βαρύτερων από τους ελαφρύτερους κόκκους.



Εικόνα 1.11.1: Αποφλοιώση κόκκων καφέ.

1.12 Συσκευασία πράσινων κόκκων σε σιζάλ

Οι αποφλοιωμένοι κόκκοι (πράσινο καφέ) τοποθετούνται σε σιζάλ (σάκοι από ανθεκτικές φυτικές ίνες που προέρχεται από τα φύλλα του φυτού *Agave sisalana* και

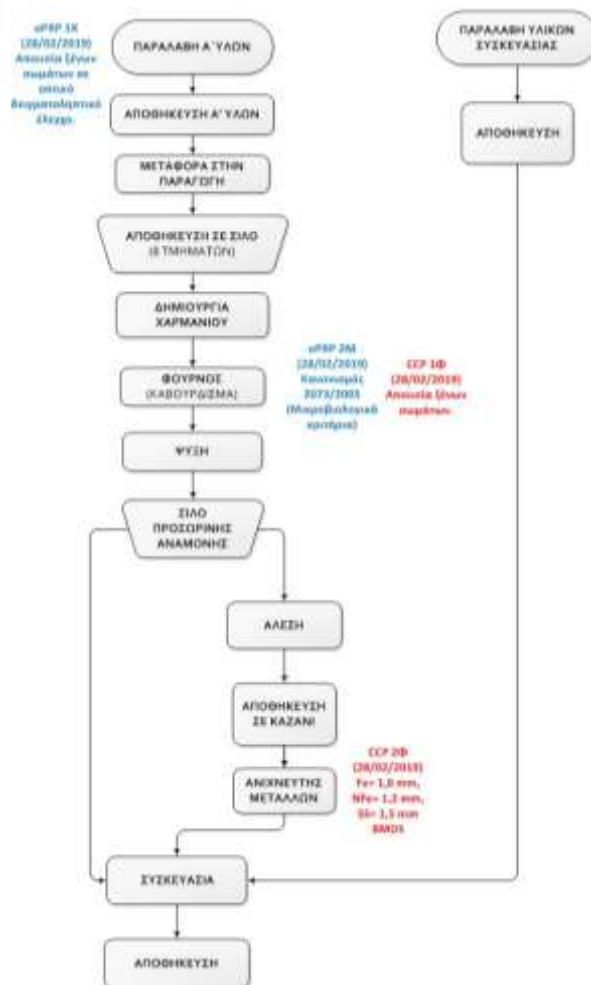
χρησιμοποιούνται και για μεταφορά αγροτικών προϊόντων) και φορτώνονται σε πλοία προς διανομή.



Εικόνα 1.12.1: Συσκευασία των κόκκων σε σάκους.

1.13 Παραγωγή Ελληνικού καφέ σε βιομηχανική κλίμακα

Στο διάγραμμα ροής αποτυπώνονται αναλυτικά όλα τα επιμέρους στάδια της παραγωγικής διαδικασίας του καφέ και δηλώνονται τα κρίσιμα σημεία ελέγχου και τα λειτουργικά προεπαιτούμενα προγράμματα [27].



Σχήμα 1.13.1: Διάγραμμα ροής παραγωγής Ελληνικού καφέ.

1.14 Προμήθεια & Αποθήκευση α' υλών

Κατά το στάδιο της παραγγελίας, ο υπεύθυνος αποθήκης φροντίζει να παραλαμβάνονται όλα τα απαραίτητα συνοδευτικά πιστοποιητικά αναλύσεων και τεχνικές προδιαγραφές των υλικών προκειμένου να αξιολογηθούν από το τμήμα ποιότητας και να αποφασιστεί η έγκριση ή μη της προμήθειας.

Κατά την παραλαβή, το όχημα που μεταφέρει τον καφέ ελέγχεται ως προς την καθαριότητα. Επίσης οι σάκοι του καφέ ελέγχονται ενδελεχώς ως προς την καθαριότητα, ανοίγονται δειγματοληπτικά και αξιολογούνται ως προς την εμφάνιση.

Ο καφές αποθηκεύεται σε ξεχωριστό σημείο στην αποθήκη διότι απορροφά οσμές και ενδέχεται να αλλοιωθούν τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά.

1.15 Καβούρδισμα Καφέ

Ο ωμός καφές προωθείται στη γραμμή παραγωγής και αποσυσκευάζεται. Μέσω κλειστού κυκλώματος αερομεταφοράς, που περιλαμβάνει κόσκινα για δέσμευση ξένων σωμάτων, οδηγείται σε σιλό προσωρινής αναμονής.

Βάσει συνταγής, επιλέγονται αυτόματα οι αντίστοιχες ποικιλίες καφέ στην ποσότητα που ορίζεται από το επιλεγμένο πρόγραμμα και προωθούνται από τις θέσεις του σιλό, στον φούρνο αέρα. Κατά το ψήσιμο, ο καφές αναδεύεται συνεχώς με αυτοματοποιημένο – ενσωματωμένο στο φούρνο όργανο για να μη καεί. Το πρόγραμμα θερμικής επεξεργασίας, παρακολουθείται διαρκώς από εκπαιδευμένο προσωπικό.

Το καβούρδισμα [28] είναι μια περίπλοκη διαδικασία, όπου πολλές χημικές αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα όπως αντίδραση μη ενζυμικής καστανώσης Maillard, η αποικοδόμηση πρωτεϊνών κατά Strecker όπως και η αποδόμηση των υδατανθράκων και των χλωρογενικών οξέων. Οι κόκκοι του καφέ αναδεύονται συνεχώς και θερμαίνονται. Στους 100°C, οι κόκκοι από πράσινοι μετατρέπονται σε κίτρινους και μεγάλο ποσοστό της υγρασίας τους εξατμίζεται (Εικόνα 1.15.1). Στους 150–160 °C, οι κόκκοι έχουν αποκτήσει ένα ανοιχτό κανελί χρώμα και ξεκινούν να παράγουν το γνωστό άρωμα. Όσο η θερμοκρασία ανεβαίνει, το χρώμα σκουραίνει και οι κόκκοι αποκτούν έντονο καστανό χρώμα λόγω της καραμελοποίησης των σακχάρων, χάνουν το 20% του βάρους και κερδίζουν όγκο (50-70 %) ενώ περιεκτικότητά τους σε καφεΐνη δεν μεταβάλλεται [29]. Το ειδικό βάρος τους μειώνεται από 1,126-1,272 σε 0,570-0,694.

Υπάρχουν 4 σημαντικές φάσεις κατά το καβούρδισμα:

- Αμαύρωση: Στους 50°C, μετουσιώνονται οι πρωτεΐνες και το νερό εξατμίζεται. Η αμαύρωση συμβαίνει πάνω από τους 100 °C εξαιτίας της καύσης των οργανικών ενώσεων. Παραγωγή μυρμηκικού οξέος, καταστροφή χλωρογενικού και ισοχλωρογενικού οξέων. Έναρξη δημιουργίας αρωμάτων.
- Διόγκωση: Κοντά στους 150 °C, λόγω απελευθέρωσης αέριων προϊόντων (H₂O, CO₂, CO), οι κόκκοι διογκώνονται.
- Διάσπαση: Σε θερμοκρασίες 180-200 °C, το περίβλημα των κόκκων του καφέ σπάει και παρατηρείται ράγισμα κατά μήκος της εγκοπής. Την ίδια στιγμή παράγεται καπνός και απελευθερώνεται το άρωμα του καφέ.

- Πλήρες ψήσιμο: Κατά τη διάρκεια, η περιεκτικότητα σε υγρασία των κόκκων ελαττώνεται σε επίπεδο 1,5 -3,5%.

Κατά τη διαδικασία του καβουρδίσματος, τα σάκχαρα καραμελοποιούνται, ορισμένα αμινοξέα καταστρέφονται ενώ άλλα παράγονται σε μεγαλύτερες ποσότητες. Τα λιπίδια επίσης υφίστανται αλλαγές στη σύστασή τους, συμβάινει μείωση της περιεκτικότητας σε τριγλυκερίδια και αύξηση του ασαπωνοποίητου κλάσματος [30]. Η άμεση ψύξη μετά το καβούρδισμα είναι απαραίτητη για να σταματήσει η καύση των κόκκων λόγω των υψηλών θερμοκρασιών.

Ένας καλά καβουρδισμένος κόκκος έχει ένα ομοιόμορφο, σταθερό χρώμα σε όλη την επιφάνειά του. Η εμφάνιση του καφέ αποτελεί ένα σημαντικό κριτήριο για την ποιότητά του. Ένας καφές κακής ποιότητας μπορεί να έχει ανομοιόμορφο χρώμα ή να είναι υγρός. Αν και οι σύγχρονες μηχανές καβουρδίσματος έχουν αυτοματοποιήσει μεγάλο μέρος της διαδικασίας, η τελική απόφαση για το πότε είναι έτοιμος ο καφές εξαρτάται από την ανθρώπινη εμπειρία. Παρόλο που η τεχνολογία έχει βελτιώσει σημαντικά το καβούρδισμα, η ανθρώπινη παρέμβαση εξακολουθεί να παίζει καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη του τέλει αποτελέσματος [31].

Ακόμα και μετά το καβούρδισμα, οι κόκκοι καφέ συνεχίζουν να απελευθερώνουν αέριο διοξείδιο του άνθρακα [32]. Το διοξείδιο του άνθρακα απομακρύνει το οξυγόνο και δημιουργεί προστατευτική ατμόσφαιρα. Όσο πιο σκούρο είναι το καβούρδισμα, τόσο πιο γρήγορα ο καφές, απελευθερώνει το διοξείδιο του άνθρακα που έχει παγιδευτεί μέσα του. Το χρώμα του καφέ μετά το καβούρδισμα αποκαλύπτει τη διάρκεια της διαδικασίας και το προφίλ γεύσης που θα έχει το τελικό προϊόν. Οι ανοιχτόχρωμοι καφέδες τείνουν να είναι πιο όξινοι, ενώ οι σκουρόχρωμοι πιο πικροί [33].



Εικόνα 1.15.1: Μεταβολή χρωμάτων του καφέ κατά το ψήσιμο.

1.15.1 Ξανθό καβούρδισμα

Ο ελαφρώς καβουρδισμένος καφές (ξανθός καφές) χαρακτηρίζεται από το ανοιχτό καφέ χρώμα, έλλειψη λαδιού στην επιφάνεια του κόκκου και υψηλή οξύτητα. Ένα βασικό πλεονέκτημα είναι ότι αναδεικνύει τα μοναδικά γευστικά χαρακτηριστικά των κόκκων. Επειδή ο καφές δεν ψήνεται για μεγάλο χρονικό διάστημα σε υψηλή θερμοκρασία, οι κόκκοι διατηρούν περισσότερες από τις φυσικές γευστικές τους ενώσεις. Ο ελαφρύς καβουρδισμένος καφές, έχει κερδίσει έδαφος τα τελευταία χρόνια και ως μια πιο υγιεινή επιλογή μιας και η χαμηλότερη θερμική επεξεργασία διατηρεί μεγαλύτερη ποσότητα αντιοξειδωτικών, ενώσεων που συμβάλλουν στην προστασία των κυττάρων από τις ελεύθερες ρίζες. Επιπλέον, η υψηλότερη οξύτητα που χαρακτηρίζει τους ελαφριά καβουρδισμένους καφέδες, συμβάλλει στη βελτίωση της πέψης [34].

1.15.2 Σκούρο καβούρδισμα

Ο καφές που υποβάλλεται σε σκούρο καβούρδισμα, αποκτά πιο σκούρο χρώμα, λιπαρή επιφάνεια και έντονη γεύση. Η υψηλή θερμοκρασία για μεγαλύτερη διάρκεια, απελευθερώνει τα έλαια και τα αρώματα των κόκκων. Οι νότες σοκολάτας, καραμέλας και καπνού που αναδεικνύονται κατά το καβούρδισμα, ικανοποιούν τους λάτρεις του δυνατού καφέ. Επιπλέον, ο σκούρος καφές έχει συνήθως χαμηλότερη οξύτητα σε σύγκριση με τους ελαφρύτερους καφέδες- μία ιδιότητα που τον καθιστά ιδανική επιλογή για όσους είναι ευαίσθητοι στα όξινα ροφήματα ή αντιμετωπίζουν πεπτικά προβλήματα. Το καβούρδισμα αποτελεί μια λεπτή ισορροπία, ένα υπερβολικά σκούρο καβούρδισμα μπορεί να οδηγήσει σε πικρή και καμένη γεύση, ενώ ένα σωστά εκτελεσμένο καβούρδισμα αναδεικνύει την πολυπλοκότητα των αρωμάτων του καφέ. Για να επιτευχθεί ένα ισορροπημένο αποτέλεσμα, οι ειδικοί προτείνουν μια θερμοκρασία καβουρδίσματος γύρω στους 220°C. Αυτή η θερμοκρασία επιτρέπει την ανάπτυξη των επιθυμητών αρωμάτων, χωρίς να καταστρέφει τα ευαίσθητα συστατικά του καφέ [35].

1.16 Άλεση καφέ

Με την ολοκλήρωση του καβουρδίσματος, οι κόκκοι προωθούνται μέσω κλειστού δικτύου αερομεταφοράς για άλεση. Γενικά, όσο πιο λεπτό είναι το άλεσμα, τόσο πιο γρήγορα πρέπει να παρασκευαστεί ο καφές για να διατηρήσει τα αρώματά του. Η ελλάτωση του μεγέθους των κόκκων, αυξάνει την επιφάνεια επαφής του καφέ, και η απώλεια των πτητικών ενώσεων γίνεται ταχύτερη [36].

1.17 Συσκευασία & Αποθήκευση Καφέ

Ο τριμμένος καφές προωθείται για συσκευασία στις ειδικά διαμορφωμένες μηχανές συσκευασίας και συσκευάζεται σε προστατευτική ατμόσφαιρα αζώτου προκειμένου να περιοριστεί η επαφή με το οξυγόνο που οδηγεί σε αντιδράσεις οξείδωσης. Τα φιλμ συσκευασίας του καφέ είναι αδιαφανή για να εμποδίζεται η επαφή με το ηλιακό φως και πολυστρωματικά (PET / MetPET / PE) για υψηλότερο φραγμό στις περιβαλλοντικές συνθήκες [37].

1.18 Τρόπος παρασκευής Ελληνικού καφέ

Ο συγκεκριμένος καφές παρασκευάζεται με βράσιμο σε παραδοσιακά χάλκινα σκεύη [38]. Ο καφές είναι πιο αρωματικός και πιο πηχτός σε σύγκριση με άλλους. Επιπλέον, ο συγκεκριμένος καφές δε φιλτράρεται από το κατακάθι, το οποίο παραμένει στον πάτο του φλιτζανιού μετά την παρασκευή. Μόλις το μείγμα αρχίσει να αφρίζει και πριν πάρει βράση, αφαιρείται από τη φωτιά. Μπορεί να ξαναθερμανθεί για λίγο ακόμη δύο φορές για να αυξηθεί ο επιθυμητός αφρός στην επιφάνειά του που ανομάζεται καϊμάκι [39]. Περίπου το ένα τρίτο του καφέ διανέμεται σε μεμονωμένα φλιτζάνια, η υπόλοιπη ποσότητα επιστρέφεται στη φωτιά και μοιράζεται στα φλιτζάνια μόλις πάρει εκ νέου βράση. Με το που αρχίσει ο καφές να φουσκώνει, πρέπει να απομακρύνεται από τη φωτιά. Αν αφεθεί πολλή παραπάνω ώρα το μπρίκι στη φωτιά, οι πολλές βράσεις θα καταστρέψουν το καϊμάκι, θα αυξήσουν το κατακάθι και θα κάνουν τον καφέ λιγότερο αρωματικό. Το καϊμάκι περιέχει τα έλαια του καφέ, έτσι όσο καλύτερης ποιότητας είναι ο καφές, τόσο περισσότερα έλαια θα περιέχει.

Το μπρίκι που χρησιμοποιείται, διαδραματίζει καταλυτικό ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα. Πρέπει να επιλέγεται ένα μικρό, μπρούτζινο μπρίκι κατά προτίμηση

μπακιρένιο, που θα έχει στενό λαιμό και θα ανοίγει προς τα κάτω. Αυτό το σκεύος πετυχαίνει την ισομερή διανομή της θερμότητας και ένα ομοιόμορφο ψήσιμο [40].

Σε πρώτη φάση τα υλικά αφήνονται μέσα στο νερό που έχει γίνει χλιαρό να «ξεκουραστούν» και να βυθιστούν. Όταν παρατηρηθεί διήθηση των κόκκων μπορεί να ξεκινήσει το ανακάτεμα. Ιδανικά θα πρέπει να ακολουθείται μια κυκλική διαδρομή, δίνοντας περιστασιακά έμφαση στο κέντρο. Η θερμότητα διανέμεται αρχικά στα τοιχώματα, ύστερα στον πάτο και στην συνέχεια ανεβαίνει από το κέντρο προς τα πάνω. Άσκοπες, κοφτές και κατακόρυφες κινήσεις, έχουν ως αποτέλεσμα ο καφές να χάνει μερικώς το άρωμά του και να καταβυθίζεται το καϊμάκι του [41].

1.19 Ο ρόλος του νερού

Ένα σημαντικό στοιχείο στην παρασκευή του καφέ είναι το νερό. Αν και δεν δίνεται πολλή σημασία στη θερμοκρασία του, αποτελεί σημαντικό παράγοντα που καθορίζει την ποιότητα του ροφήματος, διότι εάν είναι πολύ ζεστό οι κόκκοι του καφέ κατακάθονται αμέσως. Πρέπει ιδανικά να είναι σε θερμοκρασία δωματίου. Όσον αφορά στην ποσότητά του, αναλόγως με τα φλιτζάνια που θα παρασκευαστούν, απαιτούνται αντίστοιχα φλιτζάνια νερού. Μόλις το νερό αρχίζει και ζεσταίνεται προστίθεται, ο καφές. Τα άλατα του νερού μπορούν να αλλοιώσουν την ποιότητα του τελικού ροφήματος, ένα νερό με μεγάλη σκληρότητα επηρεάζει την ποιότητα του καφέ δίνοντας μια όξινη και μεταλλική γεύση [42].

1.20 Οργανοληπτική δοκιμή του καφέ

Μετά το τέλος του καβουρδίσματος και της άλεσης ο καφές υπόκειται σε ποιοτικό έλεγχο για τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του.

- Αρχικά, ο γευσιγνώστης αξιολογεί τους κόκκους για τη συνολική οπτική τους ποιότητα. Παρασκευάζεται ο καφές με νερό και ο δοκιμαστής μυρίζει τον καφέ για να βιώσει το άρωμά του, ένα ουσιαστικό βήμα για να κρίνει την ποιότητα του καφέ.
- Αφού αφήσει τον καφέ να ξεκουραστεί για αρκετά λεπτά, ο δοκιμαστής σπάει την κρούστα σπρώχνοντας στην άκρη τα κατακάθια στο πάνω μέρος του φλιτζανιού. Στη συνέχεια μυρίζει τον καφέ ξανά πριν ξεκινήσει τη δοκιμή.

- Για να δοκιμάσει τον καφέ, ο γευστιγνώστης ρουφάει με μια γρήγορη εισπνοή. Ο στόχος είναι να κατανεμηθεί ομοιόμορφα ο καφές πάνω από τους γευστικούς κάλυκες και στη συνέχεια να παραμείνει λίγα δευτερόλεπτα στη γλώσσα.

1.21 Αντίδραση Maillard & Αποικοδόμηση Strecker

Η εν λόγω αντίδραση παίζει σημαντικό ρόλο στη βελτίωση της όψης και του αρώματος του καφέ κατά τη διάρκεια του καβουρδίσματος. Λαμβάνει χώρα μεταξύ αναγόντων σακχάρων και αμινοξέων και είναι μεγάλης σημασίας για την ποιότητα του προϊόντος. Η αντίδραση προάγει τη δημιουργία ακρυλαμιδίου – μία τοξική ένωση που έχει ενοχοποιηθεί ως καρκινογόνα, μπορεί να δημιουργήσει αντιοξειδωτικά συστατικά και επιδρά σημαντικά στο άρωμα των τροφίμων [43].

Η αντίδραση Maillard εξελίσσεται σε τρία στάδια. Πρώτα το ανάγον σάκχαρο αντιδρά με αμινοξύ και σχηματίζει βάση Schiff και προϊόντα Amadori ή Heyns. Έπειτα, τα προϊόντα διασπώνται και μετατρέπονται σε καρβονυλικές ενώσεις. Τέλος, οι ενώσεις αυτές αντιδρούν περαιτέρω και παράγουν ετεροκυκλικές ενώσεις που προσδίδουν χαρακτηριστικό άρωμα και τις μελανοΐδινες, οι οποίες είναι οι καφέ χρωστικές της αντίδρασης [44].

Για τον σχηματισμό αρώματος είναι μεγάλης σημασίας η αποικοδόμηση κατά Strecker, κατά την οποία τα αμινοξέα αποικοδομούνται από τις δικαρβονυλικές ενώσεις που σχηματίζονται κατά την αντίδραση Maillard, οδηγώντας σε απαμίνωση και αποκαρβοξυλίωση του αμινοξέος με τελικό προϊόν πυραζίνες - μία από τις κυριότερες ομάδες των πτητικών ενώσεων που δημιουργούνται από την αντίδραση και συνεισφέρουν άμεσα στο άρωμα ψημένου.

1.22 Χημικά χαρακτηριστικά καβουρδισμένου καφέ

Τα φυτά του γένους *Coffea* παράγουν πρωτογενείς και δευτερογενείς μεταβολίτες, με κυριότερους την καφεΐνη, την τριγονελλίνη και τα χλωρογενικά οξέα.

Η καφεΐνη παράγεται από την ξανθοσίνη [45] με την αντίδραση:

ξανθοσίνη → 7-μεθυλοξανθοσίνη → 7-μεθυλοξανθίνη → θειοβρωμίνη → καφεΐνη

Το βασικό χλωρογενικό οξύ είναι το 5-καφεοϋλοκινοϊκό οξύ. Οι κόκκοι *C. arabica* περιέχουν περισσότερα λιπίδια, σακχαρόζη και τριγονελίνη, ενώ οι *C. robusta* είναι πλουσιότεροι σε καφεΐνη και χλωρογενικά οξέα [46].

1.23 Πρωτεΐνες

Οι πρωτεΐνες αποτελούν σημαντικό συστατικό των κόκκων πράσινου καφέ, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 8,5-12% του ξηρού βάρους και παίζουν καθοριστικό ρόλο στη γεύση, το άρωμα και την υφή του τελικού προϊόντος. Κατά τη διάρκεια του καβουρδίσματος, οι πρωτεΐνες υφίστανται σημαντικές αλλαγές λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και περίπου το 21% χάνεται κατά τη διαδικασία καβουρδίσματος [47].

Οι πρωτεΐνες αλληλεπιδρούν με άλλα συστατικά του καφέ, όπως τα λίπη, τα σάκχαρα και τα οξέα, επηρεάζοντας την τελική ποιότητα του παρασκευάσματος. Επιπλέον, η ποσότητα και ο τύπος των πρωτεϊνών μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την ποικιλία του καφέ και τις συνθήκες καλλιέργειας [48].

1.24 Λιπίδια

Τα λιπίδια συνεισφέρουν σημαντικά στη γεύση και το άρωμα του ροφήματος. Το ποσοστό των λιπιδίων ποικίλλει ανάλογα με την ποικιλία του καφέ, κυμαινόμενο από 8% έως 18% του ξηρού βάρους. Οι κόκκοι *C. arabica* τείνουν να περιέχουν υψηλότερα επίπεδα λιπιδίων σε σύγκριση με τους *C. robusta*. Τα τριγλυκερίδια αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των λιπιδίων στον καφέ με το λινολεϊκό και παλμιτικό οξύ, να είναι τα κυρίαρχα λιπαρά οξέα στα τριγλυκερίδια αυτά. Οι υψηλές θερμοκρασίες του καβουρδίσματος οδηγούν σε οξειδώσεις που επηρεάζουν τη σύνθεση των λιπιδίων και συνεπώς τη γεύση του καφέ. Οι διαφορές στο περιεχόμενο και τη σύνθεση των λιπιδίων μεταξύ των διαφόρων ποικιλιών καφέ μπορούν να εξηγήσουν κάποιες από τις διαφορές στη γεύση και το άρωμα των αντίστοιχων καφέδων. Για παράδειγμα, το υψηλότερο περιεχόμενο σε λιπίδια των κόκκων *C. arabica* συνδέεται συχνά με πιο πλούσια και πιο σύνθετα αρώματα σε σύγκριση με τους *C. Robusta* [49].

1.25 Τερπένια

Τα διτερπένια, όπως η καφεστόλη, η καχεόλη και η 16-O-μεθυλοκαφεστόλη, είναι φυσικές ενώσεις που βρίσκονται στον καφέ και έχουν προσελκύσει το

ενδιαφέρον λόγω της πιθανής τους επίδρασης στην υγεία. Η συγκέντρωση και ο τύπος των διτερπενίων διαφέρει ανάμεσα στις ποικιλίες καφέ. Οι κόκκοι *C. arabica* περιέχουν κυρίως καφεστόλη και καχεόλη, ενώ οι κόκκοι *C. robusta* περιέχουν καφεστόλη, μια μικρότερη ποσότητα καχεόλης και 16-O-μεθυλοκαφεστόλη. Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των διτερπενίων είναι η δυνατότητά τους να αυξάνουν τα επίπεδα της χοληστερόλης στο αίμα. Αυτή η ιδιότητα έχει οδηγήσει σε ανησυχίες σχετικά με τις πιθανές αρνητικές επιπτώσεις της κατανάλωσης καφέ στην καρδιαγγειακή υγεία [50].

Η 16-OMC αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για την ανάλυση και την ταυτοποίηση των ποικυλίων καφέ (αξιόπιστη ένωση δείκτη για τον καφέ *C. robusta*). Η χρήση της σε συνδυασμό με άλλες αναλυτικές μεθόδους συμβάλλει στην εξασφάλιση της ποιότητας και της αυθεντικότητας των προϊόντων καφέ. Αυτή η ένωση υπάρχει μόνο στην *C. robusta* (~10–50mg / kg) και όχι στην *C. arabica*.

Η κύρια μορφή των διτερπενίων στους πράσινους κόκκους καφέ είναι η εστεροποιημένη. Συγκεκριμένα, στην *C. arabica*, η καφεστόλη κυρίως εντοπίζεται σε εστερική μορφή, ενώ η ελεύθερη μορφή της καφεστόλης παρουσιάζεται σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Αντίθετα, η *C. robusta* εμφανίζει χαμηλότερες συγκεντρώσεις τόσο της εστεροποιημένης όσο και της ελεύθερης καφεστόλης. Η θερμική επεξεργασία του καφέ προκαλεί σημαντική μείωση των ελεύθερων και εστεροποιημένων μορφών καφεστόλης και καχεόλης. Αντιθέτως, οι εστέρες της 16-O-μεθυλοκαφεστόλης (16-OMC) εμφανίζουν μεγαλύτερη θερμική σταθερότητα [51].

1.26 Χλωρογενικό οξύ

Τα CGAs είναι εστέρες που προκύπτουν από τη σύνδεση του κινικού οξέος με διάφορα φαινολικά οξέα, όπως το καφεϊκό, το φερουλικό και το ρ-κουμαρικό οξύ. Αυτή η δομική ποικιλία οδηγεί σε ένα ευρύ φάσμα CGAs με διαφορετικές φυσικοχημικές ιδιότητες και βιολογικές δραστηριότητες. Οι πρώτες αναφορές για αυτές τις ενώσεις χρονολογούνται από τα μέσα του 19ου αιώνα, όταν απομονώθηκαν όξινες ουσίες με πράσινες χρωστικές από πράσινους κόκκους καφέ. Η δομή των CGAs καθορίστηκε με ακρίβεια αρκετές δεκαετίες αργότερα [52].

Τα φάσματα απορρόφησης υπεριώδους-ορατού (UV-Vis) των CGAs αποκαλύπτουν χαρακτηριστικά μοτίβα που σχετίζονται με τη δομή τους. Τα δύο κύρια μέγιστα απορρόφησης, περίπου στα 217 nm και 324 nm, οφείλονται στις ηλεκτρονικές

μεταβάσεις στους αρωματικούς δακτυλίους των CGAs. Αυτά τα μοτίβα αποτελούν ένα «δακτυλικό αποτύπωμα» για τα CGAs και επιτρέπουν την ποσοτική τους ανάλυση. Ποσοτική ανάλυση των CGAs από πράσινο ή καβουρδισμένο καφέ μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας HPLC αντίστροφης φάσης με ανιχνευτή UV. Τα CGA παρουσιάζουν ποικίλες βιολογικές δραστηριότητες, όπως η καταστολή μεταγευματικών αυξήσεων της γλυκόζης στο αίμα και η αναστολή της παγκρεατικής α-αμυλάσης [53].

1.27 Τριγωνελίνη

Η τριγωνελίνη είναι ένα αλκαλοειδές το οποίο προκύπτει από τη μεθυλίωση του αζώτου της νιασίνης (νικοτινικό οξύ, βιταμίνη B₃) - που βρίσκεται σε σημαντικές ποσότητες στους σπόρους του καφέ – και αποτελεί μία ένωση με ποικίλες βιολογικές δραστηριότητες. Η δομή της περιλαμβάνει έναν δακτύλιο πυριδίνης με ένα καρβοξυλικό οξύ και μια μεθυλομάδα συνδεδεμένη με το άτομο αζώτου που συμμετέχει σε διάφορες βιοχημικές αντιδράσεις. Η βιοσύνθεση της τριγωνελίνης ξεκινά από νουκλεοτίδια πυριδίνης, τα οποία μετατρέπονται σε νικοτινικό οξύ. Το κλειδί ένζυμο σε αυτή τη διαδικασία είναι η συνθετάση της τριγωνελίνης [54].

Η τριγωνελίνη, ένα κύριο συστατικό των ακατέργαστων κόκκων καφέ και υφίσταται θερμική αποδόμηση κατά το καβούρδισμα, οδηγώντας στη μετατροπή της σε νικοτινικό οξύ και άλλα παράγωγα. Ως εκ τούτου, οι καβουρδισμένοι κόκκοι καφέ εμφανίζουν σημαντικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις τριγωνελίνης σε σύγκριση με τους ακατέργαστους [55].

Η κατανάλωση ενός φλιτζανιού καφέ μπορεί να καλύψει από 6% έως 18% της συνιστώμενης ημερήσιας πρόσληψης νιασίνης (16 mg/ημέρα) για ενήλικες άνδρες, καθιστώντας τον καφέ μια σημαντική διαιτητική πηγή της συγκεκριμένης βιταμίνης [56].

1.28 Μελανοϊδίνες

Οι μελανοϊδίνες, πολύπλοκες αζωτούχες ενώσεις που σχηματίζονται κατά την τελική φάση των αντιδράσεων Maillard κατά το ψήσιμο του καφέ, αποτελούν ένα σημαντικό συστατικό του καβουρδισμένου προϊόντος (περίπου 23% της ξηράς μάζας) [57]. Στις μελανοϊδίνες, έχει αποδοθεί ένα ευρύ φάσμα βιολογικών δραστηριοτήτων, όπως αντιοξειδωτική, αντιμικροβιακή, αντιφλεγμονώδης και αντιυπερτασική δράση.

Οι μέχρι σήμερα διαθέσιμες ενδείξεις υποδεικνύουν ότι η σύνθεση των μελανοϊδινών στον καφέ συνδέεται στενά με την παρουσία πολυσακχαριτών, πρωτεϊνών και χλωρογενικών οξέων. Παρά τις πολλές βιολογικές δραστηριότητές τους, οι μελανοϊδίνες του καφέ παραμένουν δομικά αδιευκρίνιστες [58]. Αυτή η δομική πολυπλοκότητα υπογραμμίζει την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα, καθώς η κατανόηση της δομής των μελανοϊδινών είναι απαραίτητη για την αποσαφήνιση του μηχανισμού των ευεργετικών τους επιδράσεων

1.29 Πτητικές ενώσεις

Οι πτητικές ενώσεις που προσδίδουν το χαρακτηριστικό άρωμα στον καφέ, παράγονται κατά τη διαδικασία του ψησίματος από την αποδόμηση ενώσεων του πράσινου καφέ, όπως υδατάνθρακες, φαινολικά οξέα, πρωτεΐνες και λιπίδια. Αντιδράσεις όπως η Maillard και η αποικοδόμηση Strecker παίζουν καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία των πτητικών ενώσεων [59] [60].

Παρόλο που το αρωματικό προφίλ του καφέ περιλαμβάνει πάνω από 1000 πτητικές ενώσεις, μόνο ένα υποσύνολο περίπου 20-30 ενώσεων διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των αισθητηριακών ιδιοτήτων. Το αρωματικό προφίλ του καβουρδισμένου καφέ αποτελεί ένα πολύπλοκο μείγμα πτητικών ενώσεων, η σύνθεση του οποίου επηρεάζεται σημαντικά από ποικιλιακά χαρακτηριστικά, γεωγραφική προέλευση και τις παραμέτρους της διαδικασίας καβουρδίσματος. Μεταξύ των πολλών ενώσεων που έχουν ταυτοποιηθεί, η 2-φουρφυροθειόλη (2-FFT) ξεχωρίζει ως ο κυρίαρχος παράγοντας συνεισφοράς στη συνολική αρωματική αντίληψη του καφέ. Άλλες σημαντικές ενώσεις περιλαμβάνουν το 3-μερκαπτο-3-μεθυλοβουτύλιο- μυρμηρικό, τη μεθανοθειόλη, τη β-δαμασκενόνη, τη μεθυλοπροπανάλη, το 2,3-μεθυλοβουτανικό, τη 2-αιθυλο-3,5-διμεθυλοπυραζίνη, τη 2,3-διαιθυλο-5 μεθυλοπυραζίνη και την 4-βινυλγουαιακόλη [61].

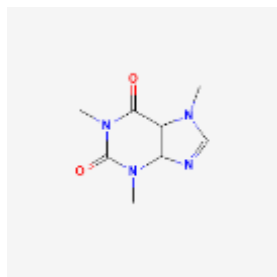
Η 2-φουρφυροθειόλη (2-FFT), μια κυρίαρχη ένωση για το χαρακτηριστικό άρωμα του καφέ, υφίσταται σημαντική μείωση κατά την επεξεργασία και αποθήκευση, λόγω αντιδράσεων οξειδωσης και συμπύκνωσης. Η απώλεια οδηγεί σε αισθητή μείωση της θειώδους νότας του αρώματος και συνεισφέρει σημαντικά στην συνολική υποβάθμιση της ποιότητας του καφέ. Η μείωση της διαθέσιμης 2-FFT κατά τη διάρκεια της παλαίωσης μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως αναστρέψιμη, όπου η ένωση μετατρέπεται σε άλλες ενώσεις που μπορούν ενδεχομένως να επανακτήσουν

την αρχική τους μορφή υπό κατάλληλες συνθήκες, και μη αναστρέψιμη, όπου η ένωση χάνεται οριστικά λόγω ανεπιθύμητων χημικών μετατροπών [62].

1.30 Καφεΐνη

Η καφεΐνη (Εικόνα 1.30.1) η κύρια αλκαλοειδής ένωση στον καφέ, αποτελεί μία από τις πιο ευρέως καταναλωμένες ψυχοδραστικές ουσίες παγκοσμίως. Εκτός από τη γνωστή διεγερτική της δράση στο κεντρικό νευρικό σύστημα, η καφεΐνη παρουσιάζει αντιμικροβιακή δράση, αναστέλλοντας την παραγωγή ωχρατοξίνης από τον μύκητα *Aspergillus ochraceus*. Επιπλέον, η καφεΐνη έχει ζιζανιοκτόνες ιδιότητες και επιταχύνει τον καταβολισμό των λιπιδίων. Στα φυτά του καφέ, η καφεΐνη συνυπάρχει συχνά με άλλες μεθυλοξανθίνες, όπως η ξανθίνη, η θεοφυλλίνη και η θεοβρωμίνη. Η βιοσύνθεση της καφεΐνης εστιάζεται κυρίως στα νεαρά φύλλα και τους άγουρους καρπούς του καφέ, με τη συγκέντρωσή της να αυξάνεται κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης. Η κατανομή της καφεΐνης στο φυτό επεκτείνεται πέρα από τους σπόρους, περιλαμβάνοντας φύλλα και περικάρπιο.

Η καφεΐνη, ως τριμεθυλιωμένη ξανθίνη, αποτελεί το τελικό προϊόν μιας πολυστάδιας βιοσυνθετικής διαδικασίας που ξεκινά από την ξανθοσίνη. Η διαδρομή αυτή περιλαμβάνει πολλαπλές μεθυλιώσεις, καταλυόμενες από ειδικά ένζυμα, καθώς και μια υδρόλυση. Η καφεΐνη, μετά την εκπλήρωση του βιολογικού της ρόλου, καταβολίζεται σε απλούστερες ενώσεις, όπως η ξανθίνη, μέσω ενζυμικών αντιδράσεων. Επιπλέον, η καφεΐνη χρησιμεύει ως πρόδρομη ένωση για τη σύνθεση άλλων αλκαλοειδών πουρινών, όπως η θεκρίνη, η λιβερίνη και η μεθυλλιβρίνη, οι οποίες εντοπίζονται κυρίως στα ώριμα φύλλα του καφέ [63].



Εικόνα 1.30.1: Δομή καφεΐνης.

Αντικείμενο μελέτης

Η εργασία εστίασε στην επίδραση των διαδικασιών καβουρδίσματος στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της α' ύλης, του ροφήματος και του κατακαθιού του Ελληνικού καφέ.

Εξετάστηκαν από δύο (2) παρτίδες ξανθού και σκούρου καφέ με διαφορά παραγωγής έξι (6) μηνών ώστε να ελεγχθεί η επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων.

Αρχικά μελετήθηκε η επίδραση του καβουρδίσματος στην υγρασία και την πυκνότητα των ψημένων κόκκων πριν αλεσθούν. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις στον συσκευασμένο καφέ, στο παρασκευασθέν ρόφημα και στο κατακάθι. Μετρήθηκε το pH, η ογκομετρούμενη οξύτητα, το φαινολικό περιεχόμενο με τη μέθοδο Folin – Ciocalteu, έγινε αποτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας με τη μέθοδο DPPH, προσδιορίστηκε η θολερότητα του ροφήματος συναρτήσει του χρόνου, έγινε αντικειμενική μέτρηση χρώματος, προσδιορισμός τανινών με φωτομετρία, ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση πτητικών ενώσεων με την τεχνική μικροεκχύλισης στερεάς φάσης (SPME) σε συνδυασμό με αέρια χρωματογραφία - φασματομετρία μάζας (GC/MS), προσδιορισμός καφεΐνης με υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC/DAD) και τέλος οργανοληπτική αξιολόγηση των ροφημάτων καφέ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Δείγματα

Τα δείγματα ελληνικού καφέ που μελετήθηκαν χορηγήθηκαν από τη βιομηχανία «ΣΔΟΥΚΟΣ Α.Ε» με έδρα τη βιομηχανική περιοχή Ιωαννίνων. Τόσο ο ξανθός, όσο και ο σκούρος ελληνικός καφές προήλθαν από το ίδιο χαρμάνι ποικιλιών με εμπορικές ονομασίες *Rio Minas* και *Uganda*, ωστόσο διέφεραν ως προς τη θερμοκρασία και τον χρόνο ψησίματος. Και οι δύο καφέδες ήταν συσκευασμένοι σε πολυστρωματική συσκευασία από PET/Al/PE, σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες σε συνθήκες 8-10% O₂ και 90-92% N₂ περίπου.

Τα δείγματα αφού ανοίχθηκαν, τοποθετήθηκαν σε υάλινα βάζα όπου και παρέμειναν ερμητικά κλειστά στο σκοτάδι υπό ψύξη για αποφυγή διαφυγής των πτητικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα και αλλοιώσεων εξαιτίας του φωτός.

Αντιδραστήρια

Για τις αναλυτικές μεθόδους χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω αντιδραστήρια:

pH

- Απεσταγμένο νερό

Ογκομετρούμενη Οξύτητα

- Διάλυμα NaOH 0,1 N (Merck KGaA, Darmstadt, Germany)

Φαινολικό Περιεχόμενο

- MeOH (Merck KGaA, Darmstadt, Germany)
- Na₂CO₃ (Merck KGaA, Darmstadt, Germany)
- Γαλλικό οξύ (Merck KGaA, Darmstadt, Germany)
- Αντιδραστήριο Folin – Ciocalteu (Merck KGaA, Darmstadt, Germany)

Αντιοξειδωτική Ικανότητα με τη μέθοδο DPPH

- DPPH (TCI, Ιαπωνία)
- MeOH (Merck KGaA, Darmstadt, Germany)

Θολερότητα

- Απεσταγμένο νερό

Αντικειμενική Μέτρηση Χρώματος

- Απεσταγμένο νερό

Ταυτοποίηση Πτητικών Ενώσεων με την τεχνική μικροεκχύλισης στερεάς φάσης (SPME) σε συνδυασμό με αέρια χρωματογραφία - φασματομετρία μάζας (GC/MS)

- 4-μεθυλ-2-πεντανολή (Merck KGaA, Darmstadt, Germany)
- NaCl (Panreac Quimica SLM, Barcelona, Spain)

Ταννίνες

- Γαλλικό οξύ (Merck KGaA, Darmstadt, Germany)
- Αντιδραστήριο Folin – Ciocalteu (Merck KGaA, Darmstadt, Germany)
- Na₂CO₃ (Merck KGaA, Darmstadt, Germany)
- EtOH 99,8% (AppliChem GmbH, Germany)

Προσδιορισμός Καφεΐνης

- Υπερκάθαρο νερό
- Καφεΐνη (SIGMA-ALDRICH, Darmstadt, Germany)
- MeOH αναλυτικής καθαρότητας για υγρή χρωματογραφία (Merck KGaA, Darmstadt, Germany)

Εξοπλισμός

- Πυριαντήριο WTC-BINDER Typ B 28, 220V (Tuttlingen, Germany)
- Πεχάμετρο DELTA OHM -PH z meter HD 3456.2 (Caselle Di Selvazzano, Italy)
- Φωτόμετρο INFINITE M NANO, TECAN, UV – Vis, πρόγραμμα Magellan Pro (Zürich, Switzerland)
- Θολερόμετρο LaMOTTE 2020 TURBIDIMETER (Chestertown, USA)
- Χρωματόμετρο HunterLab DP-9000™ D25 optical sensor (Reston, Virginia, USA)
- Αέριος χρωματογράφος Agilent Technologies, 7890A GC System, 5975C inert XL MSD (Santa Clara, USA)
- Υγρός χρωματογράφος Agilent Technologies, G1311A, EFO-BENCH-ASP (Santa Clara, USA)
- Συσκευή υπερκάθαρου νερού Wasserlab, ULTRAMATIC TYPE I (Barbatáin, Spain)
- Vortex Velp Scientifica (Usmate, Italy)
- Μέτρηση υγρασίας και πυκνότητας Sinar BeanPro 6070 (Berkshire, England)

Πλάνο αναλύσεων

Εξετάστηκαν 2 παρτίδες ξανθού και σκούρου Ελληνικού καφέ με διαφορά παραγωγής 6 μηνών ώστε να ελεγχθεί η επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων.

Πίνακας 2.α: Στοιχεία παρτίδων που εξετάστηκαν

Ονομασία Δείγματος	Ημ/νία παραγωγής
ΞΑΝΘΟΣ 1	23/02/2024
ΞΑΝΘΟΣ 2	26/08/2024
ΣΚΟΥΡΟΣ 1	02/05/2024
ΣΚΟΥΡΟΣ 2	01/10/2024

Στους πίνακες 2.β και 2.γ περιγράφεται η θερμοκρασιακή κατεργασία των χαρμανιών για την παρασκευή ξανθού και σκούρου καφέ.

Το Turning Point (σημείο καμπής) ήταν το σημείο κατά το οποίο η θερμοκρασία των κόκκων έφτασε στη χαμηλότερη τιμή μετά την εισαγωγή τους στο φούρνο καβουρδίσματος και άρχισε να ανεβαίνει ξανά. Όταν οι κρύοι κόκκοι μπήκαν στον ήδη ζεστό καβουρδιστή, απορρόφησαν θερμότητα. Μετά από λίγο, καθώς οι κόκκοι άρχισαν να θερμαίνονται αποτελεσματικά, η θερμοκρασία αυξήθηκε. Αυτό το σημείο ονομάζεται Turning Point.

Το κίτρινο στάδιο ή Yellow ήταν η φάση κατά την οποία οι κόκκοι άλλαξαν χρώμα από πράσινο σε κιτρινωπό επειδή έχασαν την υγρασία τους και άρχισαν οι πρώτες χημικές μεταβολές.

Το Crack ήταν το στάδιο κατά το οποίο οι κόκκοι παράξαν χαρακτηριστικούς ήχους «σπασίματος» λόγω της πίεσης που αναπτύχθηκε στο εσωτερικό τους από τη θερμότητα και τους υδρατμούς. Πριν το Crack συνέβη ξήρανση και ανάπτυξη ενώσεων αρώματος, ενώ στη συνέχεια διαμορφώθηκε η τελική γεύση, η γλυκύτητα, το σώμα και η οξύτητα του καφέ.

Η θερμοκρασία εξόδου ήταν η θερμοκρασία των κόκκων τη στιγμή που βγήκαν από τον φούρνο και κατέληξαν στο δοχείο ψύξης.

Πίνακας 2.β: Κατεργασία χαρμανιού για παρασκευή ξανθού καφέ

Ξανθός	
Ποικιλίες	Rio Minas, Uganda
Θ. Εισόδου	175 °C
Turning point	75-80 °C
Yellow	155 °C
Crack	175 °C
Θ. Εξόδου	195 °C

Χρόνος (min)	Θερμοκρα- σία (°C)	Χρόνος (min)	Θερμοκρα- σία (°C)	Χρόνος (min)	Θερμοκρα- σία (°C)	Χρόνος (min)	Θερμοκρα- σία (°C)
0	80	5	175	10	100	15	160
1	100	6	60	11	110	16	175
2	120	7	70	12	120	17	185
3	140	8	80	13	130	18	195
4	160	9	90	14	140		

Πίνακας 2.γ: Κατεργασία χαρμανιού για παρασκευή σκούρου καφέ

Σκούρος	
Ποικιλίες	Rio Minas, Uganda
Θ. Εισόδου	175 °C
Turning point	75-80 °C
Yellow	155 °C
Crack	175 °C
Θ. Εξόδου	195 °C

Χρόνος (min)	Θερμοκρα- σία (°C)	Χρόνος (min)	Θερμοκρα- σία (°C)	Χρόνος (min)	Θερμοκρα- σία (°C)	Χρόνος (min)	Θερμοκρα- σία (°C)
0	80	6	60	12	120	18	180
1	100	7	70	13	130	19	190
2	120	8	80	14	140	20	200
3	140	9	90	15	150	21	210
4	160	10	100	16	160	22	220
5	175	11	110	17	170		

2.1 Προσδιορισμός υγρασίας και πυκνότητας σε ψημένους κόκκους

Η αξιολόγηση της ποιότητας των κόκκων καφέ βασίστηκε, μεταξύ άλλων, στη μέτρηση της υγρασίας και της πυκνότητας στο εργαστήριο της εταιρείας ΣΔΟΥΚΟΣ Α.Ε. Η περιεκτικότητα σε υγρασία και η πυκνότητα προσδιορίστηκαν με βάση δεδομένα του οργάνου Sinar BeanPro [64]. Το Sinar BeanPro είναι όργανο που μετρά την υγρασία και την πυκνότητα των κόκκων καφέ.

Η υγρασία υπολογίστηκε με βάση τη διηλεκτρική μέθοδο, όπου το όργανο εφάρμοσε ηλεκτρικό πεδίο στο δείγμα και μέτρησε την ηλεκτρική απόκριση των κόκκων. Επειδή το νερό έχει διαφορετική διηλεκτρική συμπεριφορά από την ξηρή ύλη, οι μεταβολές στο ηλεκτρικό σήμα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ποσοστού υγρασίας μέσω βαθμονομημένων καμπυλών.

Η πυκνότητα προσδιορίστηκε ογκομετρικά, με ζύγιση του δείγματος μέσα σε θάλαμο γνωστού όγκου και υπολογισμό της μάζας ανά μονάδα όγκου. Στη συνέχεια, το όργανο συνδύασε τις μετρήσεις αυτές μέσω προκαθορισμένων μοντέλων βαθμονόμησης ώστε να δώσει τελικές τιμές υγρασίας και πυκνότητας. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν εις τριπλούν για κάθε δείγμα.

2.2 Προσδιορισμός pH (ενεργός οξύτητα)

Η ενεργός οξύτητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για να μετρήσει κάτι που βρίσκεται διαλυμένο σε νερό. Η κλίμακα pH κυμαίνεται από 0 έως 14 με το ουδέτερο σημείο στο 7. Η πορεία που ακολουθήθηκε βασίστηκε στη μεθοδολογία των Basheer et al. [65].

Πιο αναλυτικά:

α' ύλη

Ζυγίστηκαν 2 g α' ύλης και μεταφέρθηκαν σε ποτήρι ζέσεως. Το ποτήρι συμπληρώθηκε με απεσταγμένο νερό μέχρι τα 20 g. Ακολούθησε ανάδευση για 5 min και έπειτα το ετερογενές διάλυμα διηθήθηκε και παραλήφθηκε το διήθημα προς μέτρηση με pHμετρο.

Ρόφημα

Ζυγίστηκαν 3 g καφέ και προστέθηκαν σε 50 mL απεσταγμένο νερό. Ακολούθησε η γνωστή παρασκευή Ελληνικού καφέ σε μπρίκι. Το μπρίκι αφαιρέθηκε από την εστία μόλις άρχισαν να σχηματίζονται φυσαλίδες στην επιφάνειά του. Η

διαδικασία διήρκησε 5 min. Το ρόφημα αφέθηκε να κρυώσει ($T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$) και έπειτα διηθήθηκε. Το διήθημα παραλήφθηκε και ακολούθησε μέτρηση pHμετρο.

Κατακάθι

Το κατακάθι που έχει προέλθει από την παρασκευή του ροφήματος (ως ανωτέρω) μεταφέρθηκε σε ύαλο ωρολογίου και τοποθετήθηκε σε πυριαντήριο στους $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ για 12h προκειμένου να απομακρυνθεί η υγρασία. Ζυγίστηκαν 2 g κατακαθιού και μεταφέρθηκαν σε ποτήρι ζέσεως. Το ποτήρι συμπληρώθηκε με απεσταγμένο νερό μέχρι τα 20 g. Ακολούθησε ανάδευση για 5 min και έπειτα το ετερογενές διάλυμα διηθήθηκε. Το διήθημα παραλήφθηκε και ακολούθησε μέτρηση pHμετρο.

2.3 Προσδιορισμός ογκομετρούμενης οξύτητας

Με τη μέτρηση της ογκομετρούμενης οξύτητας προσδιορίστηκε η συγκέντρωση όλων των ελεύθερων οξέων που υπάρχουν στον καφέ. Η πορεία που ακολουθήθηκε βασίστηκε στη μεθοδολογία των Basheer et al. [65]. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε εις διπλούν για κάθε δείγμα.

α' ύλη

Ζυγίστηκαν 10 g από το διάλυμα α' ύλης που παρασκευάστηκε ως ανωτέρω (μέτρηση pH, παράγραφος 2.2.) και ογκομετρήθηκε με NaOH 0,1 N έως pH = 8.

Ρόφημα

Ζυγίστηκαν 10 g από το ρόφημα που παρασκευάστηκε ως ανωτέρω (μέτρηση pH, παράγραφος 2.2.) και ογκομετρήθηκε με NaOH 0,1 N έως pH = 8.

Κατακάθι

Ζυγίστηκαν 10 g από το διάλυμα με το κατακάθι που παρασκευάστηκε ως ανωτέρω (μέτρηση pH, παράγραφος 2.2.) και ογκομετρήθηκε με NaOH 0,1 N έως pH = 8.

2.4 Προσδιορισμός Φαινολικού Περιεχομένου

Η πορεία που ακολουθήθηκε βασίστηκε στη μεθοδολογία των Geremu et al. [66] με τροποποιήσεις.

Υλικά-Προετοιμασία αντιδραστηρίων

1. Διάλυμα MeOH/H₂O (80:20): Σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL προστέθηκαν 80 mL υγρής MeOH και το διάλυμα συμπληρώθηκε μέχρι τη χαραγή με απεσταγμένο νερό.
2. Διάλυμα Na₂CO₃ 7,5 % w/v: Σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL διαλύθηκαν 7,5 g άνυδρου ανθρακικού ασβεστίου σε απεσταγμένο νερό και συμπληρώθηκαν μέχρι τη χαραγή με απεσταγμένο νερό.
3. Διάλυμα γαλλικού οξέος (stock διάλυμα, 5000 ppm): Σε ογκομετρική φιάλη των 10 mL διαλύθηκαν 0,50 g στερεού γαλλικού οξέος σε απόλυτη MeOH. Το διάλυμα μεταφέρθηκε σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL και συμπληρώθηκε μέχρι τη χαραγή με MeOH / H₂O (σε αναλογία 80:20).
4. Αντιδραστήριο Folin – Ciocalteu αραιωμένο 1:10.

Πρότυπη καμπύλη γαλλικού οξέος

Παρασκευάστηκαν διαλύματα γαλλικού οξέος συγκεντρώσεων 0, 10, 20, 30, 40, 50, 75 ppm.

0,5 mL από κάθε διάλυμα μεταφέρθηκε σε δοκιμαστικούς σωλήνες καλυμμένους με αλουμινόφυλλο, προστέθηκαν 2,5 mL αντιδραστήριο Folin – Ciocalteu (1:10) και 2 mL Na₂CO₃ 7,5 % w/v.

α' ύλη

1 g καφέ προστέθηκε σε 10 mL MeOH 80%. Το μίγμα αναδεύτηκε για 3 min και στη συνέχεια αφέθηκε σε ηρεμία να εκχυλιστεί για 24 h σε θερμοκρασία δωματίου. Μετά την πάροδο των 24 h το διάλυμα φιλτραρίστηκε και λήφθηκε το διήθημα. 80 μL από το διήθημα μεταφέρθηκαν σε ογκομετρική φιάλη των 10 mL και ακολούθησε αραιώση έως τη χαραγή με απεσταγμένο νερό. 0,5 mL από το αραιωμένο δείγμα προστέθηκε σε δοκιμαστικό σωλήνα καλυμμένο με αλουμινόφυλλο, προστέθηκαν επιπλέον 2,5 mL αντιδραστηρίου Folin – Ciocalteu (1:10) και 2 mL Na₂CO₃ 7,5 % w/v. Για το τυφλό ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία, με τη διαφορά ότι αντί για το δείγμα προστέθηκε νερό.

Ρόφημα

Ζυγίστηκαν 3 g καφέ και προστέθηκαν σε 50 mL απεσταγμένο νερό. Ακολουθήθηκε η γνωστή παρασκευή Ελληνικού καφέ σε μπρίκι. Η διαδικασία

διήρησε 5 min. Το ρόφημα αφέθηκε να κρυώσει ($T = 25^{\circ}\text{C}$) έπειτα διηθήθηκε και παραλήφθηκε το διήθημα. 100 μL από το διήθημα μεταφέρθηκαν σε ογκομετρική φιάλη των 10 mL και ακολούθησε συμπλήρωση έως τη χαραγή με απεσταγμένο νερό. 0,5 mL από το αραιωμένο δείγμα προστέθηκαν σε δοκιμαστικό σωλήνα καλυμμένο με αλουμινόφυλλο, προστέθηκαν επιπλέον 2,5 mL αντιδραστήριου Folin – Ciocalteu (1:10) και 2 mL Na_2CO_3 7,5 % w/v. Για το τυφλό ακολούθηθηκε η ίδια διαδικασία, με τη διαφορά ότι αντί για το δείγμα προστέθηκε νερό.

Κατακάθι

Το κατακάθι που είχε προέλθει από την παρασκευή ροφήματος καφέ, μεταφέρθηκε σε ύαλο ωρολογίου και τοποθετήθηκε σε πυριαντήριο στους 60°C για 12h προκειμένου να απομακρυνθεί η υγρασία. 1 g κατακάθι προστέθηκε σε 10 mL MeOH 80%, το μίγμα αναδεύτηκε για 3 min και στη συνέχεια αφέθηκε σε ηρεμία να εκχυλιστεί για 24 h σε θερμοκρασία δωματίου. Μετά την πάροδο 24 h το διάλυμα φιλτραρίστηκε και λήφθηκε το διήθημα. 200 μL από το διήθημα μεταφέρθηκαν σε ογκομετρική φιάλη των 10 mL και ακολούθησε αραίωση έως τη χαραγή με απεσταγμένο νερό. 0,5 mL από το αραιωμένο δείγμα προστέθηκαν σε δοκιμαστικό σωλήνα καλυμμένο με αλουμινόφυλλο, προστέθηκαν επιπλέον 2,5 mL αντιδραστήριο Folin – Ciocalteu (1:10) και 2 mL Na_2CO_3 7,5 % w/v.

Για το τυφλό ακολούθηθηκε η ίδια διαδικασία, με τη διαφορά ότι αντί για το δείγμα προστέθηκε νερό.

Όλα τα δείγματα (α' ύλη, ρόφημα, κατακάθι και πρότυπα διαλύματα γαλλικού οξέος) μετά την προσθήκη των αντιδραστηρίων αφέθηκαν σε ηρεμία για 30 min στο σκοτάδι σε θερμοκρασία δωματίου και ακολούθησε μέτρηση του κυανού χρώματος του διαλύματος στα 765 nm έναντι του τυφλού.

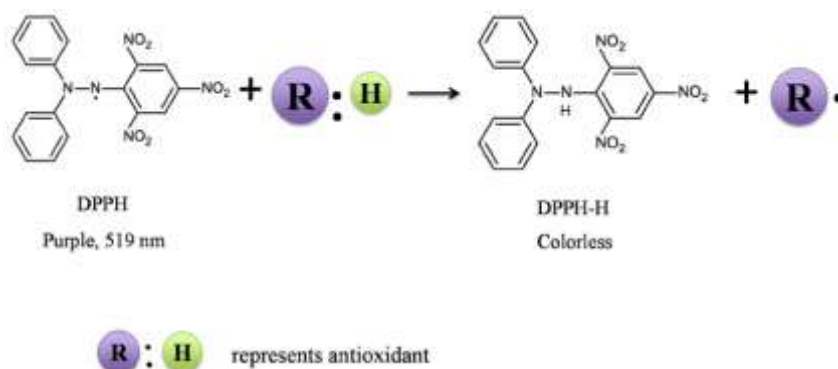
Η περιεκτικότητα σε ολικά φαινολικά προσδιορίστηκε με τη βοήθεια της πρότυπης καμπύλης γαλλικού οξέος και τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε mg GAE/L του εκχυλίσματος.

Οι μετρήσεις έγιναν εις τριπλούν για κάθε δείγμα.

2.5 Προσδιορισμός Αντιοξειδωτικής Ικανότητας με τη μέθοδο DPPH

Η μέθοδος DPPH είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη λόγω της απλότητας και της ευαισθησίας της, παρέχοντας μια ποσοτική εκτίμηση της αντιοξειδωτικής δράσης.

Η πορεία που ακολουθήθηκε βασίστηκε στη μεθοδολογία των Geremu et al. [66] με τροποποιήσεις.



Εικόνα 2.5.1: Αποχρωματισμός DPPH όταν αντιδρά με δότες υδρογόνου

Υλικά-Προετοιμασία αντιδραστηρίων

1. Παρασκευάστηκε μεθανολικό διάλυμα DPPH 0,1 mM. Ζυγίστηκαν 0,00394 g DPPH και διαλυτοποιήθηκαν σε 100 mL MeOH 80% μέσω ανάδευσης για 20 min σε μαγνητικό αναδευτήρα (τόσο το ποτήρι ζέσεως που γίνεται η διαλυτοποίηση, όσο και η ογκομετρική φιάλη που φυλάχθηκε το διάλυμα καλύφθηκαν με αλουμινόφυλλο λόγω κινδύνου οξείδωσης του DPPH από το φως). Το διάλυμα DPPH διατηρήθηκε έως 2 ημέρες στο ψυγείο. Μετρήθηκε η απορρόφηση Αο του καθαρού διαλύματος DPPH (517 nm).
2. Μεθανολικά εκχυλίσματα: 10 g καφέ (α' ύλη ή κατακάθι ανάλογα την περίπτωση) αναμίχθηκαν με 100 mL MeOH 80% και αναδεύτηκαν σε περιστρεφόμενο μαγνητικό αναδευτήρα για 3 min. Στη συνέχεια, το δείγμα παρέμεινε σε επαφή με τον διαλύτη για 24 h σε θερμοκρασία δωματίου σε ηρεμία. Μετά την ολοκλήρωση της εκχύλισης, το διάλυμα διηθήθηκε μέσω ηθμού Whatman No. 1 και παραλήφθηκε το διήθημα.

Πειραματική πορεία

Ξανθός

Σε πλαστική κυψελίδα προστέθηκαν για κάθε περίπτωση, 1 mL μεθανολικού εκχυλίσματος α' ύλης / 1 mL ροφήματος / 1 mL μεθανολικού εκχυλίσματος κατακαθιού και 2 mL δ/τος DPPH 0,1 mM.

Σκούρος

Σε πλαστική κυψελίδα προστέθηκαν για κάθε περίπτωση, 1 mL μεθανολικού εκχυλίσματος α' ύλης αραιωμένο 1:1 με MeOH 80%/ 1 mL ροφήματος αραιωμένο 1:1 με απεσταγμένο νερό/ 1 mL μεθανολικού εκχυλίσματος κατακαθιού αραιωμένο 1:1 με MeOH 80% και 2 ml δ/τος DPPH 0,1 mM.

Τα δείγματα φυλάχθηκαν σε σκοτεινό μέρος για 30 min και ακολούθησε μέτρηση της απορρόφησης στα 517 nm έναντι τυφλού MeOH.

2.6 Προσδιορισμός Θολερότητας

Η θολερότητα στα υγρά εμφανίζεται από τα αιωρούμενα και αδιάλυτα σωματίδια. Η μονάδα μέτρησης καθιερώθηκε από το ISO Standard και είναι: FNU (Formazine Nephelometric Unit) και από το EPA: NTU (Nephelometric Turbidity Unit) [67].

Πειραματική πορεία

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στα ροφήματα ξανθού και σκούρου καφέ μετά την ψύξη τους ανά 5 min έως τα 60 min. Πριν από κάθε μέτρηση, 1 mL ροφήματος αραιώθηκε σε τελικό όγκο 10 mL με απεσταγμένο νερό.

2.7 Αντικειμενική Μέτρηση Χρώματος

Πειραματική πορεία

Μετρήθηκαν οι παράμετροι $L^*a^*b^*$ με χρήση του χρωματόμετρου HunterLab στα δείγματα α' ύλης και ροφήματος. Σε κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν 4 μετρήσεις μετά από στροφή του δείγματος κατά 90° και λήφθηκε ο μέσος όρος των 4 μετρήσεων.

α' ύλη

Ζυγίστηκαν 8,3 g δείγματος και επιστρώθηκαν ομοιόμορφα με σπάτουλα σε τριβλίο Petrie ώστε να καλυφθεί όλη η επιφάνειά του.

Ρόφημα

25 mL ροφήματος τοποθετήθηκαν σε τριβλίο Petrie.

2.8 Ταυτοποίηση πτητικών ενώσεων με την τεχνική μικροεκχύλισης στερεάς φάσης (SPME) σε συνδυασμό με αέρια χρωματογραφία - φασματομετρία μάζας (GC/MS).

Για την απομόνωση και ανάλυση των πτητικών συστατικών του καφέ, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της μικροεκχύλισης στερεάς φάσης δια του υπερκείμενου χώρου (HS-SPME). Με αυτή τη μέθοδο, οι πτητικές ενώσεις συλλέχθηκαν από τον υπερκείμενο χώρο του δείγματος στην ίνα SPME και αναλύθηκαν με τη βοήθεια αέριας χρωματογραφίας-φασματομετρίας μάζας. Οι ενώσεις διαχωρίστηκαν βάσει των διαφορετικών σημείων ζέσεως και της πολικότητάς τους στον αέριο χρωματογράφο και με τη βοήθεια του φασματογράφου μάζας ταυτοποιήθηκαν με τη βοήθεια βιβλιοθήκης φασμάτων μάζας (Wiley Library (Wiley, 7-NIST 05, J. Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England). Ο ημιποσοστικός προσδιορισμός πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια εσωτερικού προτύπου γνωστής συγκέντρωσης. Ακολούθησε η μεθοδολογία των Catão et al. [68] με μικρές τροποποιήσεις.

Πειραματική πορεία

Παρασκευάστηκε stock διάλυμα εσωτερικού προτύπου 1000 ppm, διαλύοντας 10 µL 4-μεθυλο-2-πεντανόλης σε τελικό όγκο 10 mL με μεθανόλη.

α' ύλη

Ζυγίστηκε 1,0 g α' ύλης και μεταφέρθηκε σε γυάλινο φιαλίδιο. Προστέθηκαν 10 µL από το stock εσωτερικό πρότυπο, το φιαλίδιο σφραγίστηκε με καπάκι Teflon septum και τοποθετήθηκε σε θερμοστατούμενο υδατόλουτρο με μαγνητικό αναδευτήρα στους 50 °C για 30 min (εξισορρόπηση δείγματος). Στη συνέχεια εισήχθη η σύριγγα που φέρει την ίνα η οποία εκτέθηκε στον υπερκείμενο χώρο για 30 min προς συλλογή των πτητικών ενώσεων. Μετά το πέρας του χρόνου τη ίνα εισήχθη στον εισαγωγέα του GC/MS προς ανάλυση.

Ρόφημα

Ζυγίστηκαν 3 g καφέ και προστέθηκαν σε 50 mL απεσταγμένο νερό. Ακολούθησε η γνωστή παρασκευή Ελληνικού καφέ σε μπρίκι. Το ρόφημα αφέθηκε να κρυώσει ($T = 25^{\circ}\text{C}$) έπειτα διηθήθηκε και παραλήφθηκε το διήθημα. 5 mL διηθήματος μεταφέρθηκαν σε γυάλινο φιαλίδιο. Προστέθηκαν 20 µL εσωτερικού προτύπου αραιωμένο 1:100, 1 g NaCl, 1 μαγνητάκι, και το φιαλίδιο σφραγίστηκε με καπάκι Teflon septum και τοποθετήθηκε σε θερμοστατούμενο υδατόλουτρο με

μαγνητικό αναδευτήρα στους 40°C για 15 min (εξισορρόπηση δείγματος). Στη συνέχεια εισήχθη η σύριγγα που φέρει την ίνα η οποία εκτέθηκε στον υπερκείμενο χώρο για 30 min προς συλλογή των πτητικών ενώσεων. Μετά το πέρας του χρόνου τη ίνα εισήχθη στον εισαγωγέα του GC/MS προς ανάλυση.

Πίνακας 2.8.1: Παράμετροι της ανάλυσης πτητικών ενώσεων με την τεχνική HS-SPME/GC-MS.

Αέριος χρωματογράφος	Agilent 7890A
Ανιχνευτής μάζας	Agilent 5975C – XL MSD
Στήλη	DB – 5MS (60m × 0,32mm × 1μm)
Φέρον αέριο	He (ταχύτητα ροής 1,5 mL / min)
Ίνα	50/30um DVB/CAR/PDMS
Λόγος split	2:1 για 2 min
Θερμοκρασία εισαγωγέα GC	270°C
Θερμοκρασιακό πρόγραμμα	Αρχική θερμοκρασία 40 °C όπου παρέμεινε για 2min, αύξηση με ρυθμό ανά 10 °C/min μέχρι τους 90°C, ακολούθησε αύξηση με ρυθμό 2 °C/min μέχρι τους 170 °C και τέλος με ρυθμό κατά 15 °C/min μέχρι τους 260 °C
Θερμοκρασία γραμμής μεταφοράς	270°C
Θερμοκρασία θαλάμου ιονισμού	150°C
Θερμοκρασία τετραπόλου	230°C
Εύρος σάρωσης μαζών m/z	29-350
Scans/s	3

2.9 Προσδιορισμός Τανινών

Η αλληλεπίδραση των τανινών με τις πρωτεΐνες του σάλιου οδηγεί στην εκδήλωση στυπτικότητας, προσδίδοντας στα τρόφιμα και τα ποτά που τις περιέχουν χαρακτηριστική αίσθηση ξηρότητας στη στοματική κοιλότητα [69]. Ακολουθήθηκε η πορεία των Vilar et al. [70] με μικρές τροποποιήσεις. Όλες οι επαναλήψεις πραγματοποιήθηκαν εις τριπλούν.

Πειραματική πορεία

Παρασκευάστηκαν διαλύματα γαλλικού οξέος συγκεντρώσεων 0, 10, 30, 40, 50, 75, 100 ppm. 20 μL από το κάθε δ/μα προστέθηκαν σε δοκιμαστικό σωλήνα καλυμμένο με αλουμινόφυλλο, προστέθηκαν 1,58 mL απεσταγμένο νερό και 100 μL αντιδραστήριο Folin – Ciocalteu. Το δ/μα αφέθηκε σε ηρεμία για 5 min και έπειτα προστέθηκαν 300 μL Na_2CO_3 20 % w/v. Για το τυφλό ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία, με τη διαφορά ότι αντί για το δείγμα προστέθηκε νερό.

α' ύλη

2 g καφέ προστέθηκαν σε 5 mL EtOH 80%, το μίγμα αφέθηκε σε ηρεμία να εκχυλιστεί για 1h σε υδατόλουτρο θερμοκρασίας 50°C. Μετά την πάροδο 1h το διάλυμα φιλτραρίστηκε και λήφθηκε το διήθημα. 40 μL από το διήθημα μεταφέρθηκαν σε ογκομετρική φιάλη των 10 mL και ακολούθησε αραίωση έως τη χαραγή με απεσταγμένο νερό. 20 μL από το αραιωμένο δείγμα προστέθηκαν σε δοκιμαστικό σωλήνα καλυμμένο με αλουμινόφυλλο, προστέθηκαν 1,58 mL απεσταγμένο νερό και 100 μL αντιδραστήριο Folin – Ciocalteu (χωρίς αραίωση). Το δ/μα αφέθηκε σε ηρεμία για 5 min και έπειτα προστέθηκαν 300 μL Na_2CO_3 20 % w/v. Για το τυφλό ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία, με τη διαφορά ότι αντί για το δείγμα χρησιμοποιήθηκε νερό.

Ρόφημα

170 μL από το ρόφημα μεταφέρθηκαν σε ογκομετρική φιάλη των 10 mL και ακολούθησε αραίωση έως τη χαραγή με απεσταγμένο νερό. 20 μL από το αραιωμένο δείγμα προστέθηκαν σε δοκιμαστικό σωλήνα καλυμμένο με αλουμινόφυλλο, προστέθηκαν 1,58 mL απεσταγμένο νερό και 100 μL αντιδραστήριο Folin – Ciocalteu (χωρίς αραίωση). Το δ/μα αφέθηκε σε ηρεμία για 5 min και έπειτα προστέθηκαν 300 μL Na_2CO_3 20 % w/v. Για το τυφλό ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία, με τη διαφορά ότι αντί για το δείγμα χρησιμοποιήθηκε νερό.

Κατακάθι

1 g κατακάθι προστέθηκε σε 5 mL EtOH 80%, το μίγμα αφέθηκε σε ηρεμία να εκχυλιστεί για 1h σε υδατόλουτρο θερμοκρασίας 50°C. Μετά την πάροδο 1h το διάλυμα φιλτραρίστηκε και λήφθηκε το διήθημα. 100 μL από το διήθημα μεταφέρθηκαν σε ογκομετρική φιάλη των 10 mL και ακολούθησε αραίωση έως τη χαραγή με απεσταγμένο νερό. 20 μL από το αραιωμένο δείγμα μεταφέρθηκαν σε

δοκιμαστικό σωλήνα καλυμμένο με αλουμινόφυλλο, προστέθηκαν 1,58 mL απεσταγμένο νερό και 100 μL αντιδραστήριο Folin – Ciocalteu (χωρίς αραιώση). Το δ/μα αφέθηκε σε ηρεμία για 5 min και έπειτα προστέθηκαν 300 μL Na_2CO_3 20 % w/v. Για το τυφλό ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία, με τη διαφορά ότι αντί για το δείγμα χρησιμοποιήθηκε νερό.

Αφού ολοκληρώθηκε η προσθήκη των αντιδραστηρίων, οι σωλήνες αναδεύτηκαν στο vortex και παρέμειναν σε ηρεμία για 30 min σε υδατόλουτρο σε θερμοκρασία 45 °C, ακολούθησε μέτρηση του κυανού χρώματος διαλύματος στα 765 nm.

2.10 Προσδιορισμός Καφεΐνης

Έγινε ποσοτικοποίηση της καφεΐνης με υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC/DAD) σε δείγματα α' ύλης, ροφήματος και κατακαθιού ξανθού και σκούρου ελληνικού καφέ με τη μέθοδο των Pokhrel et. al [71] με μικρές τροποποιήσεις.

Συνθήκες HPLC

- HPLC Agilent 1100 series
- Στήλη Zorbax Eclipse Plus 18 C, μέγεθος πόρων 5 μm , εσωτερική διάμετρος 4.6mm και μήκος 150 mm.
- Ανάστροφη φάση - ODS
- Ροή , 1 mL/min (σταθερή)
- Θερμοκρασία στήλης 20°C
- Ανιχνευτής UV 275 nm
- Κινητή φάση MeOH/H₂O (60:40) αναλυτικής καθαρότητας κατάλληλη για HPLC ισοκρατικά.
- Όγκος δείγματος 20 μL

Υλικά-Προετοιμασία αντιδραστηρίων

1. Παρασκευάστηκε η κινητή φάση (MeOH/H₂O 60:40) αναμιγνύοντας σε 600 mL υπερκάθαρου νερού και 400 mL MeOH αναλυτικής καθαρότητας κατάλληλη για HPLC.

Κατασκευή πρότυπης καμπύλης

Παρασκευάστηκε stock πρότυπο διάλυμα περιεκτικότητας 100 ppm σε καφεΐνη. 10 mg καφεΐνης μεταφέρθηκαν σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL και η φιάλη συμπληρώθηκε μέχρι τη χαραγή με MeOH/H₂O 60:40. Παρασκευάστηκαν διαλύματα περιεκτικότητας 2, 4, 6, 8 και 10 ppm από το αρχικό διάλυμα των 100 ppm με αραίωση με υπερκάθαρο νερό. Από τις συγκεντρώσεις των προτύπων κατασκευάστηκε η καμπύλη βαθμονόμησης.

Προετοιμασία δειγμάτων

α' ύλη

0,3 g αλεσμένης α' ύλης καφέ μεταφέρθηκε σε κωνική φιάλη 250 mL. Προστέθηκαν 200 mL υπερκάθαρο νερό και τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο 90°C για 30 min. Μετά το πέρας των 30 min, το διάλυμα αφέθηκε να κρυώσει και η φιάλη συμπληρώθηκε μέχρι τα 250 mL με υπερκάθαρο νερό, ακολούθησε φιλτράρισμα με χαρτί Whatmann no1 (Sigma-Aldrich, Darmstadt, Germany). 1 mL του διηθήματος τοποθετήθηκε σε ογκομετρική φιάλη των 10 mL και συμπληρώθηκε μέχρι τη χαραγή με υπερκάθαρο νερό. Ακολούθησε διήθηση με μικροφίλτρο PVDF 0,20 μm × 13 mm (Merck, USA) και έγχυση 20 μL στην υποδοχή του υγρού χρωματογράφου.

Ρόφημα

Ζυγίστηκαν 3 g καφέ και προστέθηκαν σε 50 mL υπερκάθαρου νερού. Ακολούθησε η γνωστή παρασκευή Ελληνικού καφέ σε μπρίκι. Το ρόφημα αφέθηκε να κρυώσει (T = 25 °C), διηθήθηκε με διηθητικό χαρτί Whatmann no1 (Sigma-Aldrich, Darmstadt, Germany) και παραλήφθηκε το διήθημα.

- 0,1 mL διηθήματος σκούρου καφέ προστέθηκαν σε ογκομετρική φιάλη των 10 mL και η φιάλη συμπληρώθηκε μέχρι τη χαραγή με υπερκάθαρο νερό.
- 0,5 mL διηθήματος ξανθού καφέ προστέθηκαν σε ογκομετρική φιάλη των 10 mL και η φιάλη συμπληρώθηκε μέχρι τη χαραγή με υπερκάθαρο νερό.

Ακολούθησε διήθηση με μικροφίλτρο PVDF 0,20 μm × 13 mm (Merck, USA) και έγχυση 20 μL στην υποδοχή του υγρού χρωματογράφου.

Οι ποσότητες ροφήματος χρησιμοποιήθηκαν κατόπιν προκαταρκτικής δοκιμής, με σκοπό οι τελικές συγκεντρώσεις καφεΐνης να βρίσκονται εντός του γραμμικού εύρους της πρότυπης καμπύλης.

Κατακάθι

Το κατακάθι που προήλθε από την παρασκευή των ροφημάτων μεταφέρθηκε σε ύαλο ωρολογίου και τοποθετήθηκε σε πυριαντήριο στους 60 °C για 12h προκειμένου να απομακρυνθεί η υγρασία. 0,3 g κατακαθιού μεταφέρθηκαν σε κωνικές φιάλες 250 mL. Προστέθηκαν 200 mL υπερκάθαρο νερό και οι φιάλες τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο 90°C για 30 min. Μετά το πέρας των 30 min, το διάλυμα αφέθηκε να κρυώσει και συμπληρώθηκε μέχρι τα 250 mL με υπερκάθαρο νερό και ακολούθησε φιλτράρισμα με χαρτί Whatmann no1 (Sigma-Aldrich, Darmstadt, Germany). 2,5 mL του διηθήματος τοποθετήθηκαν σε ογκομετρικές φιάλες των 5 mL και συμπληρώθηκαν μέχρι τη χαραγή με υπερκάθαρο νερό. Ακολούθησε διήθηση με μικροφίλτρο PVDF 0,20 μm × 13 mm (Merck, USA) και έγχυση 20 μL στην υποδοχή του υγρού χρωματογράφου.

Από το εμβαδό της κορυφής της καφεΐνης και με τη βοήθεια της πρότυπης καμπύλης υπολογίστηκε η συγκέντρωση στα άγνωστα δείγματα.

Οι ανάλυση έγινε εις διπλούν σε κάθε περίπτωση (α' ύλη, ρόφημα, κατακάθι).\

2.11 Οργανοληπτική αξιολόγηση

Στην παρούσα μελέτη, διεξήχθη βαθμολόγηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του καφέ (άρωμα, γεύση, υφή, πικρότητα, στυφότητα, επίγευση) με τη χρήση μιας πενταβάθμιας κλίμακας αξιολόγησης (1-5), όπου η τιμή 2,5 ορίστηκε ως όριο αποδοχής. Για την αξιολόγηση χρησιμοποιήθηκε μία ομάδα ημiekπαιδευμένων κριτών (μέλη ΔΕΠ, μεταπτυχιακοί και προπτυχιακοί φοιτητές) του Εργαστηρίου Χημείας Τροφίμων και του Τμήματος Χημείας Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Πίνακας 2.11.1: Κλίμακα αξιολόγησης – βαθμολογία

Κλίμακα αξιολόγησης	Βαθμοί
Εξαιρετικό	5
Πολύ καλό	4
Καλό	3
Μέτριο	2
Κακό	1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ/ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Προσδιορισμός υγρασίας και πυκνότητας σε ψημένους κόκκους

Η υγρασία αποτελεί κρίσιμο δείκτη ποιότητας στους κόκκους ωμού καφέ διότι τα επίπεδα υγρασίας συνδέονται με τον κίνδυνο ανάπτυξης μυκήτων και παραγόντων τους όπως η ωχρατοξίνη [72].

Η πυκνότητα, που καθορίζεται από τη μάζα ανά μονάδα όγκου και αποτελεί σημαντικό δείκτη της ωρίμανσης και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του καφέ. Ερευνητικά δεδομένα των Worku et al. [73], απέδειξαν ότι το υψόμετρο καλλιέργειας επέδρασε άμεσα στην πυκνότητα των κόκκων. Σε μεγαλύτερα υψόμετρα, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες επιβράδυναν τον κύκλο του Krebs στους καρπούς του καφέ, μια βιοχημική διαδικασία που μετέτρεψε τους υδατάνθρακες σε διοξείδιο του άνθρακα. Η επιβράδυνση αυτή οδήγησε σε πιο αργή ωρίμανση και συσσώρευση σακχάρων, με αποτέλεσμα την παραγωγή πυκνότερων κόκκων. Η πυκνότητα συνδέθηκε άμεσα με την πολυπλοκότητα και την γλυκύτητα του αρώματος και της γεύσης του παραγόμενου καφέ.

Η διαδικασία του καβουρδίσματος προκαλεί σημαντικές φυσικοχημικές μεταβολές στους κόκκους του καφέ. Ο ωμός καφές, υπέστη αισθητή μείωση μάζας μετά το καβούρδισμα. Αυτή η απώλεια μάζας αποδίδεται κυρίως στην εξάτμιση του ενδογενούς νερού των κόκκων και στην απελευθέρωση αερίων, κυρίως διοξειδίου του άνθρακα. Παράλληλα με την απώλεια βάρους, παρατηρήθηκε αύξηση του όγκου των κόκκων, φαινόμενο που οφείλεται στην εξάπλωση των αερίων εντός του κόκκου και στην αποδόμηση ορισμένων οργανικών ενώσεων, με αποτέλεσμα μείωση της πυκνότητας των δειγμάτων μετά το καβούρδισμα. Η τελική περιεκτικότητα σε υγρασία του καβουρδισμένου καφέ ήταν συνήθως μικρότερη του 2%, ενώ η συνολική απώλεια βάρους έφτασε το 20%. Η μεταβολή της % υγρασίας φαίνεται στον πίνακα 3.1.1, στον ίδιο πίνακα απεικονίζονται και οι μετρήσεις της πυκνότητας [74].

Πίνακας 3.1.1: Μεταβολή της % υγρασίας και της πυκνότητας κατά το ψήσιμο των 2 παρτίδων καφέ με εξαμηνιαία διαφορά παραγωγής.

Ονομασία Δείγματος	Ημ/νία παραγωγής	Θ °C δείγματος	%Υγρασία	Πυκνότητα (g/L)
ΩΜΟΣ ΞΑΝΘΟΣ 1	-	20,2	13,53±0,15 ^a	590,00±0,00 ^a
ΩΜΟΣ ΞΑΝΘΟΣ 2	-	20,0	13,50±0,09 ^a	590,04±0,02 ^b
^{a,b...} Διαφορετικοί εκθέτες σε κάθε στήλη δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p<0,05)				
ΨΗΜΕΝΟΣ ΞΑΝΘΟΣ 1	23/02/2024	26,1	1,77±0,06 ^a	484,67±0,58 ^a
ΨΗΜΕΝΟΣ ΞΑΝΘΟΣ 2	26/08/2024	26,0	1,80±0,08 ^a	484,81±0,09 ^b
^{a,b...} Διαφορετικοί εκθέτες σε κάθε στήλη δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p<0,05)				
ΩΜΟΣ ΣΚΟΥΡΟΣ 1	-	20,4	11,10±0,10 ^a	670,67±0,58 ^a
ΩΜΟΣ ΣΚΟΥΡΟΣ 2	-	20,4	11,08±0,08 ^a	670,70±0,56 ^a
^{a,b...} Διαφορετικοί εκθέτες σε κάθε στήλη δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p<0,05)				
ΨΗΜΕΝΟΣ ΣΚΟΥΡΟΣ 1	02/05/2024	26,8	1,80±0,00 ^a	485,33±0,58 ^a
ΨΗΜΕΝΟΣ ΣΚΟΥΡΟΣ 2	01/10/2024	26,6	1,81±0,01 ^a	485,30±0,56 ^a
^{a,b...} Διαφορετικοί εκθέτες σε κάθε στήλη δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p<0,05)				

Κατά το ψήσιμο του ξανθού καφέ παρατηρήθηκε μείωση της υγρασίας κατά 7 φορές και της πυκνότητας κατά 1 φορά. Κατά το ψήσιμο του σκούρου καφέ παρατηρήθηκε μείωση της υγρασίας κατά 6 φορές και της πυκνότητας κατά 1 φορά. Η περιεκτικότητα σε υγρασία στον καβουρδισμένο καφέ ήταν σε όλες τις περιπτώσεις μικρότερη του 2% και είναι σε συμφωνία με τα παραπάνω βιβλιογραφικά δεδομένα.

Παρατηρήθηκε καλή επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων. Επίσης εξαιρετική επαναληψιμότητα παρατηρήθηκε ανάμεσα στις δύο παραγωγές με εξαμηνιαία διαφορά και για τον λόγο αυτό λήφθηκαν οι μέσοι όροι των μετρήσεων όπως φαίνεται στον πίνακα 3.1.2.

Πίνακας 3.1.2: Μεταβολή της % υγρασίας και της πυκνότητας κατά το ψήσιμο

Ονομασία Δείγματος	%Υγρασία	Πυκνότητα (g/L)
ΩΜΟΣ ΞΑΝΘΟΣ	13,52±0,02 ^b	590,02±0,03 ^a
ΩΜΟΣ ΣΚΟΥΡΟΣ	11,09±0,01 ^a	670,69 ±0,02 ^b
^{a,b...} Διαφορετικοί εκθέτες σε κάθε στήλη δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p<0,05)		
ΨΗΜΕΝΟΣ ΞΑΝΘΟΣ	1,79±0,02 ^a	484,74±0,10 ^a
ΨΗΜΕΝΟΣ ΣΚΟΥΡΟΣ	1,81±0,01 ^a	485,32±0,02 ^b
^{a,b...} Διαφορετικοί εκθέτες σε κάθε στήλη δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p<0,05)		

Η υγρασία του ωμού σκούρου καφέ ήταν χαμηλότερη σε σύγκριση με αυτού του ωμού ξανθού καφέ. Κατά το ψήσιμο του ωμού καφέ η υγρασία ελατώθηκε και στα 2 είδη καφέ, και δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Όσον αφορά στην πυκνότητα ο ωμός σκούρος καφές παρουσίασε υψηλότερη τιμή και κατά το ψήσιμο ελαττώθηκε σημαντικά και στα 2 είδη καφέ, με τη μεγαλύτερη μείωση να εμφανίζει ο σκούρος καφές.

Ένα φυσιολογικό εύρος υγρασίας ωμών κόκκων είναι 8-12,5%, τα αποτελέσματα των Adnan et al. [75] που έκαναν μετρήσεις σε ωμούς κόκκους καφέ *Arabica* και *Robusta*, έδειξαν ότι ανώτερες τιμές αύξησαν την πιθανότητα ανάπτυξης μυκήτων και ωχρατοξίνης A.

Για ωμούς κόκκους, τα αποτελέσματα των Pittia et al. [76], έδειξαν τιμές υγρασίας 11,45% για *C. arabica* και 11,26% *C. robusta*. Στις μετρήσεις της παρούσας εργασίας, παρατηρήθηκε ελαφρώς πιο αυξημένη υγρασία στους ωμούς κόκκους ξανθού καφέ που άγγιξε το 13,5%.

Τα αποτελέσματα των Pittia et al. [76], έδειξαν τιμές υγρασίας 1,2-1,6% για θέρμανση στους 90-105 °C. Στις μετρήσεις της παρούσας εργασίας, παρατηρήθηκε ελάχιστα πιο αυξημένη υγρασία στους ψημένους κόκκους που όμως δεν ξεπερνούσε το 1,8%.

Οι μικρές διαφορές στις τιμές ενδεχομένως οφείλονται στο δείγμα που λήφθηκε, στη θερμοκρασία κατά τη δειγματοληψία και στην αρχή μεθόδου του οργάνου ανάλυσης, δεδομένου ότι στην εργασία των Pittia et al. [76] χρησιμοποιήθηκε εργαστηριακός φούρνος αέρα με θερμοκρασίες 90-105 °C.

3.2 Προσδιορισμός pH (ενεργός οξύτητα)

Κάθε υδατικό διάλυμα και κατά συνέπεια και το ρόφημα καφέ έχει μια τιμή pH. Το pH αποτέλεσε μονάδα μέτρησης για την ποσότητα μόνο των H_3O^+ στο διάλυμα και ως εκ τούτου εξέφρασε πόσο όξινο ή αλκαλικό ήταν.

Η οξύτητα του καφέ, όπως προσδιορίστηκε από το pH, οδήγησε σε σημαντικά συμπεράσματα για το οργανοληπτικό προφίλ του καφέ. Το προφίλ του καφέ επηρεάζεται σημαντικά από την παρουσία οργανικών και ανόργανων οξέων. Η πτητικότητα των οξέων αυτών διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στη διαμόρφωση της οξύτητας του τελικού ροφήματος. Ενώ τα πτητικά οξέα απομακρύνθηκαν κατά τη διαδικασία του καβουρδίσματος, τα μη πτητικά οξέα παρέμειναν σε μεγαλύτερο βαθμό. Τα πιο διαδεδομένα οργανικά οξέα περιλαμβάνουν το χλωρογενικό, το καφεϊκό, το μηλικό, το κιτρικό, το κουμαρικό, το φερουλικό και το γαλακτικό οξύ. Από τα ανόργανα οξέα, το φωσφορικό και το θειικό είναι τα πιο συχνά απαντώμενα. Η ελάχιστη τιμή για έναν καφέ χαμηλής οξύτητας είναι 5,5 και πάνω [77].

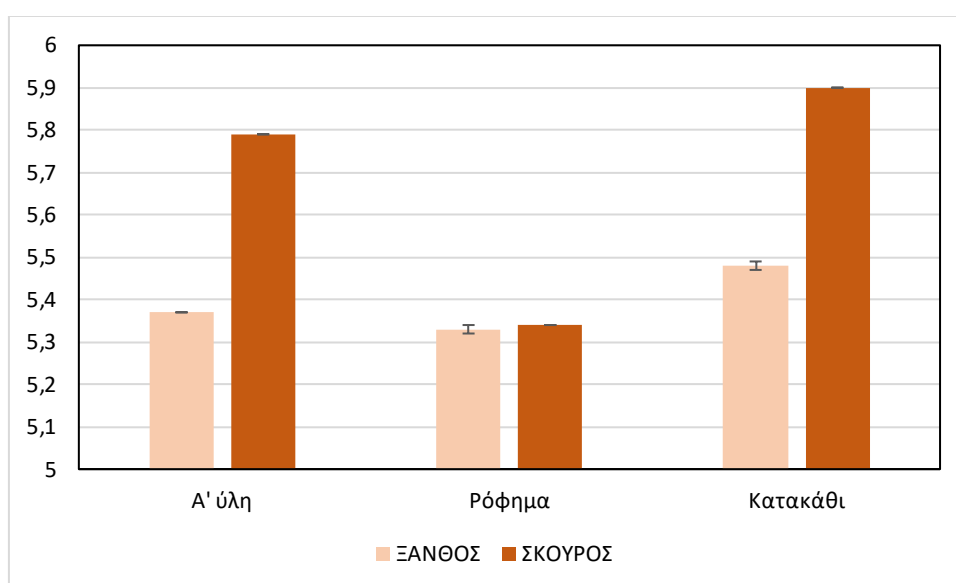
Στον πίνακα 3.2.1 δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων pH στα 2 είδη καφέ. Επιπλέον, δίνεται η μεταβολή του pH στο διάγραμμα 3.2.1

Πίνακας 3.2.1: Αποτελέσματα μετρήσεων pH.

$\Theta = 25,6\text{ }^{\circ}\text{C}$	ΞΑΝΘΟΣ	ΣΚΟΥΡΟΣ
α' ύλη	$5,37 \pm 0,00^{\text{b, A}}$	$5,79 \pm 0,00^{\text{b, B}}$
Ρόφημα	$5,33 \pm 0,01^{\text{a, A}}$	$5,34 \pm 0,00^{\text{a, A}}$
Κατακάθι	$5,48 \pm 0,01^{\text{c, A}}$	$5,90 \pm 0,00^{\text{c, B}}$

a, b,... Διαφορετικοί εκθέτες σε κάθε στήλη δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0,05$)

A, B, ... Διαφορετικοί εκθέτες σε κάθε σειρά δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0,05$)



Διάγραμμα 3.2.1: Αποτελέσματα μετρήσεων pH.

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.2.1 τα ροφήματα είχαν το μικρότερο pH, υψηλότερο τα κατακάθια ενώ οι α' ύλες ενδιάμεσο pH.

Η α' ύλη του ξανθού καφέ ήταν πιο όξινη από την α' ύλη του σκούρου καφέ και αντίστοιχα και το κατακάθι ($p < 0,05$). Τα ροφήματα παρουσίασαν παρόμοιες τιμές pH χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Η έρευνα των Basheer et al. [65] εστίασε αποκλειστικά στη μέτρηση του pH ροφημάτων. Για το ρόφημα της εν λόγω κατηγορίας (Στιγμαϊός Τούρκικος Καφές), το pH ήταν 5,69. Στις μετρήσεις της παρούσας εργασίας το pH ήταν ελαφρώς χαμηλότερο. Στην μελέτη των Basheer et al. [65] δεν διευκρινίστηκαν οι ποικιλίες

που περιείχε ο καφές που είναι καθοριστικός παράγοντας για το pH. Διαφορετικές ποικιλίες έχουν ως συνέπεια διαφορετικά επίπεδα οξέων, όπως χλωρογενικά οξέα, τα οποία επηρεάζουν το pH. Στη μελέτη των Santanatoglia et al. [78] το pH κυμάνθηκε από 4,84 για τον ξανθό καφέ έως 5,15 για τον σκούρο. Γεγονός που επιβεβαίωσε το συμπέρασμα ότι το ξανθό καβούρδισμα παρουσίασε χαμηλότερο pH από το σκούρο.

3.3 Προσδιορισμός ογκομετρούμενης οξύτητας

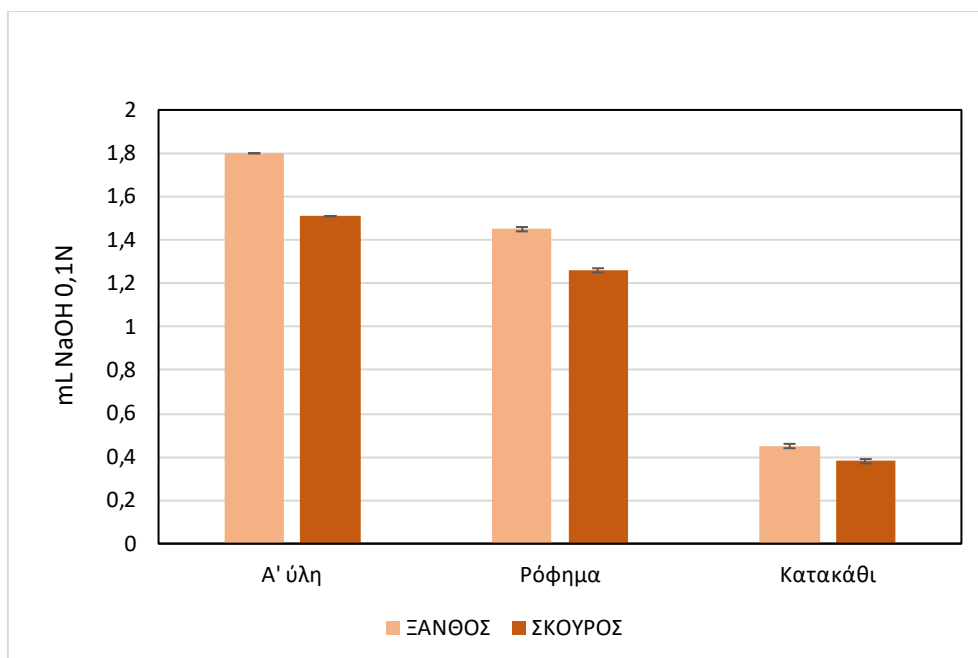
Η οξύτητα του καφέ προέκυψε κυρίως από τρεις κύριες κατηγορίες οξέων: τα αλειφατικά, τα χλωρογενικά και τα αλεικυκλικά-φαινολικά. Παρόλο που τα χλωρογενικά οξέα κυριάρχησαν στον καβουρδισμένο καφέ, η ογκομετρούμενη οξύτητα που έγινε αντιληπτή κατά την κατανάλωση, οφείλεται κυρίως στην παροχή πρωτονίων από συγκεκριμένα οξέα στους υποδοχείς της γλώσσας. Αν και η ακριβής συμβολή του κάθε οξέος στη συνολική οξύτητα του καφέ δεν είναι πλήρως κατανοητή, είναι γνωστό ότι οξέα όπως το κιτρικό, το οξικό και το μηλικό, λόγω της υψηλής συγκέντρωσής τους και των χαμηλών τιμών pKa, συμβάλλουν σημαντικά στη γεύση αυτή. Στον Πίνακα 3.3.1 και το διάγραμμα 3.3.1. δίνεται η οξύτητα της α' ύλης, του ροφήματος και του κατακαθίου του ελληνικού καφέ, εκφρασμένη ως κατανάλωση NaOH 0,1 N (mL), για δείγματα ξανθού και σκούρου ψησίματος.

Πίνακας 3.3.1: Οξύτητα καφέ (mL NaOH 0,1N)

	ΞΑΝΘΟΣ	ΣΚΟΥΡΟΣ
α' ύλη	1,80±0,00 ^{c,B}	1,51±0,00 ^{c,A}
Ρόφημα	1,45±0,01 ^{b,B}	1,26±0,01 ^{b, A}
Κατακάθι	0,45±0,01 ^{a,B}	0,38±0,01 ^{a,A}

^{a, b,...} Διαφορετικοί εκθέτες σε κάθε στήλη δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p<0,05)

^{A, B, ...} Διαφορετικοί εκθέτες σε κάθε σειρά δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p<0,05)



Διάγραμμα 3.3.1: Οξύτητα καφέ

Στην περίπτωση του ξανθού καφέ σε όλα τα στάδια (α' ύλη, ρόφημα, κατακάθι), απαιτήθηκαν περισσότερα mL NaOH 0,1N ($p < 0,05$) για να εξουδετερωθούν τα οξέα που υπήρχαν, γεγονός που επιβεβαιώθηκε και από τη μέτρηση του pH που δείχνει ότι ο ξανθός καφές είναι πιο όξινος από τον σκούρο.

Οι μετρήσεις έδειξαν για την α' ύλη του ξανθού ψησίματος, υψηλότερη οξύτητα σε σύγκριση με την αντίστοιχη του σκούρου ψησίματος. Η διαφορά αυτή υποδήλωσε ότι η πιο εκτεταμένη θερμική επεξεργασία του σκούρου ψησίματος οδήγησε σε μείωση της τιτλοδοτούμενης οξύτητας, πιθανών λόγω της αποδόμησης ή της μετατροπής μέρους των οργανικών οξέων κατά το ψήσιμο.

Στο ρόφημα η οξύτητα ελαττώθηκε και για τις δύο κατηγορίες ψησίματος. Η μείωση αυτή οδήγησε στο συμπέρασμα ότι ένα μέρος των όξινων συστατικών εκχυλίστηκε στο ρόφημα.

Η χαμηλότερη οξύτητα καταγράφηκε στο κατακάθι. Τα αποτελέσματα αυτά έδειξαν ότι μετά την εκχύλιση παρέμεινε μικρό ποσοστό τιτλοδοτούμενων οξέων στο στερεό υπόλειμμα. Συνεπώς μέρος των οξέων που υπήρχαν στις α' ύλες και δεν μεταφέρθηκαν στο ρόφημα, καταστράφηκαν με το βράσιμο και δεν καταβυθίστηκαν στο κατακάθι.

Συνολικά, η οξύτητα ακολούθησε όμοια τάση και στις δύο κατηγορίες ψησίματος (α' ύλη > ρόφημα > κατακάθι).

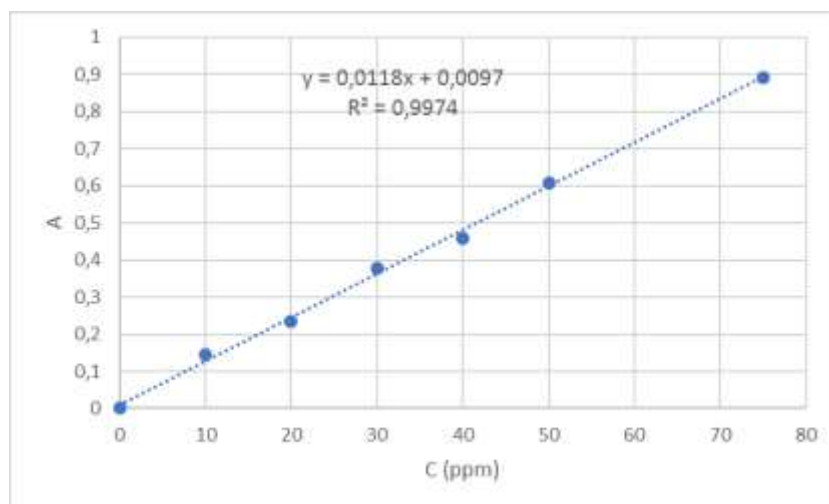
Στην έρευνα των Basheer et al. [65] απαιτήθηκαν $6,7 \pm 0,3$ mL NaOH 0,1N για να εξουδετερωθούν τα οξέα που υπήρχαν. Η διαφορά που υπάρχει συγκριτικά με τα αποτελέσματα ογκομετρούμενης οξύτητας της παρούσας έρευνας, πιθανότατα οφείλεται στις διαφορετικές ποικιλίες.

3.4 Προσδιορισμός φαινολικού περιεχομένου

Η ποσοτικοποίηση των φαινολικών ενώσεων σε ένα δείγμα σύμφωνα με τους Geremu et al. [66], βασίστηκε στην οξειδοαναγωγική αντίδραση από το αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu υπό αλκαλικές συνθήκες. Το αντιδραστήριο αυτό είναι ένα σύνθετο μίγμα φωσφομολυβδαινικών ($H_3PMo_{12}O_{40}$) και φωσφοβολφραμικών ($H_3PW_{12}O_{40}$) ετεροπολυανιόντων, τα οποία αναγκάζονται να αναχθούν από τις φαινολικές ενώσεις, οδηγώντας σε σχηματισμό ενός έντονου μπλε χρώματος λόγω της παρουσίας κυανών οξειδίων του μολυβδαινίου (Mo_8O_{23}) και του βολφραμίου (W_8O_{23}). Η ένταση της απορρόφησης του φωτός στα 765 nm από αυτό το μπλε σύμπλοκο ήταν απευθείας ανάλογη με τη συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων στα δείγματα. Η προσθήκη ανθρακικού νατρίου (Na_2CO_3) παρείχε το αλκαλικό περιβάλλον που ήταν απαραίτητο για την ολοκλήρωση της αντίδρασης.

Για την ποσοτικοποίηση των φαινολικών, ήταν απαραίτητη η κατασκευή μίας πρότυπης καμπύλης, με χρήση πρότυπου διαλύματος γαλλικού οξέος σε διαφορετικές συγκεντρώσεις.

Στο διάγραμμα 3.4.1 φαίνεται η πρότυπη καμπύλη γαλλικού οξέος για προσδιορισμό φαινολικού περιεχομένου.



Διάγραμμα 3.4.1: Πρότυπη καμπύλη γαλλικού οξέος για προσδιορισμό φαινολικού περιεχομένου.

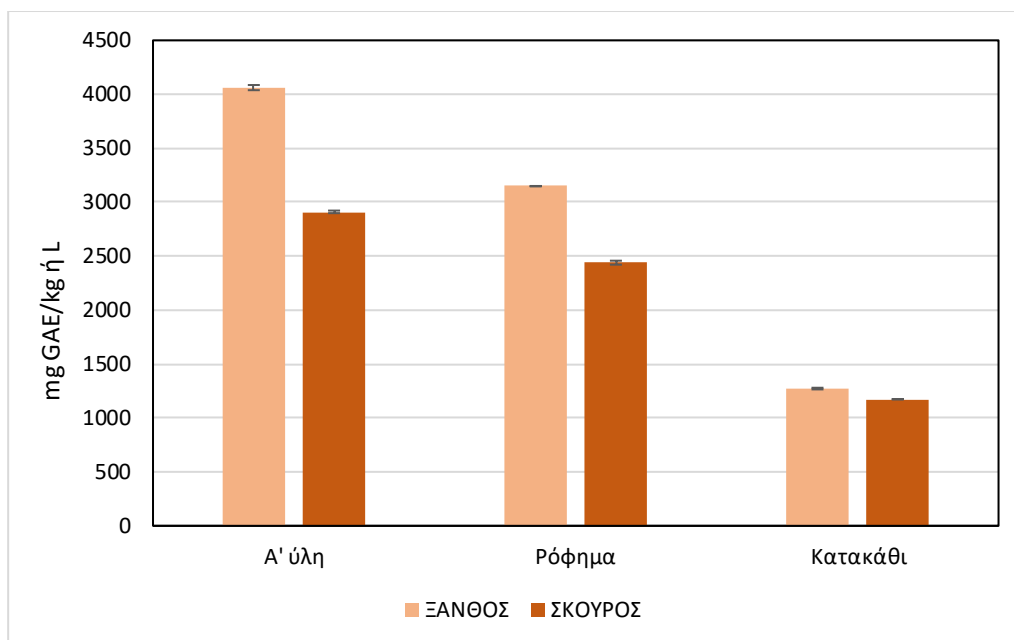
Στον Πίνακα 3.4.1 δίνονται οι συγκεντρώσεις των ολικών φαινολικών ενώσεων στην α' ύλη, το ρόφημα και το κατακάθι του καφέ για δείγματα ξανθού και σκούρου ψησίματος. Παρατηρήθηκε καλή επαναληψιμότητα μεταξύ των παρτίδων με εξαμηνιαία διαφορά παραγωγής γι' αυτό και λήφθηκαν οι μέσοι όροι των αποτελεσμάτων. Στο διάγραμμα 3.4.1. δίνονται σχηματικά οι μεταβολές του ολικού φαινολικού περιεχομένου στα εξεταζόμενα δείγματα.

Πίνακας 3.4.1: Ολικό φαινολικό περιεχόμενο στη α' ύλη, στο ρόφημα και το κατακάθι ελληνικού καφέ ξανθού και σκούρου ψησίματος

Δείγμα	ΞΑΝΘΟΣ	ΣΚΟΥΡΟΣ
α' ύλη (mg/kg)	4.062 ± 24,0 ^{c,B}	2.910 ± 12,0 ^{c,A}
Ρόφημα (mg/L)	3.148 ± 2,1 ^{b,B}	2.439 ± 18,4 ^{b,A}
Κατακάθι (mg/kg)	1.272 ± 7,8 ^{a,B}	1.173 ± 0,7 ^{a,A}

^{a, b,...} Διαφορετικοί εκθέτες σε κάθε στήλη δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0,05$)

^{A, B, ...} Διαφορετικοί εκθέτες σε κάθε σειρά δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0,05$)



Διάγραμμα 3.4.1: Ολικό φαινολικό περιεχόμενο στη α' ύλη, στο ρόφημα και το κατακάθι ελληνικού καφέ ξανθού και σκούρου ψησίματος

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η α' ύλη, το ρόφημα και το κατακάθι του ξανθού καφέ ήταν πλουσιότερα σε φαινολικά σε σύγκριση με τα αντίστοιχα του σκούρου καφέ ($p < 0,05$).

Τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν πως η α' ύλη του ξανθού ψησίματος περιείχε μεγαλύτερη συγκέντρωση ολικών φαινολικών ενώσεων, ενώ η αντίστοιχη του σκούρου ψησίματος εμφάνισε μικρότερη τιμή. Η διαφορά αυτή απέδειξε τον καταλυτικό ρόλο του βαθμού ψησίματος στη διατήρηση των φαινολικών συστατικών, μιας και η εκτενέστερη θερμική επεξεργασία του σκούρου ψησίματος οδήγησε σε μεγαλύτερη αποικοδόμηση ή μετατροπή κάποιων εκ των φαινολικών ενώσεων.

Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρήθηκε και στα ροφήματα. Το ρόφημα από ξανθό ψήσιμο εμφάνισε μεγαλύτερο ολικό φαινολικό περιεχόμενο συγκριτικά με το αντίστοιχο του σκούρου ψησίματος. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν ότι η εκχύλιση από την α' ύλη μεταφέρθηκε σημαντικό ποσοστό των φαινολικών ενώσεων στο ρόφημα, χωρίς όμως να επιτευχθεί πλήρης εκχύλισή τους.

Στο κατακάθι, οι συγκεντρώσεις των ολικών φαινολικών ενώσεων περιορίστηκαν σημαντικά, γεγονός που φανέρωσε ότι μεγάλο μέρος των ενώσεων αυτών είχε εκχυλιστεί κατά την παρασκευή του καφέ. Παρότι οι διαφορές μεταξύ των δύο κατηγοριών ήταν πιο περιορισμένες συγκριτικά με την α' ύλη και το ρόφημα, το ξανθό ψήσιμο παρουσίασε και σε αυτή την περίπτωση μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε φαινολικές ενώσεις.

Η περιεκτικότητα σε ολικά φαινολικά ακολούθησε όμοια σειρά και για τα δύο ψησίματα (α' ύλη > ρόφημα > κατακάθι), ενώ σε όλα τα στάδια τα δείγματα του ξανθού ψησίματος παρουσίασαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από τα αντίστοιχα του σκούρου.

Οι Geremu et al [66] βρήκαν μία περιεκτικότητα μεταξύ 18,1 και 489,5 mg GAE/g νωπού πολτού. Η συγκεκριμένη μελέτη εστίασε στη μέτρηση πολυφαινολών σε πολύ ώριμων καρπών καφέ από απόβλητα υγρών μονάδων επεξεργασίας συνεπώς τα δείγματα δεν ήταν συγκρίσιμα. Στην ωμή α' ύλη και στο ρόφημα οι ποσότητες πολυφαινολών ήταν σημαντικά μεγαλύτερες. Στη μελέτη των Gloess et al. [79], οι τιμές κυμάνθηκαν από 800 έως 2500 mg GAE/L (ppm) ανάλογα με τη μέθοδο εκχύλισης του ροφήματος (espresso, φίλτρου κ.λπ.).

3.5 Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής ικανότητας με τη μέθοδο DPPH

Η μέθοδος DPPH βασίζεται στην ικανότητα των αντιοξειδωτικών να δωρίζουν ένα ηλεκτρόνιο ή μια ρίζα H• στη σταθερή ρίζα DPPH•. Αυτή η αντίδραση οδηγεί στην αναγωγή του DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, 2,2-διφαινυλο-1-πικρυλυδραζίδιο) προς υδραζίνη όταν αντιδρά με δότες υδρογόνου, όπως αντιοξειδωτικά, με αποτέλεσμα την απώλεια του χαρακτηριστικού πορφυρού χρώματός του και τη μετατροπή του σε μια κίτρινη μορφή. Η μείωση της απορρόφησης του φωτός στα 517 nm, που σχετίζεται με την συγκέντρωση της ρίζας DPPH, είναι ανάλογη με την αντιοξειδωτική ικανότητα του δείγματος. Όσο μικρότερη η απορρόφηση, δηλαδή όσο πιο πολύ εξασθενεί το πορφυρό χρώμα και επικρατεί το κίτρινο, τόσο καλύτερη η αντιοξειδωτική ικανότητα του αντιοξειδωτικού.

Η αποτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας κάθε δείγματος πραγματοποιήθηκε με μέτρηση της % αναστολής της ρίζας DPPH σύμφωνα με τη σχέση $\% \text{ RSA} = (A_0 - A_s) / A_0 \times 100$ όπου:

- A_0 : απορρόφηση καθαρού DPPH (control sample)
- A_s : η απορρόφηση του δείγματος μετά από 30 min αναμονής στο σκοτάδι.

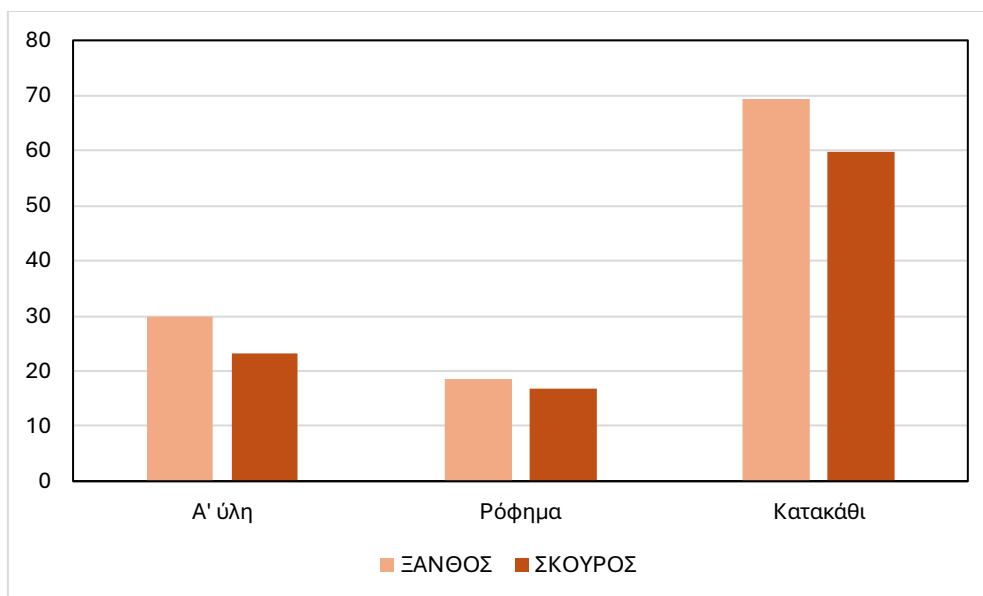
Όσο μεγαλύτερη η % αναστολή, τόσο μεγαλύτερη και η αντιοξειδωτική δράση.

Στον πίνακα 3.5.1 και στο διάγραμμα 3.5.1. δίνεται η αντιοξειδωτική ικανότητα (% RSA, *Radical Scavenging Activity*) της α' ύλης, του ροφήματος και του κατακαθιού ελληνικού καφέ, ξανθού και σκούρου ψησίματος και στο διάγραμμα 3.5.1..

Εξαιρετική επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων σημειώθηκε ανάμεσα στις 2 παρτίδες καφέ με εξαμηνιαία διαφορά παραγωγής, για τον λόγο αυτό λήφθηκαν οι μέσοι όροι των αποτελεσμάτων.

Πίνακας 3.5.1: Προσδιορισμός ποσοστού % αναστολής ρίζας (DPPH) στα δείγματα καφέ

Δείγμα	% RSA
α' ύλη ξανθού	29,98% ± 0,00
Ρόφημα ξανθού	18,66% ± 0,00
Κατακάθι ξανθού	69,22% ± 0,00
α' ύλη σκούρου	23,12% ± 0,00
Ρόφημα σκούρου	16,94% ± 0,00
Κατακάθι σκούρου	59,79% ± 0,00



Διάγραμμα 3.5.1: Προσδιορισμός ποσοστού % αναστολής ρίζας (DPPH) στα δείγματα καφέ

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η α' ύλη του ξανθού ψησίματος παρουσίασε καλύτερη αντιοξειδωτική ικανότητα σε σύγκριση με την αντίστοιχη του σκούρου ψησίματος. Η διαφορά οφείλεται στην ικανότητα διατήρησης των αντιοξειδωτικών συστατικών, στα δείγματα που υπέστησαν πιο ελαφρύ ψήσιμο. Η αντιοξειδωτική ικανότητα ακολούθησε διαφορετική πορεία από εκείνη των ολικών φαινολικών.

Στα ροφήματα, η αντιοξειδωτική ικανότητα ελαττώθηκε και στις δύο κατηγορίες ψησίματος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τμήμα των αντιοξειδωτικών συστατικών εκχυλίστηκε στο ρόφημα και υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα εμφανίστηκε στο ξανθό ρόφημα έναντι του σκούρου.

Η υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα παρατηρήθηκε στο κατακάθι και των 2 ειδών καφέ. Η αυξημένη αντιοξειδωτική ικανότητα αποδίδεται στην υπερσυγκέντρωση των αντιοξειδωτικών συστατικών στο κατακάθι λόγω υπερσυμπύκνωσης.

Τα αποτελέσματα συμφώνησαν με την παραδοχή, σύμφωνα με την οποία το εντονότερο ψήσιμο ελαττώνει τη συνολική αντιοξειδωτική ικανότητα λόγω της καταστροφής θερμοευαίσθητων φαινολικών ενώσεων.

Το γεγονός ότι η αντιοξειδωτική ικανότητα ήταν μεγαλύτερη στα τρία προϊόντα του ξανθού καφέ από τα αντίστοιχα του σκούρου καφέ, βρίσκεται σε συμφωνία με τα ευρήματα των Bobkoná et al. [80]. Οι ερευνητές πραγματοποίησαν μελέτη σε εκχυλίσματα α' ύλης με διαφορετικό καβούρδισμα και απέδειξαν χαμηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα για το σκούρο ψήσιμο. Στη μελέτη των Bobkoná et al. [80], το ανοιχτόχρωμο καβούρδισμα πέτυχε έως και 78,55% αναστολή DPPH ενώ το σκούρο καβούρδισμα πέτυχε 69,08% αναστολή.

Τα αποτελέσματα των Geremu et al. [66] έδειξαν δραστικότητα σε μεθανολικά εκχυλίσματα, που κυμάνθηκε από 17,3% έως 70,2%. Η συγκεκριμένη μελέτη εστίασε στη μελέτη της δραστικότητας κατά των ελευθέρων ριζών, σε πολύ ώριμων καρπών καφέ από απόβλητα υγρών μονάδων επεξεργασίας, συνεπώς τα δείγματα δεν ήταν συγκρίσιμα διότι η συγκεκριμένη μελέτη εξέτασε ωμή α' ύλη.

3.6 Προσδιορισμός θολερότητας

Στον Πίνακα 3.6.1 δίνονται τις τιμές της θολερότητας (NTU) των ροφημάτων ελληνικού καφέ ξανθού και σκούρου ψησίματος σε θερμοκρασία 27,0°C, κατά τη διάρκεια της καταβύθισης των αιωρούμενων σωματιδίων από 20 έως 60 λεπτά με δειγματοληψίες ανά 5 λεπτά. Στα πρώτα 20 λεπτά δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις γιατί ο καφές αφέθηκε να κρυώσει και να φτάσει σε θερμοκρασία 27,0°C. Στο Διάγραμμα 3.6.1 δίνεται σχηματικά η μεταβολή της θολερότητας για τα ροφήματα των 2 ειδών καφέ.

Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η θολερότητα μειώθηκε σταδιακά με την πάροδο του χρόνου και στα δύο είδη ψησίματος. Η προοδευτική μείωση της θολερότητας υποδήλωσε ότι όσο αυξανόταν ο χρόνος παραμονής του ροφήματος, τόσο περισσότερα στερεά αιωρούμενα σωματίδια απομακρυνόταν από την υγρή φάση και καταβυθίστηκαν στον πυθμένα.

Πίνακας 3.6.1: Αποτελέσματα θολερότητας ροφημάτων, T =27,0°C

Χρόνος	Ξανθός	Σκούρος
(min)	Θολερότητα (NTU)	Θολερότητα (NTU)
20	99,0±1,41	27,5±0,71
25	69,5±0,71	18,5±0,71
30	49,5±0,71	17,0±0,00
35	49,0±1,41	15,5±0,71
40	46,0±0,00	15,0±0,00
45	43,5±0,71	14,5±0,71
50	40,5±0,71	12,5±0,71
55	38,5±0,71	12,0±0,00
60	32,5±0,71	11,0±0,00

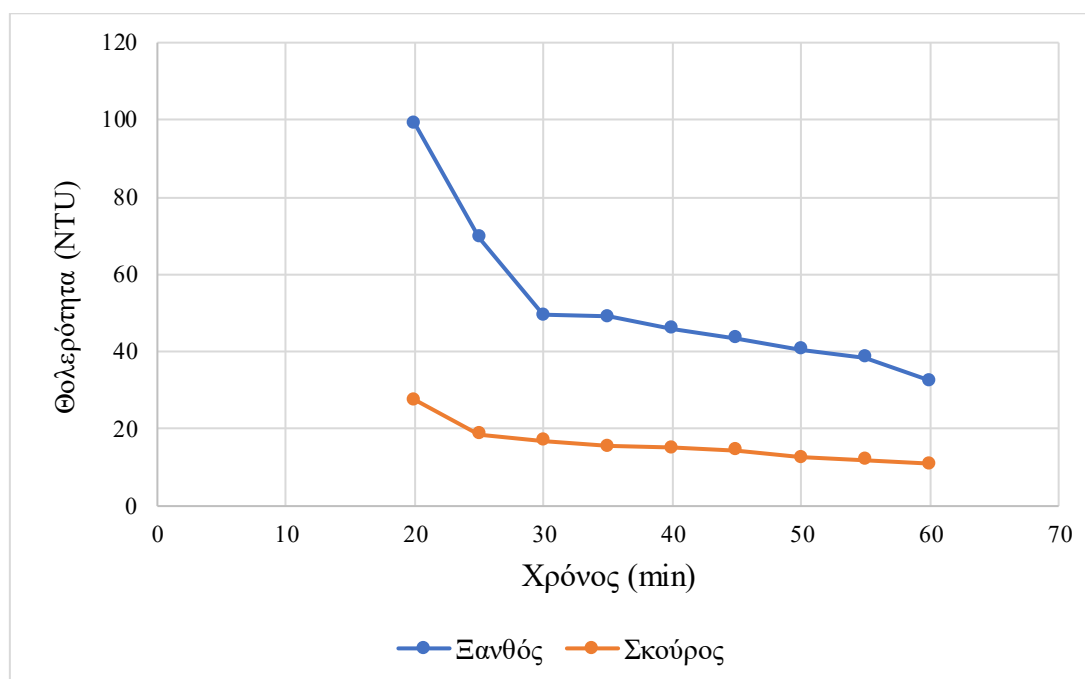
Το ρόφημα του ξανθού ψησίματος εμφάνισε υψηλότερες τιμές θολερότητας σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Η μεγαλύτερη μείωση σημειώθηκε στα πρώτα λεπτά της καθίζησης, ενώ στη συνέχεια ο ρυθμός ελαττώθηκε, επιβεβαιώνοντας ότι τα μεγαλύτερα σωματίδια καθίζησαν αρχικά και με βραδύτερο ρυθμό ακολούθησε η καταβύθιση των λεπτόκοκκων σωματιδίων.

Το ρόφημα του σκούρου καφέ έδειξε σημαντικά χαμηλότερες τιμές θολερότητας σε όλες τις χρονικές μετρήσεις. Η θολερότητα μειώθηκε από αρχική τιμή $27,5 \pm 0,71$ NTU στα 20 λεπτά σε $11 \pm 0,00$ NTU στα 60 λεπτά, αποτέλεσμα που ισούται με μείωση περίπου 60%. Οι μικρότερες τιμές επιβεβαίωσαν ότι το ρόφημα του σκούρου ψησίματος περιείχε λιγότερα σωματίδια που καθίζησαν ταχύτερα σε σύγκριση με το ξανθό ρόφημα.

Το ξανθό ρόφημα διατήρησε υψηλότερη θολερότητα σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων ενώ το σκούρο ρόφημα ήταν πιο διαυγές με χαμηλότερη θολερότητα. Παρατηρήθηκε μάλιστα ότι η τιμή θολερότητας του ξανθού καφέ μετά το πέρας 60 λεπτών ήταν περίπου ίση με την τιμή θολερότητας του σκούρου καφέ στην πρώτη μέτρηση δηλαδή στα 20 λεπτά όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3.6.1. Συνεπώς ο ξανθός

καφές εμφάνισε αρκετά περισσότερα αιωρούμενα και αδιάλυτα σωματίδια και αυτό έγινε αντιληπτό και κατά τη γευστική δοκιμή, αφού στο υπερκείμενο ηπήρξαν κόκκοι.

Τα αποτελέσματα αυτά συμφώνησαν με την παραδοχή, σύμφωνα με την οποία ο βαθμός ψήσιματος μεταβάλλει τη δομή των αλεσμένων κόκκων και τη συμπεριφορά των αιωρούμενων σωματιδίων, με συνέπεια τα ροφήματα από σκουρότερο ψήσιμο να παρουσιάζουν ελαττωμένη θολερότητα και ταχύτερη καθίζηση.



Διάγραμμα 3.6.1: Μεταβολή θολερότητας ροφήματος ξανθού και σκούρου καφέ συναρτήσει του χρόνου.

3.7 Αντικειμενική Μέτρηση Χρώματος

Το χρώμα των τροφίμων είναι καθοριστικός παράγοντας για την αξία τους, σημαντικότερος από τη γεύση και το άρωμά τους, γιατί η ελκυστική όψη τους είναι το αρχικό ερέθισμα για τον καταναλωτή και καθορίζει το κριτήριο αγοράς.

Το χρώμα του καφέ προκαλείται από χημικές και φυσικές αλλαγές που προκύπτουν στις φάσεις της ανάπτυξης, συγκομιδής και επεξεργασίας και τέλος κατά το ψήσιμο. Το καφέ χρώμα του ψημένου καφέ οφείλεται σε αντιδράσεις κατά το ψήσιμο μια και οι κόκκοι του ωμού καφέ έχουν ελαφρώς πρασινο-κιτρινο χρώμα. Κατά το ψήσιμο πραγματοποιείται η αντίδραση Maillard (μη ενζυμική αμαύρωση). Καρβονυλ-ενώσεις με αμινο-ενώσεις παράγουν σκούρες χρωστικές κολλοειδούς φύσης και αμφιβόλου (ξεκάθαρης) σύστασης, τις μελανοΐδινες. Οι ταχύτητα της αντίδρασης είναι συνηστώσα των αρχικών προϊόντων και των συνθηκών αντίδρασης. Σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη χρώματος παίζει η καραμελλοποίηση. Με τη θέρμανση των πεντοζών σχηματίζεται φουρφουράλη και πολυμερίζεται σε καφέ προϊόντα. Κατά τη θέρμανση των εξοζών σχηματίζεται υδροξυμεθυλοφουρφουράλη και πολυμερίζεται αντίστοιχα.

Το χρώμα ενός σώματος είναι το συνέπεια της αλληλεπίδρασης της ορατής ακτινοβολίας (380-730 nm) με το σώμα αυτό. Η ανακλώμενη ακτινοβολία από το σώμα είναι το ερέθισμα που δέχεται ο οφθαλμός. Η πλήρης ανάκλαση της ακτινοβολίας είναι το λευκό χρώμα ενώ η πλήρης απορρόφηση είναι το μαύρο χρώμα. Κάθε χρώμα ανακλά ένα διαφορετικό κύματος κι έτσι γίνεται αντιληπτό από τον οφθαλμό.

Η μέτρηση του χρώματος έγινε με όργανο που περιλάμβανε μία πηγή φωτός η οποία υπό γωνία «έπεφτε» στο δείγμα και έναν δέκτη (πρίσμα για την ανάλυση της ανακλώμενης ακτινοβολίας) ο οποίος ήταν τοποθετημένος υπό γωνία (αντίθετα από την ακτινοβολία που χτυπά το δείγμα) [81].

Το χρώμα περιγράφεται με τρία χαρακτηριστικά:

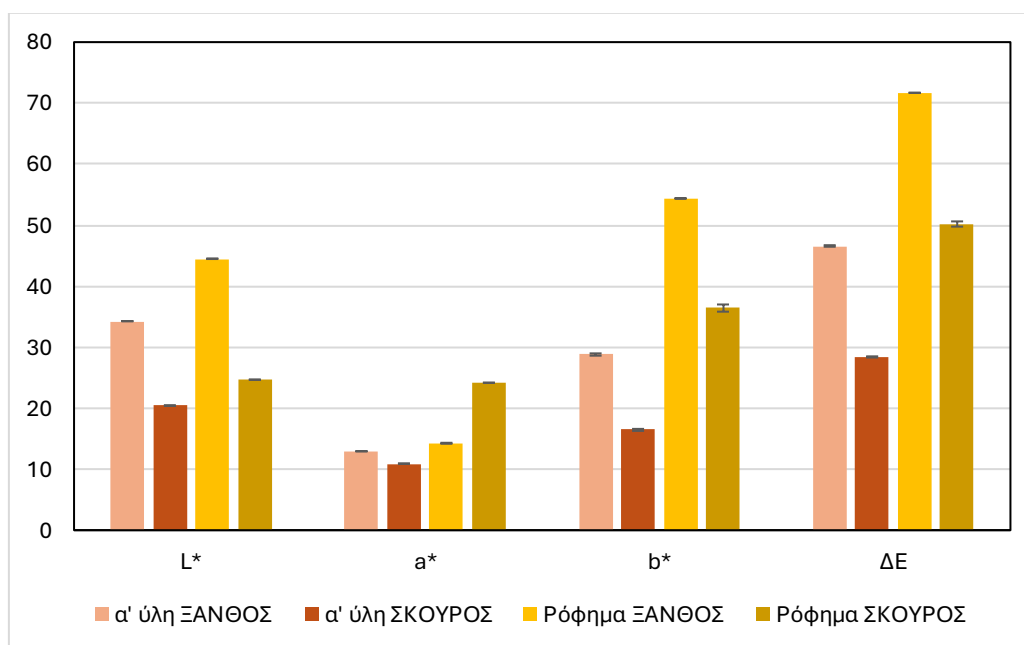
1. Απόχρωση: χρώμα (κόκκινο, πράσινο, πορτοκαλί κτλ.) Η αρχική εντύπωση.
2. Κορεσμός : ένταση του χρώματος
3. Φωτεινότητα: φωτεινά ή σκοτεινά

Το όργανο μέτρησης του χρώματος περιείχε σύστημα καταγραφής με τις τρεις αναφερόμενες παραμέτρους ($L^*a^*b^*$) για τον χαρακτηρισμό του χρώματος.

Στον Πίνακα 3.7.1 και το διάγραμμα 3.7.1. δίνονται οι τιμές των παραμέτρων L^* , a^* , b^* και ΔE των δειγμάτων α' ύλης και του ροφήματος του σκούρου και ξανθού καφέ.

Πίνακας 3.7.1: Αποτελέσματα μέτρησης χρώματος σε α' ύλη και ρόφημα

	L^*	a^*	b^*	ΔE
α' ύλη ξανθός	34,26±0,03	12,94±0,02	28,80±0,19	46,59±0,13
α' ύλη σκούρος	20,43±0,03	10,91±0,06	16,44±0,17	28,4±0,10
Ρόφημα ξανθός	44,50±0,05	14,25±0,08	54,38±0,03	71,70±0,02
Ρόφημα σκούρος	24,67±0,02	24,17±0,03	36,41±0,59	50,19±0,43



Διάγραμμα 3.7.1: Αποτελέσματα μέτρησης χρώματος σε α' ύλη και ρόφημα

Η συνολική μεταβολή του χρώματος ΔE υπολογίστηκε με τη βοήθεια της εξίσωσης:

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta A)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

Οι μετρήσεις χρώματος έδειξαν εμφανείς διαφορές μεταξύ της α' ύλης και των ροφημάτων, όπως επίσης και μεταξύ των μεθόδων καβουρδίσματος. Οι τιμές που προέκυψαν από τις μετρήσεις χρώματος επιβεβαίωσαν τους χαρακτηρισμούς «ξανθός» και «σκούρος» καφές. Ειδικότερα, τα δείγματα που εμφάνισαν υψηλότερες τιμές φωτεινότητας (L^*) παρουσίασαν πιο ανοιχτή απόχρωση, γεγονός που υποδηλώνει ηπιότερο βαθμό καβουρδίσματος. Αντίθετα, τα δείγματα με χαμηλότερες τιμές L^* εμφάνισαν πιο σκούρο χρωματισμό, χαρακτηριστικό εντονότερου καβουρδίσματος. Η μείωση της τιμής L^* στο σκούρο καβούρδισμα ήταν φυσικό επακόλουθο, μιας και η εντονότερη θερμική επεξεργασία είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σκουρόχρωμων παραγώγων των αντιδράσεων Maillard και της καραμελοποίησης.

Οι διαφορές στις παραμέτρους a^* και b^* υποδεικνύουν μεταβολές στις ερυθρές και κιτρινωπές αποχρώσεις των δειγμάτων, οι οποίες σχετίζονται με τις χημικές μεταβολές που λαμβάνουν χώρα κατά τη διαδικασία του καβουρδίσματος.

Οι τιμές a^* ήταν λίγο υψηλότερες στην α' ύλη ξανθού συγκριτικά με τη σκούρα α' ύλη, δείχνοντας εντονότερη παρουσία ερυθρών αποχρώσεων. Στα ροφήματα η τιμή a^* ήταν αυξημένη στο σκούρο ρόφημα, το οποίο εμφάνισε εντονότερη ερυθροκαστανή χροιά, ενώ στο ξανθό ρόφημα χαμηλότερη.

Οι τιμές b^* , που είναι χαρακτηριστικές της έντασης της κίτρινης απόχρωσης, ήταν υψηλότερες στο ξανθό καβούρδισμα στην α' ύλη και στο ρόφημα. Τα δείγματα ξανθού καβουρδίσματος κράτησαν πιο έντονες κίτρινες αποχρώσεις, ενώ το σκούρο καβούρδισμα κατέστρεψε την κιτρινότητα λόγω της παραγωγής σκουρότερων χρωστικών.

Σημαντικό είναι επίσης το γεγονός ότι τα ροφήματα έδωσαν υψηλότερες τιμές L^* και b^* από τις α' ύλες, γεγονός που οφείλεται στην αραίωση στο στάδιο της εκχύλισης και στη διαφορετική οπτική απόκριση του υγρού δείγματος συγκριτικά με το στερεό.

Οι τιμές ΔE ήταν μεγαλύτερες στα ροφήματα συγκριτικά με τις α' ύλες και σε όλες τις περιπτώσεις ήταν σημαντικά μεγαλύτερες από το όριο οπτικής αντίληψης

($\Delta E > 3$). Οι χρωματικές διαφορές ήταν έντονες και αντιληπτές και με οπτική παρατήρηση.

Συμπερασματικά, το ξανθό καβούρδισμα χαρακτηρίστηκε από εντονότερη φωτεινότητα και πιο κίτρινο χρώμα, ενώ το σκούρο καβούρδισμα από πιο έντονη ερυθροκαστανή χροιά.

3.8 Ταυτοποίηση πτητικών ενώσεων με την τεχνική μικροεκχύλισης στερεάς φάσης (SPME) σε συνδυασμό με αέρια χρωματογραφία - φασματομετρία μάζας (GC/MS).

Η ποικιλία των αρωμάτων και των γεύσεων του καφέ οφείλεται στην πολύπλοκη χημική του σύνθεση. Οι κόκκοι καφέ περιείχαν ποικίλες διαφορετικές ενώσεις, πολλές από τις οποίες παρήχθησαν κατά το καβούρδισμα. Αυτές οι ενώσεις, όπως οι πτητικές οργανικές ενώσεις (π.χ., αλδεΐδες, εστέρες), ήταν υπεύθυνες για το χαρακτηριστικό άρωμα του καφέ, ενώ άλλες, όπως τα χλωρογενικά οξέα, συνέβαλλαν στη γεύση και την οξύτητα. Οι διαφορετικές ποικιλίες καφέ, οι συνθήκες καλλιέργειας και οι μέθοδοι επεξεργασίας επηρέασαν σημαντικά την περιεκτικότητα των κόκκων σε αυτές τις ενώσεις [82].

3.8Α Προφίλ πτητικών ενώσεων του ελληνικού καφέ- Ποιοτικοί

Προσδιορισμοί

Στην α' ύλη ξανθού καφέ απομονώθηκαν και ταυτοποιήθηκαν 54 ενώσεις, ενώ στην α' ύλη σκούρου καφέ 85 ενώσεις. Στο ρόφημα ξανθού και σκούρου καφέ απομονώθηκαν και ταυτοποιήθηκαν συνολικά 28 και 39 ενώσεις αντίστοιχα. Είναι φανερό ότι ο σκούρος καφές ο οποίος είχε ψηθεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες φέρει μεγαλύτερη ποικιλία ενώσεων. Επίσης όπως φάνηκε και αριθμητικά, στο ρόφημα δεν μεταφέρθηκαν όλες οι ενώσεις που υπήρχαν στην α' ύλη. Αυτό πιθανόν οφείλεται είτε στο γεγονός ότι δεν εκχυλίστηκαν όλες στο νερό, είτε στο γεγονός ότι κάποιες μπορεί να καταστράφηκαν κατά τον βρασμό. Στο κατακάθι δεν πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις πτητικών διότι στις δοκιμές εμφανίστηκαν πολύ αδύναμες κορυφές. Οι ενώσεις που ταυτοποιήθηκαν κατηγοριοποιήθηκαν σε υδρογονάνθρακες, αλδεΐδες, αλκοόλες, ακετάλες, αλκυλαλογονίδια, κετόνες, οξέα, νιτρίλια, αμίνες-αζωτούχα συστατικά, θειούχα συστατικά, φουράνιο και παράγωγα, πυραζίνες και παράγωγα,

πυρρόλιο και παράγωγα, πυριδίνη και παράγωγα, παράγωγα ινδολίου, πυριμιδίνη και παράγωγα, παράγωγα στυρολίου, λακτόνες και εστέρες.

3.8.B Ποσοτικοί προσδιορισμοί

Στους Πίνακες 3.8.B1. και 3.8.B2. δίνονται οι ημιποσοστικοί προσδιορισμοί των πτητικών ενώσεων που ανιχνεύθηκαν στην α' ύλη και το ρόφημα του ξανθού και σκούρου καφέ, αντίστοιχα.

Στο διάγραμμα 3.8.B1 φαίνεται η κατανομή πτητικών ενώσεων ανά κατηγορία στην α' ύλη ξανθού καφέ. Σε ποσοστό 50% κυριαρχούν οι πυραζίνες και ακολουθούν κετόνες, αλκοόλες και αλδεΐδες.

Οι πτητικές ενώσεις της α' ύλης ξανθού καβουρδίσματος καφέ απέδειξε το σύνθετο αρωματικό προφίλ, στο οποίο μονοπώλησαν ενώσεις που ήταν προϊόντα των αντιδράσεων Maillard, της θερμικής αποικοδόμησης σακχάρων και, σε μικρότερο βαθμό, φαινολικές και οξικές ενώσεις. Το δείγμα παρουσίασε υψηλή παρουσία πυραζινών, φουρανικών παραγώγων και περιορισμένη παρουσία φαινολών και οξέων.

Οι πυραζίνες ήταν κυρίαρχη κατηγορία τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά. Μεγάλες συγκεντρώσεις παρουσίασαν η 2,5-διμεθυλοπυραζίνη, η μεθυλοπυραζίνη, η 2-αιθυλο-3-μεθυλοπυραζίνη, η 2-αιθυλο-6-μεθυλοπυραζίνη και η 2-αιθυλο-5-μεθυλοπυραζίνη. Οι ενώσεις αυτές ήταν χαρακτηριστικά προϊόντα των αντιδράσεων Maillard και προσέδωσαν αρώματα καβουρδισμένων ξηρών καρπών, κακάο και δημητριακών. Η εκτεταμένη παρουσία πολυ-υποκατεστημένων πυραζινών αιτιολογεί έντονη, αλλά όχι υπερβολική, θερμική επεξεργασία.

Πίνακας 3.8.B1: Ημιποσοστικός προσδιορισμός των πτητικών ενώσεων στην α' ύλη
& στο ρόφημα ξανθού καφέ.

Χημική ομάδα	Χημική ένωση	Α' ύλη (ppm)	Ρόφημα (ppb)
Πυραζίνες	Πυραζίνη	0,402 ± 0,194	–
	Μεθυλοπυραζίνη	5,416 ± 2,667	8,984 ± 4,295
	Αιθυλοπυραζίνη	1,791 ± 0,776	28,906 ± 26,881
	Ακετυλοπυραζίνη	1,075 ± 0,857	–
	1-(6-Μεθυλο-2-πυραζινυλο)-αιθανόνη	0,686 ± 0,740	–
	2,3-Διμεθυλοπυραζίνη	1,429 ± 0,720	–
	2,5-Διμεθυλοπυραζίνη	7,919 ± 3,622	–
	2,6-Διμεθυλοπυραζίνη	–	31,642 ± 29,199
	2,3-Διμεθυλο-5-αιθυλοπυραζίνη	0,527 ± 0,198	–
	2,6-Διαιθυλοπυραζίνη	0,565 ± 0,206	7,511 ± 6,124
	2-Αιθυλο-3-μεθυλοπυραζίνη	3,099 ± 1,974	–
	2-Αιθυλο-5-μεθυλοπυραζίνη	2,184 ± 0,803	–
	2-Αιθυλο-6-μεθυλοπυραζίνη	2,723 ± 0,962	26,423 ± 15,409
	2-Αιθυλο-3,5-διμεθυλοπυραζίνη	0,509 ± 0,193	–
	3,5-Διαιθυλο-2-μεθυλοπυραζίνη	0,571 ± 0,245	6,820 ± 5,156
	3-Αιθυλο-2,5-διμεθυλοπυραζίνη	1,493 ± 0,752	19,490 ± 17,232
	5-Μεθυλο-6,7-διυδροκυκλοπεντα[b]πυραζίνη	0,373 ± 0,138	–
Κετόνες	1-(2-Φουρανυλο)-αιθανόνη	0,711 ± 0,351	–
	1-(Ακετυλοξυ)-2-βουτανόνη	0,339 ± 0,211	–
	1-Υδροξυ-2-προπανόνη	1,158 ± 0,692	–
	2-Μεθυλοτετραϋδροφουραν-3-όνη	1,106 ± 0,728	–
	3-Υδροξυ-2-βουτανόνη	0,311 ± 0,192	–
Αλκοόλες	2,3-Βουτανοδιόλη	0,755 ± 0,375	–
	2-Φουρανμεθανόλη	9,189 ± 4,887	–
Αλδεΐδες	2-Φουραναλδεΐδη	2,722 ± 2,724	–
	5-Μεθυλο-2-φουραναλδεΐδη	4,863 ± 2,528	–
	Βενζαλδεΐδη	0,499 ± 0,224	–
	2-Μεθυλοπροπανάλη	–	5,198 ± 4,096
	3-Μεθυλοβουταναλδεΐδη	–	11,798 ± 10,606
	2-Μεθυλοβουταναλδεΐδη	–	23,553 ± 17,317
	Εξανάλη	–	3,976 ± 2,334
Φαινόλες	2-Μεθοξυ-4-βινυλοφαινόλη	0,563 ± 0,533	–
Καρβοξυλικά οξέα	Οξικό οξύ	3,406 ± 1,700	–
Αιθέρες	Διμεθοξυμεθάνιο	–	12,677 ± 11,792
Εστέρες	Οξικός εστέρας της 2-φουρανμεθανόλης	–	18,701 ± 19,483
Λοιπές ετεροκυκλικές ενώσεις	1-(2-Φουρανυλομεθυλο)-1H-πυρρόλη	0,339 ± 0,127	–
	Πιμοξίνη	1,831 ± 0,980	–
Διάφορα	Διχλωρομεθάνιο	–	5,146 ± 5,691

Πίνακας 3.8.B2: Ημιποσοτικός προσδιορισμός των πτητικών ενώσεων που ανιχνεύθηκαν στην α' ύλη και στο ρόφημα σκούρου καφέ.

Χημική ομάδα	Χημική ένωση	Α' ύλη (ppm)	Ρόφημα (ppb)
Πυραζίνες & Αζωτούχες ενώσεις	Πυραζίνη	0,783 ± 0,750	–
	1-Μεθυλοπιπεριδίνη	0,959 ± 0,989	–
	Μεθυλοπυραζίνη	7,895 ± 7,263	25,856 ± 24,591
	Αιθυλοπυραζίνη	2,565 ± 1,992	27,874 ± 23,897
	2,3-Διμεθυλοπυραζίνη	1,588 ± 1,225	–
	2-Αιθυλο-6-μεθυλοπυραζίνη	3,819 ± 2,352	27,432 ± 22,712
	2-Αιθυλο-5-μεθυλοπυραζίνη	2,565 ± 1,551	–
	2-Αιθυλο-3-μεθυλοπυραζίνη	–	36,360 ± 41,323
	3-Αιθυλο-2,5-διμεθυλοπυραζίνη	–	19,255 ± 15,848
	2-Ακετυλοπυραζίνη	1,542 ± 1,586	–
	1-(2-Πυριδινυλο)-αιθανόνη	0,839 ± 0,813	–
	5-Μεθυλο-6,7-διυδροκυκλοπεντα[β]πυραζίνη	1,020 ± 0,629	–
	2,3-Διαιθυλο-5-μεθυλοπυραζίνη	0,622 ± 0,395	–
	Πυριδίνη	8,145 ± 9,455	–
	1-(6-Μεθυλο-2-πυραζινυλο)-αιθανόνη	2,409 ± 2,225	–
Αλδεΐδες & Κετόνες	3-Υδροξυ-2-βουτανόνη	0,525 ± 0,557	–
	3-Μεθυλο-2-κυκλοπεντεν-1-όνη	0,312 ± 0,238	–
	1-(Ακετυλοξυ)-2-βουτανόνη	0,937 ± 0,752	–
	Βενζαλδεΐδη	0,654 ± 0,315	–
	2-Μεθυλοπροπανόλη	–	3,067 ± 2,445
	3-Μεθυλοβουτανάλδεΐδη	–	6,840 ± 5,982
	2-Μεθυλοβουτανάλδεΐδη	–	14,436 ± 13,057
Οξέα & Εστέρες	Οξικό οξύ	3,460 ± 2,254	–
	Οξικός εστέρας της 2-φουρανομεθανόλης	6,817 ± 3,908	86,275 ± 81,503
Αλκοόλες & Φαινόλες	2,3-Βουτανοδιόλη	0,441 ± 0,240	–
	2-Φουρανομεθανόλη	23,902 ± 16,293	7,332 ± 1,138
	2-Μεθοξυ-4-βινυλοφαινόλη	2,092 ± 2,205	–
	5-Αμινο-2-μεθυλοφαινόλη	1,000 ± 0,916	–
Λοιπές (Φουράνια-Πυρρόλιο)	2,5-Διμεθυλο-3(2H)-φουρανόνη	0,520 ± 0,469	–
	5-Μεθυλο-2-φουραναλδεΐδη	7,397 ± 4,593	–
	1-Μεθυλο-1H-πυρρόλιο-2-καρβοξαλδεΐδη	2,071 ± 1,255	–
	2-(2-Φουρανυλομεθυλο)-5-μεθυλοφουράνιο	0,769 ± 0,187	–
	1-(2-Φουρανυλομεθυλο)-1H-πυρρόλιο	1,233 ± 0,704	–
Αιθέρες	Διμεθοξυμεθάνιο	–	9,935 ± 7,990
Διάφορα	Διχλωρομεθάνιο	–	4,291 ± 3,372

Ουσιαστική ήταν επίσης η παρουσία φουρανικών ενώσεων και παραγώγων τους. Η 2-φουρανμεθανόλη εμφάνισε την υψηλότερη συγκέντρωση του δείγματος προσδίδοντας γλυκές, καραμελώδεις και φουρανικές νότες. Η 5-μεθυλο-2-φουραναλδεϋδη και η 2-φουραναλδεϋδη ήταν επίσης προϊόντα θερμικής αποδόμησης σακχάρων και δημιούργησαν αρώματα καραμέλας και φρουτώδους χαρακτήρα.

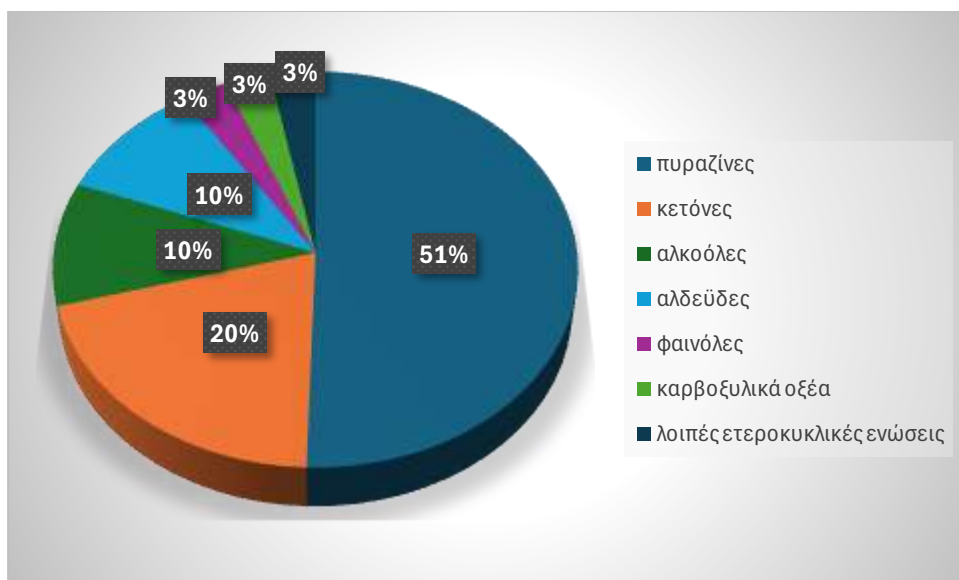
Οι αλδεΐδες και κετόνες ανιχνεύθηκαν σε μεσαίες έως χαμηλές συγκεντρώσεις. Η βενζαλδεϋδη συνέβαλε στις χαρακτηριστικές αμυγδαλώδεις νότες, ενώ οι υδροξυκετόνες προσέδωσαν βουτυρώδη και γλυκά αρώματα. Οι ενώσεις αυτές προέκυψαν κυρίως από δευτερογενείς αντιδράσεις αποικοδόμησης σακχάρων και λιπιδίων.

Στην κατηγορία των αλκοολών ήταν κυρίως η 2-φουρανομεθανόλη. Η παρουσία της 2,3-βουτανοδιόλης υποδήλωσε θερμικής προέλευσης μεταβολιτών, με ήπιο γλυκό και ζυμωτικό χαρακτήρα.

Οι φαινόλες ήταν λίγες, με βασική τη 2-μεθοξυ-4-βινυλοφαινόλη, η οποία προσέδωσε καπνιστές και πικάντικες νότες. Η χαμηλή συγκέντρωσή της αιτιολογεί ότι το ξανθό καβούρδισμα διατηρεί ήπιο προφίλ σε σύγκριση με πιο σκούρα καβουρδίσματα.

Το οξικό οξύ ήταν το βασικό καρβοξυλικό οξύ του δείγματος, δίνοντας ελαφρώς όξινες και πικάντικες νότες.

Το ξανθό καβούρδισμα χαρακτηρίστηκε από ισορροπημένο αρωματικό προφίλ, με κυριαρχία πυραζινών και φουρανικών ενώσεων που συνέβαλλαν στις καβουρδισμένες, γλυκές και ξηροκαρπάτες νότες. Η χαμηλότερη συμβολή φαινολών και οξέων φανέρωσε την ηπιότερη θερμική επεξεργασία συγκριτικά με το σκούρο καβούρδισμα.



Διάγραμμα 3.8.B1: Κατανομή πτητικών ενώσεων ανά κατηγορία στην α' ύλη ξανθού καφέ.

Στο διάγραμμα 3.8.B2 φαίνεται η κατανομή πτητικών ενώσεων ανα κατηγορία στην α' ύλη σκούρου καφέ. Σε ποσοστό 41% κυριαρχούν οι πυραζίνες και οι αζωτούχες ενώσεις. Ακολουθούν αλκοόλες, αλδεϋδες -κετόνες και οξέα-εστέρες.

Η ανάλυση των πτητικών ενώσεων της α' ύλης σκούρου καφέ φανέρωσε την παρουσία ενώσεων που παράγονται από την πορεία Maillard, την καραμελοποίηση και τη θερμική αποικοδόμηση υδατανθράκων και αμινοξέων στο καβούρδισμα. Οι κυριότερες χημικές κατηγορίες που ταυτοποιήθηκαν ήταν οι πυραζίνες και οι λοιπές αζωτούχες ενώσεις, οι αλδεϋδες - κετόνες, τα οξέα - εστέρες, οι αλκοόλες - φαινόλες και ενώσεις που ταξινομούνται στα φουράνια και τα παράγωγα του πυρρολίου.

Οι πυραζίνες αποτέλεσαν μία από τις βασικότερες ομάδες πτητικών συστατικών. Οι ενώσεις σχηματίζονται μέσω των αντιδράσεων Maillard και είναι χαρακτηριστικές των σκουρόχρωμων καβουρδισμένων προϊόντων. Οι πολυάριθμες αλκυλοϋποκατεστημένες πυραζίνες επαληθεύουν ότι η α' ύλη υπέστη εκτεταμένη θερμική επεξεργασία.

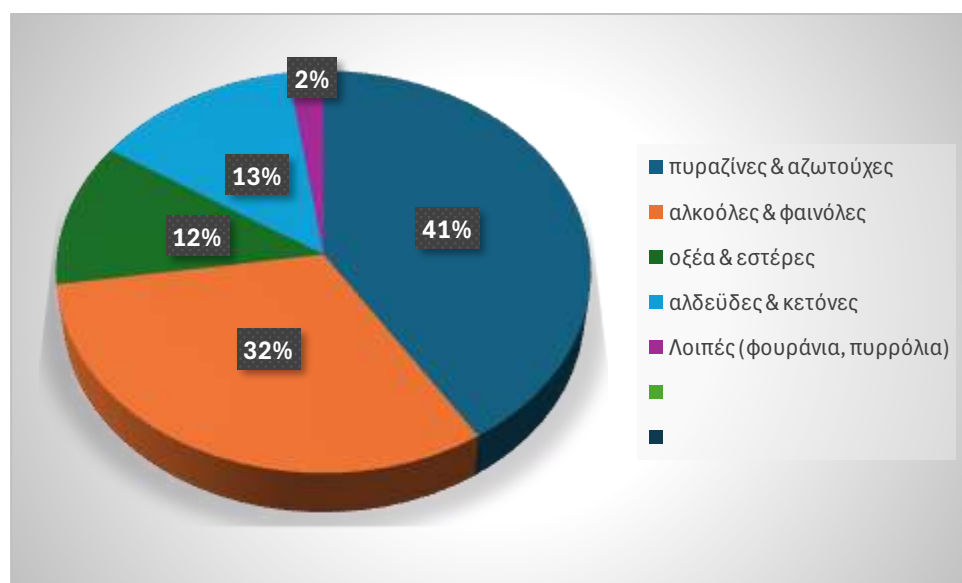
Υψηλή ήταν η συγκέντρωση της 2-φουρανομεθανόλης, η οποία αποτέλεσε την κυρίαρχη πτητική ένωση του δείγματος. Η ένωση αυτή παρήχθη από τη θερμική αποδόμηση σακχάρων και τον μετασχηματισμό της φουρφουράλης, προσδίδοντας

ήπιες γλυκές, καραμελώδεις και φουρανικές νότες. Στην κατηγορία ανιχνεύθηκαν επίσης η 5-μεθυλο-2-φουραναλδεΐδη, η 2,5-διμεθυλο-3(2H)-φουρανόνη και παράγωγα του πυρρολίου, ενώσεις που προσδίδουν αρώματα καραμέλας και ψημένης ζάχαρης.

Οι αλδεΐδες και οι κετόνες ανιχνεύθηκαν σε μικρότερες συγκεντρώσεις. Η βενζαλδεΐδη και η 3-υδροξυ-2-βουτανόνη (ακετοΐνη) προσέδωσαν γλυκές, αμυγδαλώδεις και βουτυρώδεις αρωματικές νότες. Οι υπόλοιπες κετόνες ήταν προϊόντα θερμικής αποικοδόμησης σακχάρων και λιπιδίων.

Από οξέα και εστέρες ανιχνεύθηκαν οξικό οξύ και οξικός εστέρας της 2-φουρανμεθανόλης. Το οξικό οξύ ήταν συνηθισμένο προϊόν θερμικής αποδόμησης των υδατανθράκων και προσέδωσε όξινες και πικάντικες οσφρητικές νότες. Ο εστέρας προσέδωσε ηπιότερα γλυκά και φρουτώδη αρώματα.

Η παρουσία της 2-μεθοξυ-4-βινυλοφαινόλης αιτιολόγησε τον σχηματισμό πτητικών φαινολικών ενώσεων από θερμική αποδόμηση φαινολικών πρόδρομων ουσιών, και έδωσε καπνιστές, πικάντικες και γαρυφαλλένιες νότες στο αρωματικό προφίλ. Στις πτητικές ενώσεις κυριάρχησαν προϊόντα των αντιδράσεων Maillard και θερμικής αποδόμησης των σακχάρων, γεγονός χαρακτηριστικό ενός δείγματος σκούρου καβουρδίσματος με περίπλοκο, έντονα καβουρδισμένο αρωματικό προφίλ.



Διάγραμμα 3.8.B2: Κατανομή πτητικών ενώσεων ανα κατηγορία στην α' ύλη σκούρου καφέ.

Στο διάγραμμα 3.8.B3 φαίνεται η κατανομή πτητικών ενώσεων ανα κατηγορία στο ρόφημα ξανθού καφέ. Σε ποσοστό 62% κυριαρχούν οι πυραζίνες και οι αζωτούχες ενώσεις, ακολουθούν αλδεΐδες και εστέρες. Στο ρόφημα ξανθού, το προφίλ άλλαξε αισθητά σε σχέση με το προηγούμενο, καθώς απουσίασαν εντελώς οι ελεύθερες αλκοόλες και φαινόλες, ενώ κυριάρχησαν έντονα οι πυραζίνες

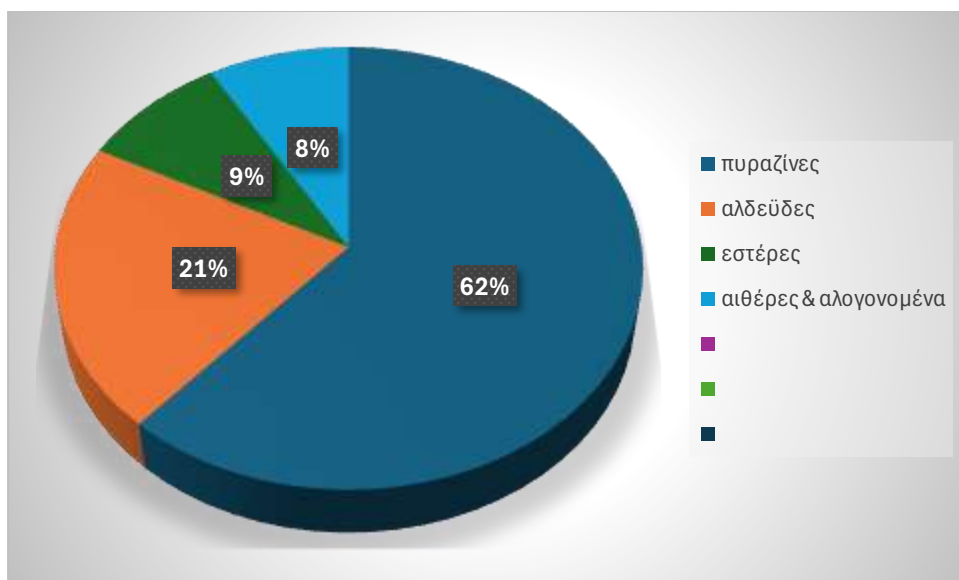
Τα αποτελέσματα για το ρόφημα ξανθού καφέ φανέρωσαν ένα αρωματικό προφίλ που βασικός ήταν ο ρόλος των πυραζινών, γεγονός χαρακτηριστικό μέτριου προς ελαφρού καβουρδίσματος. Οι πυραζίνες σε αριθμό και σε συγκεντρώσεις ήταν στο υψηλότερο επίπεδο και προσέδωσαν στο ρόφημα έντονα καβουρδισμένα αρώματα. Η παρουσία 2,6-διμεθυλοπυραζίνης και η αιθυλοπυραζίνης φανέρωσε ότι είχαν προοδεύσει σημαντικά οι αντιδράσεις Maillard, χωρίς να χαθεί η αρωματική πολυπλοκότητα του ελαφρού καβουρδίσματος.

Οι αλδεΐδες εμφάνισαν σημαντική συνεισφορά, με ενώσεις όπως η 2-μεθυλοβουτανalδεΐδη και η 3-μεθυλοβουτανalδεΐδη που συνέβαλαν σε πιο φρουτώδη, γλυκά και χορτώδη αρώματα, κάτι αναμενόμενο για ξανθό καφέ, μια και οι πρόδρομες πτητικές ενώσεις αποικοδομηθεί εντελώς από το καβούρδισμα.

Οι εστέρες, αν και σε μικρότερη συγκέντρωση, αύξησαν τη γλυκύτητα και τη φρουτώδη διάσταση του ροφήματος, με νότες καραμέλας και μελιού.

Οι αιθέρες παρουσίασαν μέτρια παρουσία και δεν επηρέασαν σημαντικά το αισθητηριακό προφίλ, ενώ τα αλογονομένα, όπως το διχλωρομεθάνιο, βρέθηκαν σε ελάχιστο επίπεδο και δεν σχετίστηκε ουσιαστικά με το άρωμα του καφέ, πιθανόν αποτελώντας περιβαλλοντικό υπόβαθρο.

Το αρωματικό προφίλ του ξανθού καφέ χαρακτηρίστηκε από ισορροπία έντονων καβουρδισμένων τόνων και φρουτώδους. Η συνύπαρξη πυραζινών και αλδεϋδών έδειξε έναν καφέ με πολυπλοκότητα, όπου το καβούρδισμα ανέπτυξε νότες ψημένου, αλλά όχι τόσο ώστε να χαθούν οι ευαίσθητες φρουτώδεις και πράσινες αρωματικές συνιστώσες.



Διάγραμμα 3.8.B3: Κατανομή πτητικών ενώσεων ανα κατηγορία στο ρόφημα ξανθού καφέ.

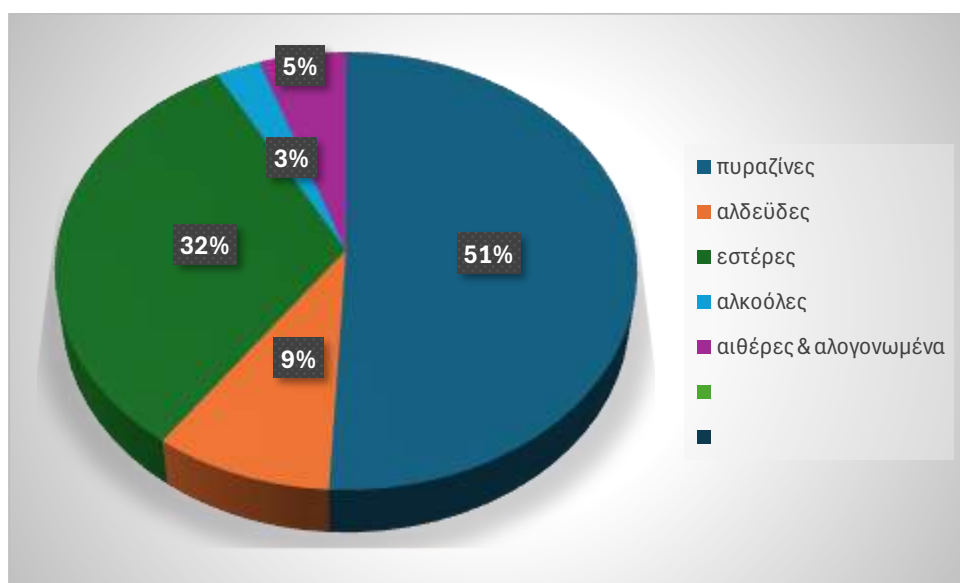
Τα αποτελέσματα φανέρωσαν ένα αρωματικό προφίλ καφέ με πιο «ψημένο» και γλυκά-καραμελένιο χαρακτήρα, σε σύγκριση με τα λιγότερο καβουρδισμένα δείγματα.

Βασική ομάδα ήταν οι πυραζίνες, οι οποίες εμφανίστηκαν σε υψηλές συγκεντρώσεις κυρίως οι αιθυλο- και υποκατεστημένες πυραζίνες. Αυτό σήμαινε έντονη δραστηριότητα των αντιδράσεων Maillard και ενισχυμένο καβουρδισμένο προφίλ, με αρώματα κακάο, ξηρών καρπών και νότες ψημένων. Η παρουσία της 2-αιθυλο-3-μεθυλοπυραζίνης και της 2-αιθυλο-6-μεθυλοπυραζίνης σε μεγάλα επίπεδα ενίσχυσε την πολυπλοκότητα του καβουρδισμένου χαρακτήρα.

Οι αλδεϋδες εντοπίστηκαν σε μέτρια επίπεδα και προσέδωσαν φρουτώδη και ελαφρώς χορτώδη διάσταση, χωρίς όμως κυριαρχία. Η 2-μεθυλοβουτανάλδεϋδη αποδείχθηκε η πιο σημαντική και συνέβαλε σε φρουτώδη χαρακτήρα, αλλά η συνολική τους εικόνα παρέμεινε δευτερεύουσα συγκριτικά με τις πυραζίνες και τους εστέρες.

Η 2-φουρανμεθανόλη ως αλκοόλη προσέδωσε γλυκές και καραμελένιες νότες, λειτουργώντας ως πρόδρομη ένωση για εστεροποίηση.

Το δείγμα χαρακτηρίστηκε από έντονο καβουρδισμένο προφίλ πυραζινών μαζί με πολύ ισχυρή γλυκο-καραμελένια νότα εστέρων, κάτι που υποδήλωσε έναν καφέ με ταυτόχρονα έντονα ψημένο και με έντονη αρωματική «γλυκύτητα», πιο έντονο αισθητηριακά από τον ξανθό καφέ.



Διάγραμμα 3.8.B4: Κατανομή πτητικών ενώσεων ανα κατηγορία στο ρόφημα σκούρου καφέ.

Στη μελέτη των Catão et al. [68], η ανάλυση των πτητικών ενώσεων πραγματοποιήθηκε σε καβουρδισμένο αλεσμένο καφέ. Οι κατηγορίες ενώσεων που κυριάρχησαν ήταν πυραζίνες, φουράνια και πυριδίνες, ενώ σε μικρότερο βαθμό εμφανίστηκαν φαινολικές ενώσεις. Στη μελέτη τους παρατηρήθηκε ότι στα πιο ήπια καβουρδίσματα εμφανίζονταν περισσότερο οι πυραζίνες, οι οποίες συνδέονται με αρώματα ξηρών καρπών, κακάο, δημητριακών και ήπιου καβουρδίσματος. Στα πιο σκούρα καβουρδίσματα αυξήθηκε η συμμετοχή των φουρανίων και παραγώγων τους, καθώς και ορισμένων πυριδινών, που σχετίζονται με πιο έντονους καβουρδισμένους, καραμελωμένους, καπνιστούς και ενίοτε πικρούς χαρακτήρες.

Τα αποτελέσματα αυτά βρίσκονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Όπως έγινε εμφανές, στον ξανθό καφέ οι πυραζίνες κυριαρχούσαν σε ποσοστό 50% ενώ στον σκούρο καφέ με το πιο έντονο καβούρδισμα, το ποσοστό

των πυραζινών μειώθηκε και αυξήθηκαν οι αζωτούχες ενώσεις στις οποίες συγκαταλέγονται οι πυριδίνες.

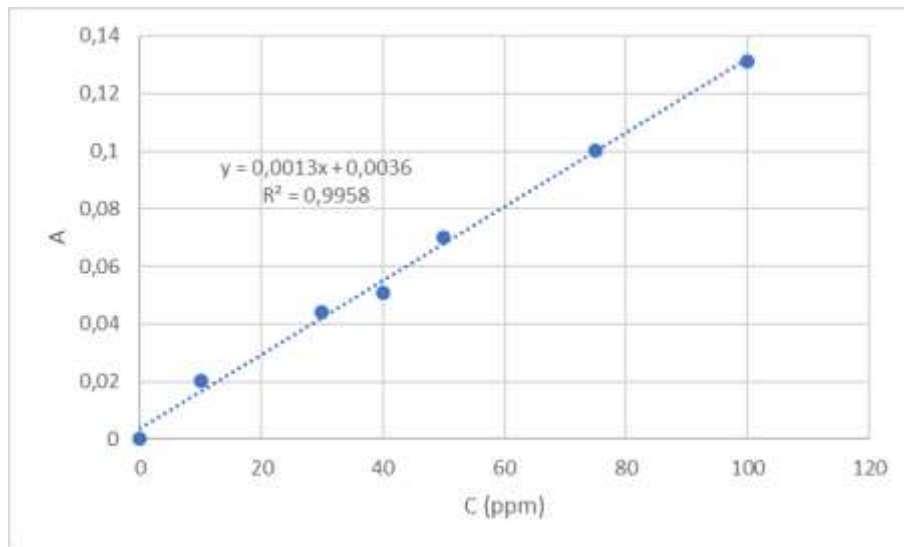
Στη μελέτη των Turan Ayseli et al. [83] - οι οποίοι μελέτησαν τα αρωματικά ενεργά συστατικά σε ρόφημα τούρκικου καφέ από Arabica μέτριου και σκούρου καβουρδίσματος - βρέθηκε επίσης ότι οι ενώσεις με τη μεγαλύτερη επίδραση ήταν οι αλκυλιωμένες πυραζίνες όπως 2-αιθυλο-3,5-διμεθυλοπυραζίνη, 2-αιθυλο-3,5-διμεθυλοπυραζίνη. Τα αποτελέσματα αυτά βρίσκονται σε συμφωνία με την παρούσα εργασία αφού και εδώ κυριαρχούν οι αλκυλιωμένες πυραζίνες.

3.9 Προσδιορισμός Ταννινών

Οι τανίνες είναι πολυφαινολικές ενώσεις με ικανότητα σχηματισμού ισχυρών δεσμών με πρωτεΐνες και αποτελούν μια ευρεία κατηγορία φυτικών δευτερογενών μεταβολιτών. Δεδομένου ότι οι τανίνες επηρέασαν σημαντικά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των ροφημάτων, η ποσοτικοποίησή τους στον ελληνικό καφέ κρίθηκε σκόπιμη. Η μέτρηση της συγκέντρωσής τους παρείχε χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τη συμβολή τους στο γευστικό προφίλ του καφέ, ιδίως ως προς τη στυπτικότητα, ενώ παράλληλα συνέβαλε στην πληρέστερη αξιολόγηση της χημικής του σύστασης και της ποιότητάς του [84].

Για την ακριβή ποσοτικοποίηση των ταννινών, ήταν απαραίτητη η κατασκευή μίας πρότυπης καμπύλης, με χρήση πρότυπου διαλύματος γαλλικού οξέος σε διαφορετικές συγκεντρώσεις [70].

Στο διάγραμμα 3.9.1 φαίνεται η πρότυπη καμπύλη γαλλικού οξέος για ποσοτικοποίηση ταννινών.

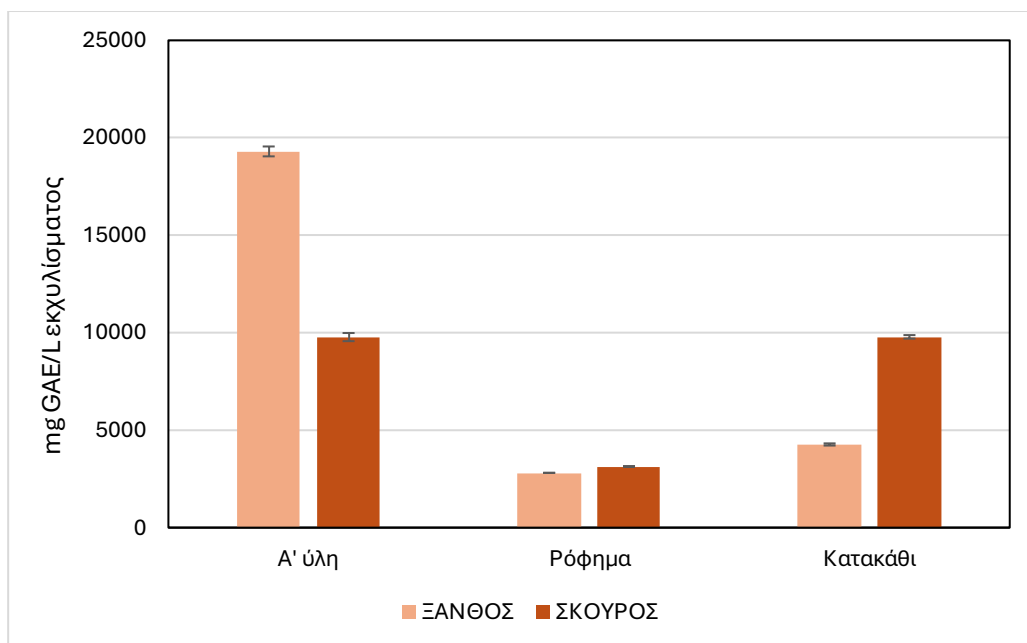


Διάγραμμα 3.9.1: Πρότυπη καμπύλη γαλλικού οξέος για ποσοτικοποίηση τανινών

Στον πίνακα 3.9.2 και στο διάγραμμα 3.9.2 φαίνεται η συγκέντρωση ταννινών σε δείγματα ξανθού και σκούρου καφέ, στην α' ύλη στο ρόφημα και στο κατακάθι.

Πίνακας 3.9.2: Περιεκτικότητα τανινών στα δείγματα εκφρασμένα σε mg γαλλικού οξέος/ L εκχυλίσματος.

Δείγμα	mg GAE/L εκχυλίσματος
α' ύλη Ξανθός	19.301,3±253,8 ^{c, B}
Ρόφημα Ξανθός	2.810,0±3,3 ^{a, A}
Κατακάθι Ξανθός	4.265,4±56,2 ^{b, A}
^{a,b..} Διαφορετικοί εκθέτες δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p<0,05)	
α' ύλη Σκούρος	9.775,7±208,5 ^{b, A}
Ρόφημα Σκούρος	3.134,3±11,4 ^{a, B}
Κατακάθι Σκούρος	9.787,2±90,7 ^{b, B}
^{a,b..} Διαφορετικοί εκθέτες δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p<0,05)	
^{A,B..} Διαφορετικοί εκθέτες στην α' ύλη, ρόφημα και κατακάθι δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p<0,05)	



Διάγραμμα 3.9.2: Περιεκτικότητα τανινών στα δείγματα εκφρασμένα σε mg γαλλικού οξέος/ L εκχυλίσματος.

Στην α' ύλη παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ταννινών, ιδιαίτερα στο ξανθό καφέ, ο οποίος εμφάνισε σημαντικά μεγαλύτερη συγκέντρωση από τον σκούρο. Έτσι αποδείχθηκε ότι το ελαφρύτερο καβούρδισμα διατήρησε περισσότερες φαινολικές ενώσεις, ενώ το σκούρο καβούρδισμα οδήγησε σε καταστροφή ή μετατροπή τους λόγω θερμικής επεξεργασίας.

Στο ρόφημα, οι συγκεντρώσεις ελαττώθηκαν συγκριτικά με την α' ύλη, κάτι που ήταν αναμενόμενο λόγω της εκχύλισης στο νερό. Το σκούρο ρόφημα παρουσίασε μεγαλύτερη τιμή από το ξανθό, γεγονός που φανέρωσε ότι οι ταννίνες εκχυλίστηκαν πιο εύκολα από τον πιο έντονα καβουρδισμένο καφέ, ίσως λόγω αλλαγών στη δομή των κόκκων με το καβούρδισμα.

Στο κατακάθι παρατηρήθηκαν επίσης σημαντικές συγκεντρώσεις ταννινών και ο σκούρος καφές εμφάνισε μεγαλύτερη τιμή από τον ξανθό. Αυτό απέδειξε ότι μεγαλύτερο μέρος ταννινών παρέμεινε συγκρατημένο στο στερεό υπόλειμμα του σκούρου καβουρδίσματος.

Η μελέτη των Vilar et. al [70], επικεντρώθηκε στην ανάκτηση τανινών από απόβλητα καψουλών καφέ μετά την παρασκευή. Ο λόγος στερεού προς αιθανόλη ήταν 4/5 και μετά την πάροδο 1 ώρας σε θερμοκρασία 50 °C, ανακτήθηκαν 17,7 mg τανινών. Αξίζει να συγκριθεί με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης για το κατακάθι που αποτελεί απόβλητο. Ο λόγος στερεού προς αιθανόλη ήταν 1/5 και μετά την πάροδο 1 ώρας σε θερμοκρασία 50 °C, ανακτήθηκαν 21,1 mg-21,5 mg τανινών (κατακάθι ξανθού καφέ) και 48,6 mg-49,3 mg (κατακάθι σκούρου καφέ). Παρατηρήθηκε πως το κατακάθι του ελληνικού καφέ ήταν πολύ πιο πλούσιο από τα απόβλητα καψουλών σε ταννίνες. Γενικά η κατεργασία κατά την εκχύλιση του καφέ σε κάψουλα θεωρείται πιο «βίαιη» μεταχείριση σε σύγκριση με την παρασκευή ελληνικού καφέ σε μπρίκι λόγω της υψηλής θερμοκρασίας 90–96 °C, του πολύ σύντομου χρόνου εκχύλισης και των πιο λεπτοαλεσμένων κόκκων. Αντίθετα στον ελληνικό καφέ δεν υπήρξε πίεση και ο χρόνος εκχύλισης ήταν πιο αργός, επιτρέποντας στα συστατικά να απελευθερωθούν σταδιακά με αποτέλεσμα οι ταννίνες να μη μεταφέρονται σε μεγάλο βαθμό στο ρόφημα και να παραμένουν στο κατακάθι.

Στη μελέτη των Choi et al. [85], στον καβουρδισμένο καφέ εντοπίστηκαν ταννίνες σε ποσότητα 700-900 ppm σημαντικά μικρότερες από τις τιμές της παρούσας μελέτης.

Στη μελέτη των Genovese et al. [86], σε ρόφημα espresso ποσοτικοποιήθηκαν 1974 ppm τανινών. Στην παρούσα μελέτη οι ποσότητες ταννινών ήταν υψηλότερες.

Το γεγονός, ενδέχεται να οφείλεται σε διαφορετικές ποικιλίες που χρησιμοποιήθηκαν στην α' ύλη και σε συμπροσδιορισμό φαινολικών με την τεχνική της παρούσας εργασίας. Ένα μειονέκτημα της μεθόδου που ακολουθήθηκε ήταν ότι δεν επέτρεψε τον διαχωρισμό των ταννινών από τις υπόλοιπες φαινολικές ενώσεις. Ως αποτέλεσμα, κατά τον προσδιορισμό πιθανότατα συμπροσδιορίστηκαν τόσο οι ταννίνες όσο και άλλα φαινολικά συστατικά.

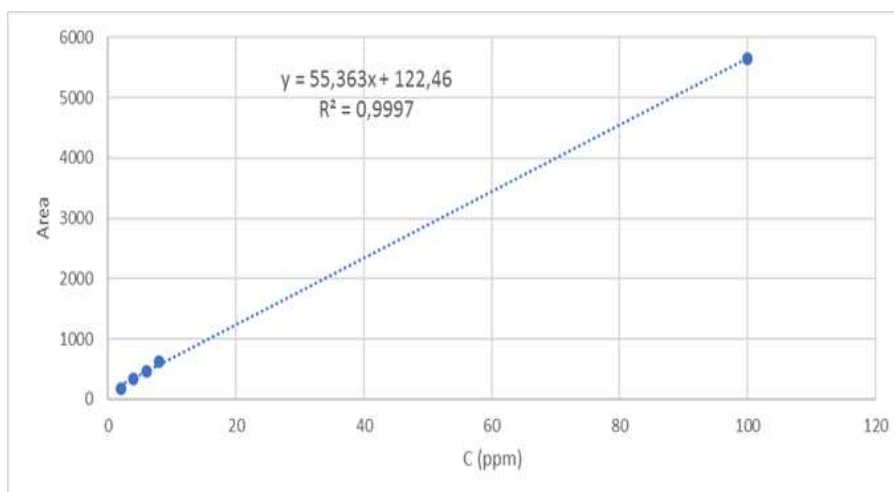
3.10 Προσδιορισμός καφεΐνης

Η καφεΐνη σύμφωνα με τους Pokhrel et al. [71] - μια λευκή, άοσμη σκόνη με ελαφρώς πικρή γεύση - ποσοτικοποιήθηκε με Υγρή Χρωματογραφία Υψηλής

Απόδοσης. Η μέθοδος βασίστηκε στην αλληλεπίδραση των αναλυτών με τη στατική φάση εντός στήλης και μια κινητή φάση που ρέει μέσω αυτής.

Οι κύριοι τύποι αλληλεπιδράσεων που συνέβαλλαν στον διαχωρισμό ήταν οι υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις, οι ιοντικές αλληλεπιδράσεις και οι σχηματισμοί δεσμών υδρογόνου. Η πολικότητα της κινητής φάσης επηρέασε άμεσα την ισχύ διαχωρισμού, μιας και ανταγωνίστηκε με τη στατική φάση για τις θέσεις δέσμευσης των αναλυτών. Όσο ισχυρότερη η συγγένεια ενός αναλυτή με τη στατική φάση, τόσο πιο αργά κινείται μέσα στη στήλη. Οι διαχωρισμένες ενώσεις ανιχνεύθηκαν, επιτρέποντας την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση της καφεΐνης μέσω των πληροφοριών του χρωματογραφήματος (χρόνος κατακράτησης και περιοχή κορυφής) [87].

Όλες οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν εις τριπλούν και λήφθηκαν οι μέσοι όροι των μετρήσεων. Για τον προσδιορισμό, χρησιμοποιήθηκε πρότυπη καμπύλη βαθμονόμησης με διάλυμα καφεΐνης όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3.10.1.

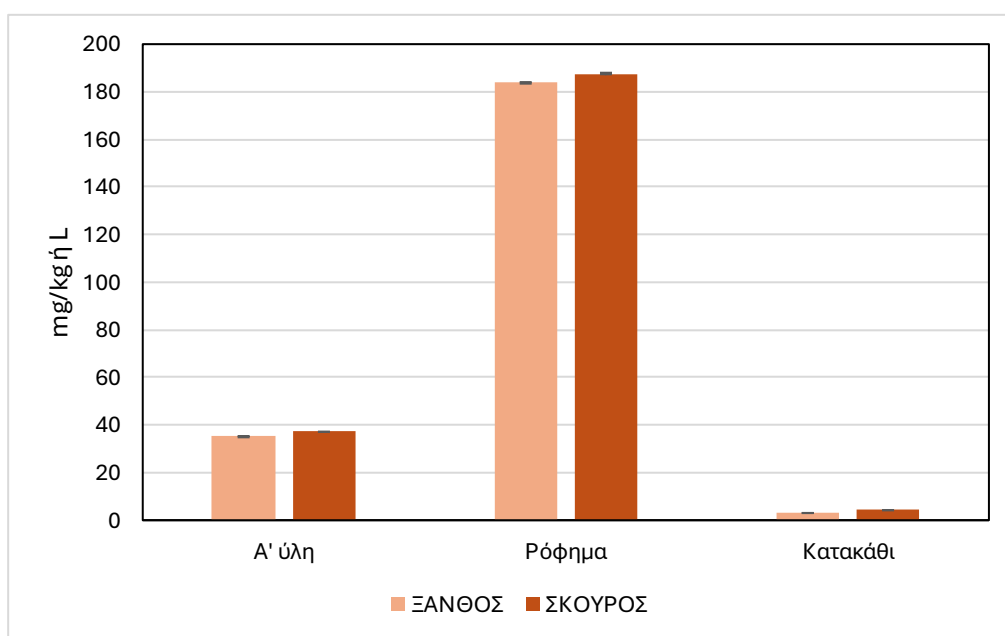


Διάγραμμα 3.10.1: Πρότυπη καμπύλη καφεΐνης

Στον Πίνακα 3.10.2 και στο διάγραμμα 3.10.2, δίνονται οι περιεκτικότητες σε καφεΐνη στην α' ύλη, το ρόφημα και κατακάθι για ξανθό και σκούρο καφέ.

Πίνακας 3.10.2: Περιεκτικότητα σε καφεΐνη α' ύλης, ροφήματος και κατακαθιού ξανθού και σκούρου Ελληνικού καφέ.

Είδος	Συγκέντρωση καφεΐνης (ppm)
α' ύλη ξανθός	35,10±0,28 ^{b, A}
Ρόφημα ξανθός	183,74±0,33 ^{c, A}
Κατακάθι ξανθό	3,03±0,04 ^{a, A}
^{a,b..} Διαφορετικοί εκθέτες δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p<0,05)	
α' ύλη σκούρος	37,15±0,07 ^{b, B}
Ρόφημα σκούρος	187,67±0,33 ^{c, B}
Κατακάθι σκούρος	4,21±0,01 ^{a, B}
^{a,b..} Διαφορετικοί εκθέτες δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p<0,05)	
^{A,B..} Διαφορετικοί εκθέτες στην α' ύλη, ρόφημα και κατακάθι δηλώνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p<0,05)	



Διάγραμμα 3.10.2: Περιεκτικότητα καφεΐνης στα δείγματα α' ύλης, ροφήματος και κατακαθιού ξανθού και σκούρου Ελληνικού καφέ.

Στην α' ύλη ο σκούρος καφές είχε υψηλότερη συγκέντρωση καφεΐνης συγκριτικά με τον ξανθό (p<0,05) παρόλο που ήταν στο ίδιο εύρος οι τιμές της στα δύο είδη καφέ. Αντίστοιχα, στο ρόφημα παρατηρήθηκε διαφορά μεταξύ των δύο τύπων καφέ, με τον σκούρο να παρουσιάζει υψηλότερη συγκέντρωση καφεΐνης

συγκριτικά με τον ξανθό. Αυτό εξήγησε ότι στον σκούρο καφέ η εκχύλιση της καφεΐνης ήταν περισσότερο αποτελεσματική και πιο γρήγορη με τις ίδιες συνθήκες παρασκευής, ενώ στον ξανθό η εκχύλιση ήταν μικρότερη, πιθανόν λόγω μεταβολών στη δομή των κόκκων και στην πορώδη επιφάνεια μετά το καβούρδισμα.

Στο κατακάθι οι περιεκτικότητες καφεΐνης ήταν πολύ μικρές και στα δύο δείγματα. Ο σκούρος παρουσίασε λίγο μεγαλύτερη τιμή από τον ξανθό αλλά υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Αυτό φανέρωσε ότι ένα μικρό ποσοστό καφεΐνης παρέμεινε μη εκχυλισμένο στο στερεό υπόλειμμα.

Τα αποτελέσματα απέδειξαν ότι η αρχική περιεκτικότητα σε καφεΐνη ήταν παρόμοια στους δύο τύπους καφέ, όμως η εκχύλιση στο ρόφημα διέφερε σημαντικά, με το ρόφημα ξανθού καφέ να παρουσιάζει χαμηλότερη συγκέντρωση καφεΐνης υπό τις ίδιες συνθήκες παρασκευής.

Η μελέτη των Olechno et al. [88] έδειξε ότι η περιεκτικότητα σε καφεΐνη δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τον χρόνο και τη θερμοκρασία ψησίματος λόγω της σταθερότητας της ένωσης σε υψηλές θερμοκρασίες.

Στη μελέτη των Pokhrel et al. [71], η συγκέντρωση της καφεΐνης σε ψημένους και αλεσμένους κόκκους καφέ κυμάνθηκε μεταξύ 1,1%-1,52%. Η διαφορά ενδέχεται να οφείλεται στις διαφορετικές ποικιλίες καφέ των δειγμάτων όπως επίσης και στη διαφορετική αναλυτική τεχνική.

Στη μελέτη των Hanci et al. [89], σε διάφορα εμπορικά δείγματα τούρκικου καφέ, η μέση τιμή καφεΐνης στα ροφήματα ήταν 858 ppm σημαντικά υψηλότερη από την προσδιορισθήσα ποσότητα της παρούσας μελέτης.

3.11 Οργανοληπτική αξιολόγηση

Η αισθητηριακή εμπειρία της κατανάλωσης τροφής αποτελεί ένα σύνθετο φαινόμενο που εμπλέκει πολλαπλές αισθήσεις. Η αρχική επαφή με ένα τρόφιμο συνήθως ενεργοποιεί την όραση, την όσφρηση, την ακοή και την αφή, παρέχοντας έναν πρωταρχικό αισθητηριακό χάρτη. Κατά τη διάρκεια της κατανάλωσης, η αφή, η ακοή και η γεύση, σε συνδυασμό με την όσφρηση, συμβάλλουν στη δημιουργία μιας πολυεπίπεδης αισθητηριακής εμπειρίας. Αυτή η πολυαισθητηριακή εμπειρία, που

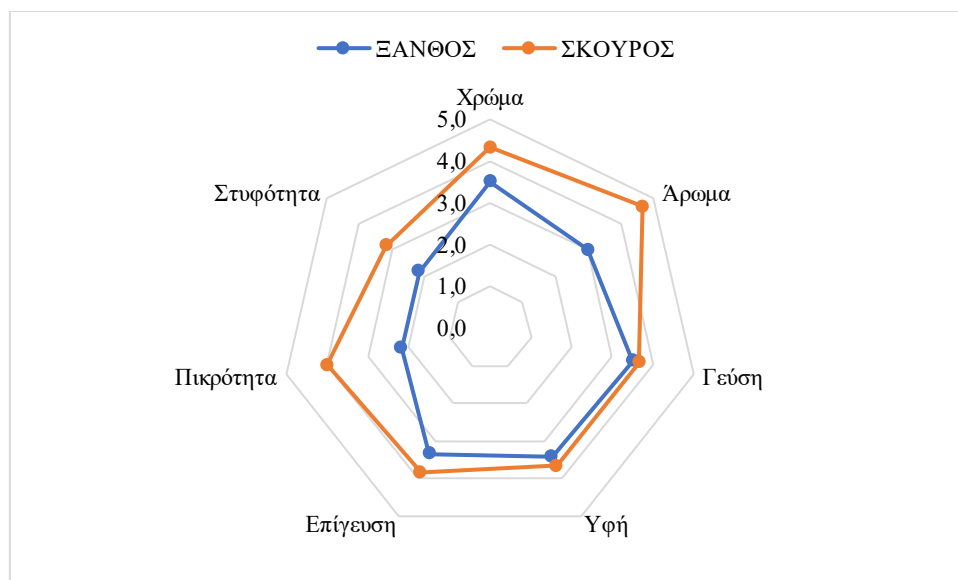
συχνά αποκαλείται απλά «γεύση» στην καθημερινή γλώσσα, είναι στην πραγματικότητα ένα σύνθετο αισθησιογράφημα που διαμορφώνεται από την αλληλεπίδραση πολλών αισθητηριακών εισόδων. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του καφέ αποτελούν κρίσιμους παράγοντες στην υποκειμενική αξιολόγηση της ποιότητάς του από τους καταναλωτές [90].

Για κάθε δείγμα ο κριτής βαθμολόγησε με κριτήριο 1-5, ανάλογα με τον βαθμό ικανοποίησης. Για την τελική αξιολόγηση από το σύνολο των βαθμολογιών που δόθηκαν βγήκε ο μέσος όρος βαθμολογίας του κάθε δείγματος.

Τα αποτελέσματα της οργανοληπτικής αξιολόγησης, φανέρωσαν ότι ο βαθμός καβουρδίσματος επίδρασε σημαντικά στα χαρακτηριστικά ροφήματος. Ο σκούρος καφές κατέγραψε υψηλότερες μέσες βαθμολογίες στην πλειοψηφία των εξεταζόμενων παραμέτρων σε σύγκριση με τον ξανθό, γεγονός που έδειξε εντονότερο οργανοληπτικό προφίλ όπως φαίνεται στον πίνακα 3.11.1 και το διάγραμμα 3.11.1.

Πίνακας 3.11.1: Αξιολόγηση/βαθμολογία των χαρακτηριστικών ροφήματος ελληνικού καφέ ξανθού και σκούρου ψησίματος της α' ύλης.

Παράμετρος	ΞΑΝΘΟΣ ΚΑΦΕΣ	ΣΚΟΥΡΟΣ ΚΑΦΕΣ
Χρώμα	3,5±1,2	4,3±0,5
Άρωμα	3,0±0,9	4,7±0,5
Γεύση	3,5±1,0	3,7±1,2
Υφή	3,4±0,9	3,7±0,5
Επίγευση	3,3±1,2	3,8±1,2
Πικρότητα	2,2±1,2	4,0±1,3
Στυφότητα	2,2±1,2	3,2±1,3



Διάγραμμα 3.11.1: Αραχνοειδές διάγραμμα των 6 παραμέτρων αξιολόγησης των ροφημάτων ελληνικού καφέ με 2 τρόπους ψησίματος της α' ύλης.

Όσον αφορά στο χρώμα, ο σκούρος καφές αξιολογήθηκε με υψηλότερη βαθμολογία συγκριτικά με τον ξανθό. Η διαφορά σχετίζεται με την εντονότερη θερμική επεξεργασία, η οποία πυροδότησε τον σχηματισμό σκουρόχρωμων χρωστικών- των μελανοϊδινών, μέσω των αντιδράσεων Maillard.

Όσον αφορά στο άρωμα, ο σκούρος καφές έλαβε τη μεγαλύτερη βαθμολογία. Η αύξηση της έντασης του αρώματος, αποδίδεται στον σχηματισμό πτητικών ενώσεων κατά το καβούρδισμα.

Η γεύση, παρουσίασε μικρή διαφορά μεταξύ των δύο δειγμάτων. Η μικρή διαφοροποίηση έδειξε πως, παρόλες τις αλλαγές που προκαλεί το καβούρδισμα στη χημική σύσταση, η γευστική αποδοχή δεν επηρεάστηκε σημαντικά σε σχέση με τις υπόλοιπες παραμέτρους. Ο ξανθός καφές διατήρησε υψηλότερες συγκεντρώσεις χλωρογενικών οξέων και φαινολικών ενώσεων, που σχετίζονται με πιο όξινες και φρουτώδεις νότες, ενώ ο σκούρος απέκτησε πιο έντονα χαρακτηριστικά καβουρδίσματος.

Όσον αφορά την υφή, έλαβε λίγο υψηλότερη βαθμολογία ο σκούρος καφές. Η αύξηση οφείλεται στις μεταβολές στη διαλυτότητα των συστατικών του κόκκου που συνέβαλλαν στην αίσθηση πληρότητας και ιξώδους.

Η επίγευση ήταν μεγαλύτερη στον σκούρο καφέ. Η μεγαλύτερη διάρκεια αποδόθηκε στην αυξημένη παρουσία προϊόντων παραγωγής αντιδράσεων λόγω θέρμανση, συστατικών λιπιδικής φύσης και ενώσεων με μικρή πτητικότητα, οι οποίες παραμένουν για περισσότερο χρόνο στη στοματική κοιλότητα μετά την κατανάλωση.

Η αυξημένη πικρότητα του σκούρου καφέ ήταν αναμενόμενη μιας και η θερμική αποδόμηση των χλωρογενικών οξέων επιφέρει σχηματισμό λακτονών και φαινολικών ενώσεων με πικρή γεύση.

Ο σκούρος καφές παρουσίασε μεγαλύτερη στυφότητα. Η αύξηση συνδέθηκε με την παραγωγή φαινολικών ενώσεων και προϊόντων αποδόμησης κατά το καβούρδισμα. Η στυφότητα στον καφέ είναι αποτέλεσμα της ισορροπίας φαινολικών ενώσεων, πικρότητας και σώματος.

Στον πίνακα 3.11.2 απεικονίζεται η πρόθεση αγοράς μετά την οργανοληπτική αξιολόγηση των δύο δειγμάτων ελληνικού καφέ διαφορετικού βαθμού καβουρδίσματος. Παρατηρείται σαφής διαφοροποίηση μεταξύ του ξανθού και του σκούρου καφέ ως προς την αποδοχή από τους αξιολογητές. Ο σκούρος καφές παρουσίασε μεγαλύτερη πρόθεση αγοράς. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, κανένας αξιολογητής δεν απάντησε αρνητικά («Όχι»). Η υψηλότερη αποδοχή του σκούρου καφέ είναι απόρροια της οργανοληπτικής αξιολόγησης, μιας και το συγκεκριμένο δείγμα εμφάνισε αυξημένες βαθμολογίες.

Πίνακας 3.11.2: % ποσοστά επιλογής αγοράς σύμφωνα με την αξιολόγηση

Δείγμα	Ναι	Ίσως	Όχι
Ξανθός	33,3%	66,7%	0%
Σκούρος	83,3%	16,7%	0%

Στον πίνακα 3.11.3 φαίνεται η σειρά προτίμησης των δύο ροφημάτων καφέ των συμμετεχόντων. Τα αποτελέσματα φανερώνουν υπεροχή του σκούρου δείγματος,

μιας και η πλειοψηφία των αξιολογητών το κατέταξε στην πρώτη θέση προτίμησης. Η μεγαλύτερη ένταση αρώματος και η πιο γεμάτη γεύση και σώμα που συνδέονται με τον σκούρο καφέ, επηρέασαν θετικά την προτίμηση των συμμετεχόντων.

Πίνακας 3.11.3: % ποσοστά σειράς προτίμησης σύμφωνα με την αξιολόγηση

Δείγμα	Σειρά προτίμησης	
	1ος	2ος
Ξανθός	16,7%	83,3%
Σκούρος	83,3%	16,7%

Ο Πίνακας 3.11.4 επιβεβαιώνει ότι ο σκούρος καφές συγκέντρωσε μεγαλύτερες βαθμολογίες (4–5) στις περισσότερες παραμέτρους, κυρίως στο χρώμα, άρωμα, υφή και επίγευση.

Πίνακας 3.11.4: % ποσοστά βαθμολόγησης της ομάδας αξιολόγησης για κάθε παράμετρο για τα 2 είδη ροφήματος καφέ.

Παράμετρος	ΞΑΝΘΟΣ ΚΑΦΕΣ			ΣΚΟΥΡΟΣ ΚΑΦΕΣ		
	<2,5	2,5-3,9	4-5	<2,5	2,5-3,9	4-5
Χρώμα	16,7%	50%	33,3%	0%	0%	100%
Άρωμα	33,3%	33,3%	33,3%	0%	0%	100%
Γεύση	16,7%	33,3%	50%	16,7%	50%	33,3%
Υφή	16,7%	50%	33,3%	0%	33,3%	66,7%
Επίγευση	33,3%	16,7%	50%	16,7%	16,7%	66,7%
Πικρότητα	66,6%	16,7%	16,7%	16,7%	16,7%	66,7%
Στυφότητα	66,7%	16,7%	16,7%	16,7%	50%	33,3%

Γενικά συμπεράσματα οργανοληπτικής αξιολόγησης:

- Η πλειοψηφία των συμμετεχόντων κατέδειξε ως 1^ο στην επιλογή τους τόσο βαθμολογικά όσο και πιθανότητα επιλογής τον σκούρο καφέ.

- Η πλειοψηφία των συμμετεχόντων σχολίασε τον ξανθό καφέ ως ελαφρύ, μη πικρό και μη στυφό γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί να καταναλωθεί εύκολα και από άτομα που δεν πίνουν σκέτο καφέ.
- Κάποιοι συμμετέχοντες σχολίασαν για τον ξανθό καφέ ότι αφήνει νότες σοκολάτας και γάλακτος ενώ ο σκούρος μοιάζει στη γεύση και τα αρώματα με τον espresso και αφήνει νότες κακάο και μαύρης σοκολάτας. Όλοι οι συμμετέχοντες παρατήρησαν ότι οι δύο καφέδες έχουν διαφορετικό αρωματικό προφίλ, με τον σκούρο να αναδύει πιο έντονα αρώματα. Κάποιοι σχολίασαν ότι ο σκούρος καφές θυμίζει ανατολίτικα αρώματα ενώ ο ξανθός έχει πιο επίπεδη οσμή.
- Μερικοί δοκιμαστές σχολίασαν ότι ο ξανθός καφές λόγω του επίπεδου προφίλ του τόσο αρωματικά όσο και χρωματικά, μπορεί να καταναλωθεί καθημερινά. Από την άλλη πλευρά, ο σκούρος καφές λόγω του εκλεπτυσμένου του προφίλ είναι πιο μερακλίδικη επιλογή

Συμπεράσματα & προτάσεις για μελλοντική μελέτη

Η παρούσα μελέτη ανέδειξε ότι το καβούρδισμα επηρέασε σημαντικά τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της α' ύλης, του ροφήματος και του κατακαθιού του Ελληνικού καφέ.

Το καβούρδισμα οδήγησε σε απώλεια νερού με αποτέλεσμα μείωση της υγρασίας και της πυκνότητας των κόκκων καφέ, επαληθεύοντας ότι οι θερμικές διεργασίες μετέβαλαν τις φυσικές παραμέτρους του καφέ.

Τα αποτελέσματα φανέρωσαν ότι ο ξανθός καφές διατήρησε μεγαλύτερο φαινολικό περιεχόμενο και μεγαλύτερη αντιοξειδωτική ικανότητα, γεγονός που υποδηλώνει ότι το ελαφρύτερο καβούρδισμα συνέβαλε στη διατήρηση βιοδραστικών ουσιών.

Ο σκούρος καφές περιείχε πλουσιότερο πτητικό προφίλ και υψηλότερη περιεκτικότητα σε καφεΐνη, στοιχεία που σχετίζονται και με την υψηλότερη οργανοληπτική αποδοχή του κατά την αξιολόγηση. Στην ανάλυση πτητικών, διαπιστώθηκε πως στο ρόφημα δεν ανιχνεύεται το σύνολο των πτητικών ενώσεων της α' ύλης, γεγονός που καταδεικνύει ότι η εκχύλιση και η παρασκευή του καφέ σε μπρίκι τροποποίησαν την αρωματική σύσταση του τελικού ροφήματος.

Η οργανοληπτική αξιολόγηση επιβεβαίωσε πως οι αλλαγές στη χημική σύσταση έχουν αντίκτυπο στην αντίληψη των καταναλωτών και ο σκούρος καφές συγκέντρωσε υψηλότερη συνολική προτίμηση.

Συνολικά, τα ευρήματα φανέρωσαν πως ο βαθμός καβουρδίσματος ήταν καθοριστικός παράγοντας διαμόρφωσης τόσο της φυσικοχημικής σύστασης όσο και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του καφέ, αναδεικνύοντας τη σημασία επιλογής των κατάλληλων συνθηκών καβουρδίσματος ανάλογα με τα επιθυμητά ποιοτικά χαρακτηριστικά.

Η παρούσα μελέτη μπορεί να αποτελέσει βάση για επιπρόσθετη διερεύνηση της επιρροής του καβουρδίσματος στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του Ελληνικού καφέ.

Μελλοντικές μελέτες θα ήταν χρήσιμο να επεκταθούν στον προσδιορισμό ενώσεων που καθορίζουν την ασφάλεια του καφέ όπως το ακρυλαμίδιο, η ωχρατοξίνη Α και τα φουράνια, ενώσεις των οποίων η συγκέντρωση μεταβάλλεται από τις συνθήκες καβουρδίσματος.

Παράλληλα, θα ήταν χρήσιμο να διερευνηθεί η περιεκτικότητα σε χλωρογενικά οξέα, τριγωνελίνη, μελανοϊδίνες, και 5-υδροξυμεθυλοφουρφουράλη (5-HMF), για να αξιολογηθεί ολιστικά η επίδραση του καβουρδίσματος στα χαρακτηριστικά του καφέ.

Τέλος, έρευνες θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν σε διαφορετικές προελεύσεις κόκκων, ώστε να αξιολογηθεί πώς επιδρά η γεωγραφική παράμετρος στα φυσικοχημικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

Βιβλιογραφία

- [1] *The History of Coffee*. (n.d.). Retrieved 2 August 2024, from <https://www.ncausa.org/About-Coffee/History-of-Coffee>
- [2] *Coffee 101: What Does a Coffee Plant Look Like?* (2020, May 11). The Roasterie. <https://theroasterie.com/blogs/news/coffee-101-what-does-a-coffee-plant-look-like>
- [3] *What is a Coffee Cherry? And how does it Taste?* | *The Coffee Chronicler*. (n.d.). Retrieved 28 August 2024, from <https://coffeechronicler.com/coffee-cherry-taste/>
- [4] *History of Coffee*. (n.d.). Taylor Lane. Retrieved 5 August 2024, from <https://www.taylorlane.com/blogs/read/history-of-coffee>
- [5] Kucukkomurler, S., & Ozgen, L. (2009). Coffee and Turkish Coffee Culture. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8. <https://doi.org/10.3923/pjn.2009.1693.1700>
- [6] Circle, C. (n.d.). *The history of coffee*. The History of Coffee. Retrieved 29 August 2024, from <https://www.coffeecircle.com/en/e/coffee-history>
- [7] *Ozdem: The Sultan of Land and Seas Vol II - Μελετητής Google*. (n.d.). Retrieved 7 August 2024, from https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=The%20sultan%20of%20lands%20and%20seas%2C%20vol%20II%20Karalar%C4%B1n%20ve%20Denizlerin%20Sultan%C4%B1%2C%20vol.%20II.%20%C4%B0stanbul&publication_year=2009&author=F.%20%C3%96zdem
- [8] *History Of Coffee: Tracing Its Origins And Its Discovery*. (n.d.). Lifeboost Coffee. Retrieved 5 August 2024, from <https://lifeboostcoffee.com/blogs/lifeboost/history-of-coffee-tracing-its-origins-and-its-discovery>
- [9] *Arabs and coffee: From legend to history, from history to cup!* (n.d.). Retrieved 29 August 2024, from <https://edobarista.com:443/en/content/news/14-arabs-and-coffee-from-legend-to-history-from-history-to-cup>
- [10] *Coffee History: Coffee Reaches Europe* | *CoffeeReview.com*. (n.d.). Coffee Review. Retrieved 29 August 2024, from <https://www.coffeereview.com/coffee-reference/coffee-basics/coffee-history/coffee-reaches-europe/>
- [11] matchmadecoffee. (2020, November 22). How Coffee First Came to America. *Match Made Coffee*. <https://matchmadecoffee.com/how-coffee-first-came-to-america/>
- [12] *Blog: Οι βασικές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών Arabica και Robusta - Coffeetales.gr Καφέδες Ποφήματα*. (n.d.). Retrieved 5 August 2024, from <https://coffeetales.gr/blog/7-arabica-vs-robusta/>
- [13] *The Arabica variety—Origin, appearance and taste of the beans*. (n.d.). Retrieved 29 August 2024, from <https://beans.at/en/kaffeewissen/kaffeesorten-arabica-robusta/arabica>

-
- [14] Herrera, J., & Lambot, C. (2017). The Coffee Tree—Genetic Diversity and Origin. In *The Craft and Science of Coffee* (pp. 1–16). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803520-7.00001-3>
- [15] *Single Origin Coffee Beans*. (2010, May 11). Espresso & Coffee Guide. <https://espressocoffeeguide.com/>
- [16] SanMax, I. M. (2020, March 31). Exploring The Catuai Coffee Variety. *Perfect Daily Grind*. <https://perfectdailygrind.com/2020/04/exploring-the-catuai-coffee-variety/>
- [17] *The Robusta bean—Characteristics, origin and appearance*. (n.d.). Retrieved 29 August 2024, from <https://beans.at/en/kaffeewissen/kaffeesorten-arabica-robusta/robusta>
- [18] *Coffee Plants of the World*. (n.d.). Specialty Coffee Association. Retrieved 6 August 2024, from <https://sca.coffee/research/coffee-plants-of-the-world>
- [19] *Liberica: Μια άγνωστη, αγνοημένη ποικιλία καφέ* | *Coffees.gr*. (n.d.). Retrieved 7 August 2024, from <https://www.coffees.gr/coffee-liberica/?srsltid=AfmBOoqtodmMUWN2agJ8hmOyDUQZIPk8iqpL8-8H3qzGE1i-yOTvBjHW>
- [20] *Brazil Rio Minas Coffee – Falorra Horeca*. (n.d.). Retrieved 22 August 2024, from <https://falorra.com/products/brazil-rio-minas-coffee/>
- [21] Company, T. B. (n.d.). UGANDA COFFEE BEANS. The Brew Company. Retrieved 22 August 2024, from <https://brew-company.com/products/uganda-specialty-whole-bean-coffee>
- [22] *Coffee*. (n.d.). Retrieved 29 August 2024, from <https://www.fao.org/4/AD219E/AD219E05.htm>
- [23] *10 Steps from Seed to Cup*. (n.d.). Retrieved 26 September 2024, from <https://www.ncausa.org/About-Coffee/10-Steps-from-Seed-to-Cup>
- [24] Kleinwächter, M., Bytof, G., & Selmar, D. (2015). Chapter 9—Coffee Beans and Processing. In V. R. Preedy (Ed.), *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 73–81). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00009-7>
- [25] *Arabica coffee manual for Lao PDR*. (n.d.). Retrieved 29 September 2024, from <https://www.fao.org/4/ae939e/ae939e08.htm>
- [26] *Coffee Processing Methods | Discover How Coffee Gets Made*. (2021, January 18). Bean & Bean Coffee Roasters. <https://beannbeancoffee.com/blogs/beansider/coffee-processing-methods>

-
- [27] Kapsalis, P. (n.d.). *ISO 22000 & Διαγράμματα ροής: Γιατί είναι απαραίτητα - Τι περιλαμβάνουν*. Alpha Plan Consultants - Σύμβουλοι Επιχειρήσεων. Retrieved 9 October 2024, from <https://www.aplan.gr/el/blog/1874-iso-22000-diagram-rois>
- [28] De Maria, C. A. B., Trugo, L. C., Neto, F. R. A., Moreira, R. F. A., & Alviano, C. S. (1996). Composition of green coffee water-soluble fractions and identification of volatiles formed during roasting. *Food Chemistry*, 55(3), 203–207. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)00104-2](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)00104-2)
- [29] Perrie-Rober, A., (2002). *Le Café*. Paris, France.
- [30] Belitz, H.-D. & Grosch, W. (1987). *Food Chemistry*. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 874-883
- [31] Βουδούρης Ε.Κ. και Κοντομηνάς Μ.Γ. (2004). Ανάλυση Τροφίμων: Θεωρία και εφαρμογές. Αθήνα, 57-78, 144-156, 391-428
- [32] Shimoni, E., & Labuza, T. P. (2000). DEGASSING KINETICS AND SORPTION EQUILIBRIUM OF CARBON DIOXIDE IN FRESH ROASTED AND GROUND COFFEE. *Journal of Food Process Engineering*, 23(6), 419–436. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2000.tb00524.x>
- [33] Habara, M., & Horiguchi, T. (2024). Impact of Coffee Roasting and Grind Size on Acidity and Bitterness: Sensory Evaluation Using Electronic Tongue. *Chemosensors*, 12(9), 196. <https://doi.org/10.3390/chemosensors12090196>
- [34] Light roast | Knowledge Base. (n.d.). Giesen Coffee Roasters. Retrieved 20 November 2024, from <https://www.giesen.com/knowledge-base/light-roast/>
- [35] Dark roast. (n.d.). Giesen Coffee Roasters. Retrieved 21 November 2024, from <https://www.giesen.com/knowledge-base/dark-roast/>
- [36] Buffo, R. A., & Cardelli-Freire, C. (2004). Coffee flavour: An overview. *Flavour and Fragrance Journal*, 19(2), 99–104. <https://doi.org/10.1002/ffj.1325>
- [37] Alves, R. M. V., Mori, E. E., Milanez, C. R., & Padula, M. (2003). Café torrado e moído em embalagens inertizadas. *Food Science and Technology*, 23, 22–27. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612003000400005>
- [38] Keskin, B., & Güneş, E. (2021). Social and cultural aspects of traditional drinks: A review on traditional Turkish drinks. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 25, 100382. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100382>
- [39] *The Oldest Coffee Brewing Method*. (n.d.). Günter Coffee Roasters. Retrieved 29 October 2024, from <https://guentercoffee.com/en/blogs/coffee-knowledge/cezve-ibrik-coffee-brewing-method>

-
- [40] Basan, G. (2006). *Middle Eastern Kitchen*. Hippocrene Books.
- [41] Akin, E. (2015). *Essential Turkish Cuisine*. ABRAMS.
- [42] ΑΡΘΡΑ & ΣΥΝΕΤΕΥΞΕΙΣ | *Forum Magazines*. (n.d.). Retrieved 10 November 2024, from <https://www.forummagazines.gr/snack-coffee/articles/nero-kai-o-rolos-toy-stin-kafestiasi>
- [43] Α. Μπαδέκα. Σημειώσεις μαθήματος Π.Μ.Σ Τμ. Χημείας Π.Ι ‘’ Προχωρημένα μαθήματα χημείας και βιοχημείας τροφίμων’’ 2023
- [44] Τασιούλα-Μάργαρη Μ. και Κοντομηνάς Μ.Γ. (2003). Ποιοτικός Έλεγχος και Οργανοληπτικά Χαρακτηριστικά των Τροφίμων. Ιωάννινα, 135-150
- [45] Ashihara, H. (2015). Chapter 3 - Plant Biochemistry: Trigonelline Biosynthesis in *Coffea arabica* and *Coffea canephora*. In V. R. Preedy (Ed.), *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 19–28). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00003-6>
- [46] Wang, X., & Lim, L.-T. (2015). Chapter 27—Physicochemical Characteristics of Roasted Coffee. In V. R. Preedy (Ed.), *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 247–254). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00027-9>
- [47] *Protein in Coffee*. (n.d.). Retrieved 28 November 2024, from <https://www.coffeechemistry.com/protein-in-coffee>
- [48] Narita, Y., & Inouye, K. (2015). Chapter 21—Chlorogenic Acids from Coffee. In V. R. Preedy (Ed.), *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 189–199). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00021-8>
- [49] *Lipids in Coffee*. (n.d.). Retrieved 01 January 2025, from <https://www.coffeechemistry.com/lipids-in-coffee>
- [50] Mensink, R. P., Lebbink, W. J., Lobbezoo, I. E., Der Wouw, M. P. M. E. W.-V., Zock, P. L., & Katan, M. B. (1995). Diterpene composition of oils from Arabica and Robusta coffee beans and their effects on serum lipids in man. *Journal of Internal Medicine*, 237(6), 543–550. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2796.1995.tb00883.x>
- [51] Speer, K., & Kölling-Speer, I. (2006). The lipid fraction of the coffee bean. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18, 201–216. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100014>
- [52] Badmos, S., Lee, S.-H., & Kuhnert, N. (2019). Comparison and quantification of chlorogenic acids for differentiation of green Robusta and Arabica coffee beans. *Food Research International*, 126, 108544. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108544>
- [53] Naveed, M., Hejazi, V., Abbas, M., Kamboh, A. A., Khan, G. J., Shumzaid, M., Ahmad, F., Babazadeh, D., FangFang, X., Modarresi-Ghazani, F., WenHua, L., &

XiaoHui, Z. (2018). Chlorogenic acid (CGA): A pharmacological review and call for further research. *Biomedicine & Pharmacotherapy = Biomedecine & Pharmacotherapie*, 97, 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.10.064>

[54] Mazzafera, P. (1991). Trigonelline in coffee. *Phytochemistry*, 30(7), 2309–2310. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(91\)83637-Z](https://doi.org/10.1016/0031-9422(91)83637-Z)

[55] Wei, F., Furihata, K., Koda, M., Hu, F., Miyakawa, T., & Tanokura, M. (2012). Roasting process of coffee beans as studied by nuclear magnetic resonance: Time course of changes in composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(4), 1005–1012. <https://doi.org/10.1021/jf205315r>

[56] Farah, A. (2012). Coffee Constituents. Στο Coffee (σσ. 21–58). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119949893.ch2>

[57] Perrone, D., Farah, A., & Donangelo, C. M. (2012). Influence of Coffee Roasting on the Incorporation of Phenolic Compounds into Melanoidins and Their Relationship with Antioxidant Activity of the Brew. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(17), 4265–4275. <https://doi.org/10.1021/jf205388x>

[58] Rufián-Henares, J. A., & Pastoriza, S. (2015). Chapter 20—Melanoidins in Coffee. In V. R. Preedy (Ed.), *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 183–188). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00020-6>

[59] Marek, G., Dobrzański, B., Oniszczyk, T., Combrzyński, M., Ćwikła, D., & Rusinek, R. (2020). Detection and Differentiation of Volatile Compound Profiles in Roasted Coffee Arabica Beans from Different Countries Using an Electronic Nose and GC-MS. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(7), 2124. <https://doi.org/10.3390/s20072124>

[60] Pham, M. C., Dinh, N. Y., & Le, P. H. (n.d.). Coffee volatile compounds. *International Journal of Food Science and Nutrition*.

[61] Sun, Z., Yang, N., Liu, C., Linforth, R. S. T., Zhang, X., & Fisk, I. D. (2019). Aroma binding and stability in brewed coffee: A case study of 2-furfurylthiol. *Food Chemistry*, 295, 449–455. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.175>

[62] Czerny, M., & Grosch, W. (2000). Potent Odorants of Raw Arabica Coffee. Their Changes during Roasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(3), 868–872. <https://doi.org/10.1021/jf990609n>

[63] Burdan, F. (2015). Chapter 22—Caffeine in Coffee. In V. R. Preedy (Ed.), *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 201–207). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00022-X>

-
- [64] Sinar ® *BeanPro 6070 Coffee Moisture (Free TXM Worth £150)*. (n.d.). Sinar Technology. Retrieved 3 February 2024, from <https://www.sinar.co.uk/product-page/sinar-beanpro-6070>
- [65] Basheer, B., Albaqami, N., Alsaqabi, D., Alkhneen, S., Alenazi, A., Ghilan, M., Al-Angari, S., & Ali, R. (2022). Evaluation of Titratable Acidity and pH Level of Different Coffee Drinks- An In-vitro Study. *Pakistan Journal of Medical and Health Sciences*, 16, 767–770. <https://doi.org/10.53350/pjmhs22161767>
- [66] Geremu, M., Tola, Y. B., & Sualeh, A. (2016). Extraction and determination of total polyphenols and antioxidant capacity of red coffee (*Coffea arabica* L.) pulp of wet processing plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 3(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0077-1>
- [67] hannagreece. (2014, October 16). *Έλεγχος θολρότητας*. hannagreece. <https://hannagreece.gr/έλεγχος-θολρότητας/>
- [68] Catão, A. A., Mateus, N. de S., Garcia, C. da C., da Silva, M. C., Novaes, F. J. M., Alves, S., Marriott, P. J., & da Silva, A. I. (2022). Coffee-roasting variables associated with volatile organic profiles and sensory evaluation using multivariate analysis. *Applied Food Research*, 2(2), 100223. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100223>
- [69] *Tannins*. (n.d.). Retrieved 3 April 2025, from <https://www.fs.usda.gov/wildflowers/ethnobotany/tannins.shtml>
- [70] Vilar, M. A., Júnior, W., & Caetano, N. (n.d.). *Valorization of spent coffee grounds—Tannin recovery*
- [71] Pokhrel, P., Shrestha, S., Rijal, S., & Rai, K. (2016). A simple HPLC Method for the Determination of Caffeine Content in Tea and Coffee. *Journal of Food Science and Technology Nepal*, 9, 74. <https://doi.org/10.3126/jfstn.v9i0.16200>
- [72] Palacios-Cabrera, H. A., Menezes, H. C., Iamanaka, B. T., Canepa, F., Teixeira, A. A., Carvalhaes, N., Santi, D., Leme, P. T. Z., Yotsuyanagi, K., & Taniwaki, M. H. (2007). Effect of temperature and relative humidity during transportation on green coffee bean moisture content and ochratoxin A production. *Journal of Food Protection*, 70(1), 164–171. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-70.1.164>
- [73] Worku, M., de Meulenaer, B., Duchateau, L., & Boeckx, P. (2018). Effect of altitude on biochemical composition and quality of green arabica coffee beans can be affected by shade and postharvest processing method. *Food Research International*, 105, 278–285. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.016>

[74] Behind the scenes of coffee roasting – Moisture Content—Banyan Coffee Co. (n.d.). <https://www.banyancoffeecompany.com/>. Retrieved 1 June 2025, from <https://www.banyancoffeecompany.com/behind-the-scenes-of-coffee-roasting-moisture-content/>

[75] Adnan, A., Hörsten, D. von, Pawelzik, E., & Mörlein, A. D. (2017). Rapid Prediction of Moisture Content in Intact Green Coffee Beans Using Near Infrared Spectroscopy. *Foods*, 6(5), 38. <https://doi.org/10.3390/foods6050038>

[76] Pittia, P., Dalla Rosa, M., & Lerici, C. R. (2001). Textural Changes of Coffee Beans as Affected by Roasting Conditions. *LWT - Food Science and Technology*, 34(3), 168–175. <https://doi.org/10.1006/fstl.2000.0749>

[77] *Is Coffee Acidic? What is the pH of Coffee? [Tips to Truly Low Acid Co.* (n.d.). Mavericks coffee. Retrieved 13 June 2025, from <https://maverickscoffee.com/blogs/news/is-coffee-acidic-what-is-the-ph-of-coffee-tips-to-truly-low-acid-coffee>

[78] Santanatoglia, A., Angeloni, S., Caprioli, G., Fioretti, L., Ricciutelli, M., Vittori, S., & Alessandrini, L. (2024). Comprehensive investigation of coffee acidity on eight different brewing methods through chemical analyses, sensory evaluation and statistical elaboration. *Food Chemistry*, 454, 139717. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139717>

[79] Gloess, A. N., Schönbächler, B., Klopprogge, B., D'Ambrosio, L., Chatelain, K., Bongartz, A., Strittmatter, A., Rast, M., & Yeretzian, C. (2013). Comparison of nine common coffee extraction methods: Instrumental and sensory analysis. *European Food Research and Technology*, 236(4), 607–627. <https://doi.org/10.1007/s00217-013-1917-x>

[80] Bobková, A., Hudáček, M., Jakabová, S., Belej, L., Capcarová, M., Čurlej, J., Bobko, M., Árvay, J., Jakab, I., Čapla, J., & Demianová, A. (2020). The effect of roasting on the total polyphenols and antioxidant activity of coffee. *Journal of Environmental Science and Health. Part. B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 55(5), 495–500. <https://doi.org/10.1080/03601234.2020.1724660>

[81] Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review | Food and Bioprocess Technology | Springer Nature Link. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 14 Ιούλιος 2026, από <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-012-0867-9>

[82] Baggenstoss, J., Poisson, L., Kaegi, R., Perren, R., & Escher, F. (2008). Coffee roasting and aroma formation: Application of different time-temperature conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(14), 5836–5846. <https://doi.org/10.1021/jf800327j>

-
- [83] Turan Ayseli, M., Kelebek, H., & Selli, S. (2021). Elucidation of aroma-active compounds and chlorogenic acids of Turkish coffee brewed from medium and dark roasted *Coffea arabica* beans. *Food Chemistry*, 338, 127821.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127821>
- [84] Hagerman, A. E. (2025). *The Tannin Handbook*.
<https://ulbldsp01.lib.miamioh.edu/bitstream/handle/2374.MIA/7043/Tannin%20Handbook%202025.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [85] Choi, B., & Koh, E. (2017). Spent coffee as a rich source of antioxidative compounds. *Food Science and Biotechnology*, 26(4), 921–927.
<https://doi.org/10.1007/s10068-017-0144-9>
- [86] The Impact of Brewing Methods on the Quality of a Cup of Coffee. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 3 Ιούnius 2026, από https://www.mdpi.com/2306-5710/11/5/125?utm_source=chatgpt.com
- [87] *What is HPLC (High Performance Liquid Chromatography)*. (n.d.). Retrieved 22 May 2025, from https://www.shimadzu.com/an/service-support/technical-support/analysis-basics/basic/what_is_hplc.html
- [88] Olechno, E., Puścion-Jakubik, A., Zujko, M. E., & Socha, K. (2021). Influence of Various Factors on Caffeine Content in Coffee Brews. *Foods*, 10(6), 1208.
<https://doi.org/10.3390/foods10061208>
- [89] Hancı, M., Bayram, S., Karahan, S., Kaya, E., & Bakırcı, S. (2013). Türk Kahvesi ve Türkiye’de Satılan Bazı İçeceklerdeki Kafein Miktarları. *Duzce Medical Journal*, 15(3), 34–38. <https://dergipark.org.tr/en/pub/dtfd/article/611370>
- [90] Auvray, M., & Spence, C. (2008). The multisensory perception of flavor. *Consciousness and Cognition*, 17(3), 1016–1031.
<https://doi.org/10.1016/j.concog.2007.06.005>