



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΤΟΝ ΠΟΙΟΤΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ  
ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΚΑΦΕ

---

APPLICATIONS OF IMAGE ANALYSIS TECHNIQUES IN THE QUALITY  
CONTROL OF COFFEE VARIETIES



*Καφέδεντρο. International Journal of Academic Information  
Systems Research, 2019*

Όνομα Φοιτητή/Name of student

*Ευάγγελος Πέκος/Evangelos Pekos*

Όνομα εισηγητή/Name of the supervisor

*Δρ Σωτήριος Μπρατάκος/Dr Sotirios Bratakos*

*Αιγάλεω, 2023*



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

**«ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΤΟΝ ΠΟΙΟΤΙΚΟ  
ΕΛΕΓΧΟ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΚΑΦΕ»**

**Μέλη εξεταστικής επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**  
Η πτυχιακή εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την εξής Εξεταστική Επιτροπή:

<b>A/A</b>	<b>ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΔΑ-ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
1	ΣΩΤΗΡΙΟΣ ΜΠΡΑΤΑΚΟΣ	ΕΔΙΠ	
2	ΕΥΤΥΧΙΑ ΚΡΙΤΣΗ	ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟΣ ΥΠΟΤΡΟΦΟΣ	
3	ΤΣΙΑΚΑ ΘΑΛΕΙΑ	ΔΙΔΑΚΤΙΚΟ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΕΣΠΑ	

## **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Ευάγγελος Ματθαίου Πέκος, με αριθμό μητρώου 71615149, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

Ο Δηλών

## Περίληψη

Ο καφές είναι το πιο συχνά συναλλασσόμενο προϊόν μετά το πετρέλαιο και είναι ένα προϊόν υψίστης σημασίας για την παγκόσμια οικονομία. Ως ένα προϊόν που γνωρίζει ιδιαίτερης προτίμησης από το καταναλωτικό κοινό οι απαιτήσεις σε ό,τι αφορά την ποιότητα του καφέ ολοένα και αυξάνονται. Για την παραγωγή όμως, καφέ υψηλής ποιότητας απαιτείται από τις παραγωγικές μονάδες η αναβάθμιση του εξοπλισμού, μέσω του οποίου ελέγχει και εξασφαλίζει την ποιότητα στα τελικά προϊόντα. Συγκεκριμένα, στην παραγωγή καφέ, ο μακροσκοπικός έλεγχος είναι ένα από τα βασικότερα βήματα στον έλεγχο της ποιότητας και χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερα δύσκολος και απαιτητικός. Ωστόσο, τα ανθρώπινα μάτια (μέσω του οποίου πραγματοποιείται ο μακροσκοπικός έλεγχος) οδηγεί συχνά σε υψηλά ποσοστά σφάλματος, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ποιότητα. Η ανάλυση της εικόνας είναι μια μέθοδος που μπορεί να προσφέρει λύση σε αυτό το πρόβλημα, καθώς αντικαθιστά το ανθρώπινο μάτι με σύγχρονες κάμερες, ικανές να παρέχουν εικόνες δείγματος υψηλής ποιότητας και ανάλυσης, τις οποίες ο υπολογιστής (έναντι του ανθρώπινου εγκέφαλου) επεξεργάζεται, αναλύει και ταξινομεί. Στην παρούσα εργασία, ο αναγνώστης μπορεί να πληροφορηθεί σχετικά με τον καφέ ως προϊόν και την ανάλυση της εικόνας σαν μέθοδο ελέγχου ποιότητας, με σκοπό τελικά να εξετασθούν παραδείγματα από εφαρμογές των τεχνικών της ανάλυσης της εικόνας στον ποιοτικό έλεγχο διαφόρων ποικιλιών καφέ.

## Abstract

Coffee is the most traded product after oil and is of utmost importance to the global economy. As a product known to be particularly preferred by consumers, the demands regarding the quality of coffee are constantly increasing. However, high quality coffee production requires for production units to update their equipment with which, they control and ensure the quality of the final products. Specifically on coffee production, macroscopic control is one of the basic steps for quality control and is characterized as particularly difficult and demanding. However, human eyes (with which, macroscopic control is performed) leads frequently to high error rates, thereby reducing quality. Image analysis is a method able to require solution to this problem as it replaces human eyes with modern cameras which are able to provide high-quality and high-resolution images which the computer (instead of human brain) processes, analyzes and classifies. In the present thesis, the reader can be informed about coffee (as a product) and image analysis (as a quality control method), in order to finally examine examples of applications of image analysis in quality control of different coffee varieties.

### *ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ:*

Θα ήθελα ιδιαίτερα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, κύριο Σωτήριο Μπρατάκο, για την ανάθεση του θέματος της παρούσης εργασίας και για την πολύτιμη βοήθειά του κατά την εκπόνηση της. Επίσης, ευχαριστώ την κυρία Τσιάκα, την κύρια Κρίση για την συμμετοχή τους ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής. Τέλος, ευχαριστώ και τους 3 προαναφερθέντες γιατί πάνω από καθηγητές, υπήρξαν πραγματικοί «δάσκαλοι», τουτέστιν πηγή έμπνευσης και κινητήρια δύναμη, κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

## Πίνακας Περιεχομένων

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή</b>	10
<b>2</b>	<b>Ο Καφές</b>	14
2.1	Καταγωγή και ιστορία	14
2.2	Ποικιλίες, Παραγωγή, Καλλιέργεια & Ασθένειες	16
2.2.1	Ποικιλίες	16
2.2.2	Παραγωγή και Καλλιέργεια	18
2.2.3	Μικροβιακοί εχθροί	20
2.3	Πωλήσεις και στατιστικά	21
2.4	Επιπτώσεις στην υγεία	23
<b>3</b>	<b>Μέθοδος ανάλυσης της εικόνας στον έλεγχο ποιότητας</b>	26
3.1	Η Μέθοδος	26
3.2	Οργανολογία	28
3.2.1	Ο υπολογιστής	29
3.2.2	Φωτισμός	29
3.2.3	Λογισμικό	30
3.2.4	Η κάμερα	31
<b>4</b>	<b>Εφαρμογές στην ποιότητα καφέ</b>	33
4.1	Εφαρμογές στον έλεγχο ποιότητας της ποικιλίας <i>Arabica</i>	33
4.1.1	Έλεγχος της ποιότητας των πράσινων <i>Arabica</i> κόκκων καφέ	33
4.2	Εφαρμογές στην ποικιλία <i>Robusta</i>	36
4.2.1	Ταξινόμηση ποιότητας των καβουρδισμένων κόκκων <i>Robusta</i> με χρήση του αλγορίθμου CNN (E. Angelia et al., 2021)	36
4.3	Εφαρμογές στον εντοπισμό νοθείας για <i>Arabica</i> και <i>Robusta</i> (Pradana-López et al., 2021)	38
4.4	Σύγχρονες εφαρμογές της μεθόδου στον έλεγχο ποιότητας του καφέ	43
4.4.1	Αναγνώριση βαθμού ωριμότητας καρπών καφεόδεντρου με χρήση κινητού τηλεφώνου (Sudana et al., 2020)	43
<b>5</b>	<b>Βιβλιογραφία</b>	47

## Ευρετήριο εικόνων

<b>Εικόνα 1.</b> Κύκλος ζωής του C. Arabica, Science of the Total Enviroment. ....	18
<b>Εικόνα 2.</b> Η δομή ενός καρπού καφεόδεντρου (coffee berry) . (Hall et al., 2022).....	19
<b>Εικόνα 3.</b> Ουρεδοσπώριο του Hemileia vastatrix, Molecular Plant Pathology, 2017.....	20
<b>Εικόνα 4.</b> . Εξαγωγείς καφέ και ποσοστά συμμετοχής στην παγκόσμια εξαγωγή. (Dr Sanger, 2018).....	22
<b>Εικόνα 5.</b> Στοιχειώδης εξοπλισμός ενός συστήματος ψηφιακής όρασης (υπολογιστής-φωτογραφική μηχανή-πηγή φωτός). ....	28
<b>Εικόνα 6.</b> Κατανομή των πράσινων κόκκων καφέ σύμφωνα με τα μακροσκοπικά τους χαρακτηριστικά. (Maghfirah & Nasution, 2022).....	34
<b>Εικόνα 7.</b> Οργανολογία πειράματος εκτίμησης ποιότητας κόκκων Robusta (E. Angelia et al., 2021) .....	37
<b>Εικόνα 8.</b> Αποτελέσματα ταξινόμησης των κόκκων Robusta από το CNN. (E. Angelia et al., 2021) .....	38
<b>Εικόνα 9.</b> Τυχαίες εικόνες δειγμάτων προς εκπαίδευση του CNN. (Pradana-López et al., 2021) .....	39
<b>Εικόνα 10.</b> Ταξινομικός πίνακας των σωματιδίων του πειράματος (Pradana-López et al., 2021) .....	40
<b>Εικόνα 11.</b> Εικόνες νοθευμένου Arabica με Robusta. (Pradana-López et al., 2021).....	41
<b>Εικόνα 12.</b> Εικόνες νοθευμένου Arabica με κιχώριο. (Pradana-López et al., 2021).....	42
<b>Εικόνα 13.</b> Εικόνες νοθευμένου Arabica με κριθάρι. (Pradana-López et al., 2021).....	42
<b>Εικόνα 14.</b> Στιγμιότυπο οθόνης από την εφαρμογή ταξινόμησης καρπών καφέ, στην φάση της κανονικής λειτουργίας. Suldana et al., 2020.....	45
<b>Εικόνα 15.</b> Στιγμιότυπο οθόνης από την εφαρμογή ταξινόμησης καρπών καφέ, στην φάση της κανονικής λειτουργίας. Suldana et al., 2020.....	45



## Ευρετήριο Πινάκων/Διαγραμμάτων

<b>Πίνακας 1.</b> Ακρίβεια αποτελεσμάτων των δεδομένων testing και training για τους πράσινους κόκκους καφέ Arabica από την μέθοδο KNN. (Magfirah & Nasution, 2022).....	35
<b>Πίνακας 2.</b> Ακρίβεια αποτελεσμάτων των δεδομένων testing και training για τους πράσινους κόκκους καφέ Arabica από την SVM Μέθοδο. (Maghfirah & Nasution, 2022).....	35
<b>Πίνακας 3.</b> Σύγκριση αληθινών και πειραματικών τιμών από το CNN_1.. (Pradana-López et al., 2021).....	41
<b>Πίνακας 4.</b> Αποτελέσματα πειράματος. Φαίνονται τα αναμιγμένα προϊόντα, ο βαθμός νοθείας και η διάμετρος των κόκκων .....	42
<b>Πίνακας 5.</b> Αποτελέσματα και απόδοση της εφαρμογής ταξινόμησης καρπών καφέ Suldana et al., 2020.....	46
<b>Διάγραμμα 1.</b> Οι 10 κορυφαίοι εξαγωγείς καφέ. (Dr Sanger, 2018).....	22
<b>Διάγραμμα 2.</b> Διακύμανση πραγματικής και ονομαστικής αξίας του καφέ, Vochozka et. al. ....	23

# **1 Εισαγωγή**

Η έννοια ποιότητα δεν έχει έναν σταθερό ορισμό που να ισχύει γενικά και σε κάθε περίπτωση. Όταν λοιπόν αναφερόμαστε συγκεκριμένα στην ποιότητα των τροφίμων, αναφερόμαστε σε ιδιότητες και χαρακτηριστικά που είτε γίνονται αντιληπτά με τις αισθήσεις μας, είτε χρειαζόμαστε ειδικό εξοπλισμό προκειμένου να αποκτήσουμε μία εικόνα για την σχετική ιδιότητα ή χαρακτηριστικό (Harvey & Green, 1993; Shewfelt, 1998). Η ποιότητα των τροφίμων είναι αλληλένδετη, συν τοις άλλοις, με την ικανοποίηση των καταναλωτών (Peri, 2006; Shewfelt, 1998). Υπό το φως ότι η ικανοποίηση των καταναλωτών επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα, ένας γενικός ορισμός θα μπορούσε να είναι ότι ως ποιότητα τροφίμων ορίζουμε τον «βαθμό αριστείας» (Cardello, 1995) ή η «καταλληλότητα για κατανάλωση» (Peri, 2006). Επίσης, σύμφωνα με το ISO 8004, η ποιότητα ορίζεται ως «ένας συνδυασμός ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών προϊόντων ή υπηρεσιών που καθορίζουν την ικανότητά τους να ικανοποιούν τις καθιερωμένες ή υποτιθέμενες απαιτήσεις» (Lazareva, 2021).

Προκειμένου λοιπόν, οι παραγωγικές μονάδες και οι βιομηχανίες τροφίμων να μπορούν να ανταπεξέλθουν στις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις των καταναλωτών ως προς την ποιότητα (δηλαδή να παράγουν προϊόντα που θα ικανοποιούν τους καταναλωτές), εφαρμόζουν συστήματα διαχείρισης ποιότητας (QM). Ως QM, σύμφωνα με τον ISO 8401, ορίζονται «όλες οι ενέργειες της συνολικής λειτουργίας της διαχείρισης που καθορίζουν την πολιτική ποιότητας, τους στόχους, τις υπευθυνότητες και την εφαρμογή τους με μέσα όπως ο ποιοτικός σχεδιασμός, ο ποιοτικός έλεγχος, διασφάλιση ποιότητας και βελτίωση ποιότητας εντός τους συστήματος ποιότητας» (Dora et al., 2013). Σύστημα ποιότητας, όπως ορίστηκε από τον Feigenbaum το 1983, είναι «μία συμφωνημένη από όλη την εταιρεία και όλο το εργοστάσιο λειτουργική δομή εργασίας, τεκμηριωμένη σε αποτελεσματικές, ολοκληρωμένες τεχνικές και διαχειριστικές διαδικασίες για την καθοδήγηση των συντονισμένων ενεργειών των ανθρώπων, μηχανών και πληροφοριών της εταιρείας και του εργοστασίου με τους καλύτερους και αποτελεσματικότερους τρόπους για να διασφαλίζεται η ποιοτική ικανοποίηση των πελατών και το οικονομικό κόστος ποιότητας» (Mitra, 2016).

Κρίνεται λοιπόν, απαραίτητο για κάθε επιχείρηση να διασφαλίζει την ποιότητα των προϊόντων της (καθώς αυτό θα την κρατήσει ζωντανή στην ολοένα αναπτυσσόμενη αγορά) και να ελέγχει τα προϊόντα της ως προς την ποιότητα ώστε να επιβεβαιώνεται η παραγωγή προϊόντων με τα επιθυμητά/απαιτούμενα χαρακτηριστικά. Ως διασφάλιση ποιότητας ορίζονται όλες οι ενέργειες που είναι απαραίτητες για να διασφαλίσουν την απαραίτητη εμπιστοσύνη στο προϊόν και ως έλεγχος ποιότητας ορίζονται οι λειτουργικές τεχνικές και δραστηριότητες που χρησιμοποιούνται για την εκπλήρωση των απαιτήσεων ποιότητας. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι ο μεν έλεγχος ποιότητας εξασφαλίζει τον εντοπισμό των ελαττωματικών προϊόντων αλλά είναι η διασφάλιση ποιότητας που εξασφαλίζει τον εκμηδενισμό πιθανότητας επανεμφάνισης ελαττωμάτων (Τσάκνης, 2021).

Στις βιομηχανίες τροφίμων απαιτείται ανάλυση χαρακτηριστικών των τροφίμων για να εξασφαλισθούν οι απαιτήσεις ποιότητας (έλεγχος ποιότητας) από την α' ύλη ως το τελικό προϊόν (Nielsen, 2017). Η ανάλυση των χαρακτηριστικών αυτών μπορεί να επιτευχθεί είτε μέσω ενόργανης ανάλυσης είτε μέσω οργανοληπτικού ελέγχου (Γρηγοράκης & Τσάκνης, 2014).

Οργανοληπτικός έλεγχος, κατά τον IFT (Ινστιτούτο Τεχνολόγων Τροφίμων), είναι ο επιστημονικός κλάδος που χρησιμοποιείται για να προκαλέσει, να μετρήσει, να αναλύσει και να ερμηνεύσει αντιδράσεις στα χαρακτηριστικά των τροφίμων όπως αυτά γίνονται αντιληπτά από τις αισθήσεις της όρασης, της όσφρησης, της γεύσης, της αφής και της ακοής (Piggott et al., 1998). Ο συγκεκριμένος έλεγχος πραγματοποιείται μέσω των οργανοληπτικών δοκιμών που εφαρμόζονται από τον δοκιμαστή. Ο οργανοληπτικός έλεγχος θεωρείται απαραίτητος καθώς σε πολλές περιπτώσεις παρατηρείται αδυναμία των αναλυτικών οργάνων της ενόργανης ανάλυσης να αποδώσουν κάποια πιο πολύπλοκα ερεθίσματα τα οποία στην περίπτωση του ανθρώπου γίνονται αντιληπτά. Επίσης, ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό και προτέρημα των οργανοληπτικών αναλύσεων, είναι ότι ο δοκιμαστής συν τοις άλλοις είναι σε θέση να εκφράσει τα συναισθήματα που του δημιουργούνται, κάτι που σε πολλές περιπτώσεις είναι χρήσιμο δεδομένο, πλην κανένα μηχάνημα ή όργανο δεν είναι σε θέση να αποδώσει. Από την άλλη, σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι το στοιχείο της υποκειμενικότητας το οποίο υπάρχει εις αεί θα υπάρχει και επηρεάζει τα δεδομένα, αν και είναι δυνατόν οι

επιπτώσεις του να μειωθούν σημαντικά με σωστό σχεδιασμό της ανάλυσης αυτής (Γρηγοράκης & Τσάκνης, 2014).

Η ενόργανη ανάλυση στην πραγματικότητα είναι μια χημική ανάλυση κατά την οποία γίνεται χρήση οργάνων. Οι χημικές αναλύσεις αποσκοπούν στην ποιοτική ανίχνευση συστατικών δειγμάτων και κατόπιν στον ποσοτικό προσδιορισμό. Η ενόργανη ανάλυση υπερτερεί της κλασσικής χημικής ανάλυσης καθώς έχει αυξημένη ευαισθησία, οι αναλύσεις διαρκούν λιγότερο χρόνο και έχουν την δυνατότητα αυτοματοποίησης ενώ μειονεκτούν ως προς την ακρίβεια και απαιτούνται πρότυπα διαλύματα για την βαθμονόμηση των οργάνων (Παπαδογιάννης & Σαμανίδου, 2001). Υπάρχουν διάφορες τεχνικές ενόργανης ανάλυσης. Κατανέμονται ως οπτικές (φασματομετρία στο Vis-UV-IR, φθορισμομετρία, φασματοσκοπία και φλογοφασματοφωτομετρία), ηλεκτροχημικές (αγωγιμομετρία, ποτενσιομετρία), θερμομετρικές (Διαφορική θερμική ανάλυση) και άλλες (Paré & Bélanger, 1997; Παπαδογιάννης & Σαμανίδου, 2001).

Παρά τα αδιαμφισβήτητα οφέλη της ενόργανης ανάλυσης, σε ορισμένες περιπτώσεις, η ποιότητα είναι συνυφασμένη μάλλον με τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου (Brosnan & Sun, 2004b). Πλην, όπως προαναφέρθηκε, στα σημαντικά μειονεκτήματα των οργανοληπτικών αναλύσεων είναι η υποκειμενικότητα του δοκιμαστή. Υπήρξε λοιπόν η ανάγκη για την δημιουργία μια τεχνολογίας που θα έδινε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα στην ανάλυση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών. Μια τέτοια προσπάθεια είναι και η ανάλυση της εικόνας.

Η μέθοδος ανάλυσης της εικόνας τείνει να αντικαταστήσει τον άνθρωπο σε ό,τι αφορά τον μακροσκοπικό έλεγχο των τροφίμων. Κανείς άνθρωπος δεν γεννιέται γνωρίζοντας γραφή και ανάγνωση, αλλά μέσω του εκπαιδευτικού συστήματος μαθαίνουμε να μεταφράζουμε τα γράμματα από δισδιάστατες φιγούρες σε φθόγγους, λέξεις, προτάσεις, παραγράφους. Αυτό από μόνο του αποτελεί ένα παράδειγμα ανάλυσης της εικόνας (Glasbey & Horgan, 1997). Στην περίπτωση μας όμως, η ανάλυση δεν γίνεται από άνθρωπο αλλά από ένα σύστημα υπολογιστή-κάμερας όπως θα αναλυθεί στην συνέχεια (Gomes & Leta, 2012). Η ανάλυση της εικόνας βρίσκει ένα αρκετά ευρύ πεδίο εφαρμογών όπως η ποιοτική ανάλυση της υφής ή η ταξινόμηση βάσει σχήματος και χαρακτηριστικών επιφανείας του τροφίμου (Aguilera, 2005).

Μια τέτοια τεχνολογία μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη, ειδικά όταν πρόκειται για ένα προϊόν όπως ο καφές, που ο οργανοληπτικός έλεγχος είναι απαραίτητος ήδη από την α' ύλη και ταυτόχρονα είναι αρκετά δύσκολος και απαιτητικός (Leroy et al., 2006).

Όστε, στην παρούσα εργασία αναλύονται κάποιες χαρακτηριστικές εφαρμογές των τεχνικών ανάλυσης της εικόνας στον έλεγχο ποιότητας ποικιλιών καφέ. Χαρακτηριστικά στα επόμενα κεφάλαια θα αναλυθεί ο καφές ως προϊόν (παραγωγή, ασθένειες, ιστορία κ.α.), στην συνέχεια θα εμβαθύνουμε στην ανάλυση της εικόνας σαν μέθοδο ελέγχου ποιότητας (οργανολογία, μητρικές τεχνολογίες κ.α.) και τελικά θα αναλυθούν πειράματα και εφαρμογές με σημείο αναφοράς την ποιότητα του καφέ.

## **2 Ο Καφές**

### **2.1 Καταγωγή και ιστορία**

Ως κόκκοι καφέ ορίζονται οι σπόροι των ανθοφόρων φυτών του γένους *Coffea* (Farah, 2019). Σύμφωνα με ιστορικές μελέτες, τα καφεόδεντρα κατάγονται από την Αφρική, την ήπειρο η οποία φιλοξενεί πλέον των 130 ειδών του γένους αυτού (Morris, 2019). Συγκεκριμένα ως χώρα προέλευσης αναφέρεται η Αιθιοπία, κάτι το οποίο παραμένει ασαφές (Farah, 2019; Miller & Buiten, 2022; Πάπυρος Larousse Britannica b, n.d.). Η φήμη του καφέ εξαπλώθηκε γρήγορα μέσω των εμπόρων και των πλανόδιων πωλητών του μεσαιωνικού κόσμου, ενώ οι «αφυπνιστικές» ιδιότητες, η γεύση και το άρωμα αυτού του σκουρόχρωμου αφεψήματος, κέρδισε γρήγορα τις εντυπώσεις των καταναλωτών (Kerr, 2021; Πάπυρος Larousse Britannica b, n.d.). Όσο ο καιρός περνούσε η φήμη του καφέ απλώθηκε στις χώρες της Μέσης Ανατολής, στην Ευρώπη και κατόπιν στον «Νέο Κόσμο» (Kerr, 2021; Miller & Buiten, 2022).

Γενικά, δεν υπάρχουν σαφείς αναφορές χρήσης του καφέ στην αρχαία Ελλάδα. Υπάρχουν, ωστόσο αναφορές Άγγλων συγγραφέων που υπαινίσσονται ότι ο «Μέλανος Ζωμός» των Σπαρτιατών ήταν, επί της ουσίας, αφέψημα καφέ. Επίσης, γίνονται αναφορές από θεολόγους για αναφορές των κόκκων καφέ στις ιστορίες της Βίβλου (Kerr, 2021).

Ο καφές προωθήθηκε πέραν των Αφρικανικών συνόρων προς τις χώρες της ανατολής μέσω της Οθωμανικής αυτοκρατορίας, όταν ο σουλτάνος Σελίμ Α' κατέκτησε την Αίγυπτο και επέστρεψε με τον καφέ στην πρωτεύουσα. Αυτό προκάλεσε μια θύελλα αντιδράσεων καθώς το ρόφημα διαδόθηκε πολύ γρήγορα και έτσι άρχισαν να δημιουργούνται τα πρώτα μαγαζιά καφέ, όπου στους θαμώνες σερβίρονταν μόνο καφές. Όμως, οι πιστοί μουσουλμάνοι ξόδευαν πολύ χρόνο στους χώρους αυτούς, παραμελώντας τις θρησκευτικές τους υποχρεώσεις με αποτέλεσμα όσοι κατανάλωναν ή πωλούσαν καφέ να μην θεωρούνται από τους θρησκευτικούς ηγέτες ως ακόλουθοι του Μωάμεθ (Kerr, 2021). Μάλιστα, ο σουλτάνος Σουλεϊμάν Ι, συμβουλευόμενος τους δικαστές του κράτους, έθεσε γενική απαγόρευση στην κατανάλωση και διάθεση του καφέ (Kerr, 2021). Όταν η κρίση αυτή ξεπεράστηκε, ο καφές επανήλθε στην Οθωμανική αγορά. Έγινε δε, τόσο γρήγορα αγαπητός που, ένεκα της

απαγόρευσης κατανάλωσης αλκοολούχων ποτών από τις Ισλαμικές παραδόσεις, ονομάστηκε «το κρασί του Ισλάμ» (Kerr, 2021; Miller & Buiten, 2022).

Παρά την Αφρικανική του καταγωγή, η πιο γνωστή και διαδεδομένη ποικιλία καφέ ήταν η Αραβική. Στην πραγματικότητα πρόκειται για τις ρίζες των αφρικανικών καφεόδεντρων που μεταφέρθηκαν και καλλιεργήθηκαν στην Αραβία (Πάπυρος Larousse Britannica b, n.d.). Από εκεί, συγκεκριμένα από την Υεμένη, προερχόταν σχεδόν αποκλειστικά όλη η παραγωγή του καφέ μέχρι και τον 17<sup>ο</sup> αιώνα (Kerr, 2021; Morris, 2019; Πάπυρος Larousse Britannica b, n.d.). Τελικά, οι Ολλανδοί θα ανακαλύψουν ότι ο καφές μπορεί να καλλιεργηθεί και πέραν της Αραβίας, καταρρίπτοντας το Αραβικό μονοπώλιο. Μέσω αυτών η καλλιέργεια του καφέ διαδόθηκε στην Γαλλία κι από εκεί στην Νότια και κεντρική Αμερική (Kerr, 2021).

Στο ταξίδι του στην Ευρώπη, το ρόφημα αυτό γνώρισε μεγάλη επιτυχία στα καφενεία του Λονδίνου και του Παρισιού. Ενώ η γεύση, το άρωμα και οι ιδιότητες του ροφήματος έλκυαν τους θαμώνες, τα μαγαζιά καφέ αποτέλεσαν συν τοις άλλοις γνωστά κέντρα κοινωνικοπολιτικής επιρροής και συζήτησης (Kerr, 2021; Πάπυρος Larousse Britannica b, n.d.). Συγκεκριμένα, έχει καταγραφεί ότι ο Έλληνας φοιτητής Ναθαναήλ Κανώπιος, ήταν ο πρώτος που κατανάλωσε καφέ εντός του Λονδίνου και εισήγαγε την συνήθεια αυτή στην καρδιά της Αγγλίας (Morris, 2019).

Αξίζει βέβαια στο σημείο αυτό, να αναφέρουμε ότι ο μεγάλος ενθουσιασμός του καταναλωτικού κοινού, ιδιαίτερα στην αρχή της διάδοσης του νέου ροφήματος, εμφάνισε και τις πρώτες επιπτώσεις στην υγεία (για λόγους που αναλύονται στην ενότητα 2.4). Μάλιστα, τα κρούσματα ήταν τέτοια που το ζήτημα της ποσότητας κατανάλωσης του καφέ απασχόλησε την επιστημονική κοινότητα ως ζήτημα ηθικό και κοινωνικό (Farah, 2019).

Σήμερα ο καφές αποτελεί ένα από τα βασικότερα μη-αλκοολούχα ροφήματα, με ευρεία κατανάλωση σε παγκόσμιο επίπεδο (Morris, 2019; Πάπυρος Larousse Britannica c, n.d.). Συγκεκριμένα, αναφέρεται ως το δεύτερο πιο συχνά συναλλασσόμενο αγαθό μετά το πετρέλαιο (Fernandes et al., 2009; Mussatto et al., 2011). Ο τρόπος παρασκευής του ροφήματος έχει εξελιχθεί,

ενώ σύγχρονες μέθοδοι (μηχανή espresso, κάψουλες) και παραδοσιακές μέθοδοι (βράσιμο αλεσμένων κόκκων) συνυπάρχουν αρμονικά (Morris, 2019; Πάπυρος Larousse Britannica c, n.d.). Αποτελεί πλέον καθημερινό και αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας μας ενώ καλλιεργείται σε διάφορα σημεία της γης, ως ξεχωριστές ποικιλίες.

## 2.2 Ποικιλίες, Παραγωγή, Καλλιέργεια & Ασθένειες

### 2.2.1 Ποικιλίες

Όπως προαναφέρθηκε, ο καφές προέρχεται από τους σπόρους των ανθοφόρων φυτών του γένους *Coffea* (καφεόδεντρο) που ανήκει στην οικογένεια Rubiaceae. Χωρίζεται δε σε δύο υπογένη το *Coffea* και *Baracoffea*. Από αυτά, μόνο το υπογένος *Coffea* περιέχει είδη που χρησιμοποιούνται από τις βιομηχανίες παραγωγής καφέ (Farah, 2019). Από τα τουλάχιστον 70 είδη του υπογένους *Coffea*, στην παραγωγή τα πλέον διαδεδομένα είναι ο *Coffea arabica* (ποικιλία Arabica), ο *Coffea canephora* (ποικιλία Robusta) και σε πολύ μικρά ποσοστά οι *Coffea liberica* (ποικιλία Liberica) και *Coffea dewevrei* (ποικιλία Excelsa) (Campuzano-Duque et al., 2021; N'Diaye et al., 2005; D. Santos et al., 2019). Παράλληλα, οι επιστήμονες επικεντρώνουν το ενδιαφέρον τους και σε αρχαιότερα είδη, οι διασταυρώσεις των οποίων απέδωσαν τις σημερινές γνωστές ποικιλίες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν ο *Coffea stenophylla* και ο *Coffea affinis*, των οποίων η προσφορά στην σύγχρονη παγκόσμια παραγωγή καφέ αποτελεί πεδίο έρευνας (Davis et al., 2020). Αξιοσημείωτο είναι, ότι από το αρχείο της επίσημης ιστοσελίδα του Διεθνούς Οργανισμού Καφέ (ICO) (συγκεκριμένα στην παρουσίαση του Gladino που αφορά τον καφέ στην παγκόσμια αγορά), δεν αναφέρονται άλλες ποικιλίες ή είδη πλην των Arabica και Robusta (Galindo, 2014). Μάλιστα, σύμφωνα με αρκετές βιβλιογραφικές αναφορές, οι ποικιλίες Arabica και Robusta κυριαρχούν από άποψη παραγωγής, καταλαμβάνοντας το 60% και 40% της παγκόσμιας αγοράς αντιστοίχως (Davis et al., 2020; Kemsley, 1995; Krishnan, 2017; Krishnan et al., 2021; Talhinhos et al., 2017; Torres Castillo et al., 2020). Οι παραπάνω ποικιλίες χωρίζονται σε επιμέρους καλλιεργητικές ποικιλίες με πιο διαδεδομένες τις Typica και Bourbon της ποικιλίας Arabica. Η διαφορά μεταξύ «ποικιλίας» και «καλλιεργητικής ποικιλίας» (αγγλιστί varieties και cultivars αντίστοιχα) είναι ότι η μεν «ποικιλία» είναι αποτέλεσμα φυσικής επιλογής, ενώ



η «καλλιεργητική ποικιλία» είναι αποτέλεσμα γενετικής επιλογής, δηλαδή επιλεκτικής αναπαραγωγής. Η τελευταία επιτυγχάνεται με μεθόδους όπως ο εμβολιασμός. (Evans & Hamilton, 1999; Labouisse et al., 2008; Πάπυρος Larousse Britannica a, n.d.)

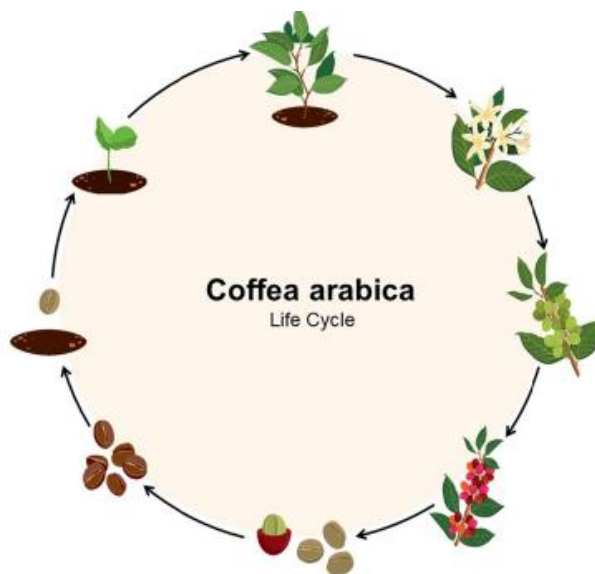
#### 2.2.1.1 *Arabica* και *Robusta*

Ο *C. arabica* είναι ένας αειθαλής θάμνος και μπορεί να φτάσει ως τα 4 μέτρα σε ύψος. Έχει κλαδιά πλευρικά (που ανοίγουν προς τα έξω) και όρθια (με κατεύθυνση προς τα πάνω). Έχει φύλλα λογχοειδή που γεννιούνται σε ζεύγη με κατεύθυνση αντίθετη το ένα από το άλλο και έχουν μήκους περί τα 15 εκατοστά. Τα άνθη του φυτού είναι μικρά, λευκά, και με χαρακτηριστική ευχάριστη οσμή. Η δε περίοδος ανθοφορίας ποικίλει ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος (Ukers, 2011). Ο *Arabica* έχει μεγαλύτερο περιεχόμενο σε τοκοφερόλες και καφεΐνη (Kemsley, 1995; Martín et al., 1998). Επίσης, έχει υψηλή συγκέντρωση σε ενώσεις όπως η φουρανοεόλη, που του αποδίδουν μια ευχάριστη «νότα καραμέλας» που τον κάνει ιδιαίτερα αγαπητό (Blank et al., 1992) και περιέχει μεγαλύτερο ποσοστό σε πολυσακχαρίτες (48-55%) από τον *Robusta* (Fischer et al., 2001). Τέλος, ο *Arabica* αν και πιο «ποιοτικός» καφές είναι ιδιαίτερα απαιτητικός και ευαίσθητος σε ό,τι αφορά τις συνθήκες καλλιέργειας (15-24 °C, 2 μέτρα βροχή ανά έτος και 1000-2000 μέτρα υψόμετρο). Αξιοσημείωτο είναι δε ότι ως το 2050 οι ειδικοί προβλέπουν των περιοχών ικανών για την καλλιέργεια του *Arabica* ως 16% ένεκα της κλιματικής αλλαγής.

Ο *C. robusta* είναι θάμνος σημαντικά μεγαλύτερος από αυτόν του *Arabica*. Έχει σχήμα ομπρέλας καθώς τα κλαδιά του είναι μακριά και γέρνουν προς το έδαφος. Τα φύλλα του είναι λίγο πιο παχιά από αυτά του *Arabica* και ανθοφορεί ενώ δεν έχει κλείσει ακόμα το πρώτο του έτος. Οι δε καρποί του είναι μικρότεροι από αυτούς του *Arabica* (χωρίς να συμβαίνει το ίδιο και με το κόκκο). Παρά την αρκετά ταχεία καρποφορία του, οι καρποί που φέρει τα πρώτα δύο χρόνια είναι λίγοι, αλλά αυξάνονται σημαντικά μετά τα 4 έτη (Ukers, 2011). Ο *Robusta* έχει υψηλή περιεκτικότητα σε ενώσεις όπως αλκυλοπυραζίνες και γουαιακόλες στις οποίες αποδίδεται την χαρακτηριστική «πικρή, γήινη» γεύση του (Blank et al., 1992). Επίσης, περιέχει περισσότερες διακλαδιζόμενες γαλακτομαννάνες (που ανήκει στις διαιτητικές ίνες) και πολυσακχαρίτες σε

ποσοστό 38-48% (Fischer et al., 2001). Αξιοσημείωτο είναι ότι ενώ δεν είναι τόσο υψηλά σε προτίμηση όσο ο Arabica, είναι πιο ανθεκτικός σε συνθήκες καλλιέργειας και η παραγωγή του είναι ευκολότερη (24-30 °C, περίπου 2 μέτρα βροχή ανά έτος και υψόμετρο περί τα 800 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας).

### 2.2.2 Παραγωγή και Καλλιέργεια



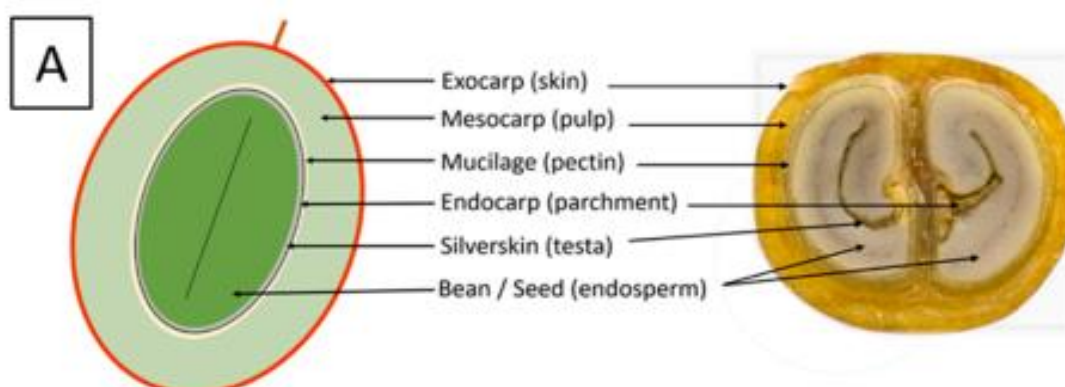
*Εικόνα 1. Κύκλος ζωής του C. Arabica, Science of the Total Environment.*

Το μέρος φυτού που παραλαμβάνουμε και αξιοποιούμε είναι οι κόκκοι του καφέ (αν και κάποιοι λαοί της τροπικής ζώνης συνήθιζαν να παράγουν καφέ από τα φύλλα του φυτού (Ukers, 2011). Οι κόκκοι αποτελούν τον πυρήνα των καρπών (μούρων) που παράγει το εν λόγω φυτό. Το καφεόδεντρο αρχικά, πρέπει αυτό καθ' εαυτό να ωριμάσει για ένα διάστημα. Η διαδικασία της ωρίμανσης του φυτού ολοκληρώνεται όταν παρατηρηθεί η πρώτη ανθοφορία (Torres Castillo et al., 2020). Έπειτα, μετά την πτώση των ανθών ξεκινά η περίοδος της καρποφορίας (Ukers, 2011). Η συλλογή των ώριμων καρπών γίνεται κατόπιν πέντε ετών από την αρχή της φυτείας. Η περίοδος συλλογής και η ποιότητα των κόκκων καφέ εξαρτάται από παράγοντες όπως το κατά τόπους κλίμα, η συχνότητα βροχοπτώσεων, η παροχή ηλιακού φωτός, το υψόμετρο και η ποικιλία. Γενικά, κατά την συλλογή των καρπών πρέπει να συλλέγονται κατά

κύριο λόγο οι ώριμοι (κοκκινωποί) καρποί οι οποίοι μπορούν στην συνέχεια να φυτευτούν εκ νέου και να αποδώσουν νέα καφεόδεντρα (**Εικόνα 1**). Η συλλογή άγουρων ή υπερώριμων καρπών, θα αποδώσουν κόκκους (και τελικά ρόφημα) φτωχότερα σε ποιότητα (Krishnan, 2017; Mussatto et al., 2011; Souza & Souza, 2008; Torres Castillo et al., 2020). Τα καφεόδεντρα μπορούν να αποδίδουν καρπούς για έως και 80 έτη. Κατόπιν του καρποφόρου διαστήματος της ζωής τους, τα καφεόδεντρα προχωρούν προς την αποσύνθεση (Torres Castillo et al., 2020).

Στον κατάλληλο καιρό (ανάλογα το είδος και τις συνθήκες καλλιέργειας όπως προαναφέρθηκε) συλλέγονται οι ώριμοι καρποί του καφεόδεντρου. Κάθε καρπός αποτελείται από έναν εξωτερικό φλοιό, ακολουθεί η σάρκα του καρπού (πούλπα) και τελικά στο κέντρο βρίσκονται δύο πυρήνες (κόκκοι) που περιβάλλονται από έναν φλοιό έκαστος (**Εικόνα 2**). Οι κόκκοι στο σημείο αυτό είναι γνωστοί ως «πράσινοι κόκκοι» και αποτελούν ως και το 50% του συνολικού βάρους του καρπού (Hall et al., 2022). Η δε ποιότητα των κόκκων εξαρτάται από την περιεχόμενη υγρασία, τους τραυματισμούς του σώματος των κόκκων, το μέγεθος τους και την περιεκτικότητά τους σε χημικές ενώσεις όπως φλαβονοειδείς ή χλωροφύλλες (η εκατοστιαία περιεκτικότητα των οποίων είναι ενδεικτική του βαθμού ωρίμανσης του καρπού από τον οποίο προήλθαν) (Sudana et al., 2020)

Αφού λοιπόν, συλλεχθούν οι καρποί, υπάρχουν δύο τρόποι για να προχωρήσει η διαδικασία της επεξεργασίας τους, η υγρή μέθοδος και η ξηρή μέθοδος.

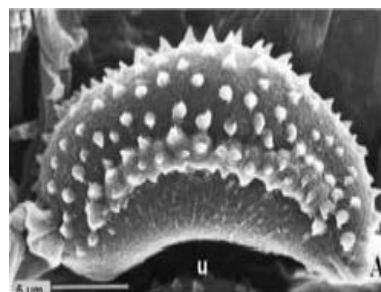


**Εικόνα 2.** Η δομή ενός καρπού καφεόδεντρου (coffee berry) . (Hall et al., 2022)

Κατά την υγρή μέθοδο, ο πυρήνας του καρπού αφαιρείται με μηχανικό τρόπο, όσο ο καρπός είναι ακόμα φρέσκος, και απομονώνεται. Γενικά, η υγρή μέθοδος είναι μια τεχνική με πολλά στάδια και απαιτεί μεγάλη ποσότητα νερού καθώς οι απομονωμένοι κόκκοι μεταφέρονται σε δοχεία με νερό και εκεί λαμβάνει χώρα μια αυθόρμητη ζύμωση που αφαιρεί βλεννοειδείς ουσίες που υπάρχουν στον κόκκο (κατάλοιπα από την πούλπα του καρπού). Έπειτα, ο κόκκος πλένεται για να αφαιρεθούν υπόλοιπα βλέννας και ακολουθεί το καβούρδισμα. Κατά την ξηρή μέθοδο δεν προηγείται κάποια μηχανική προεπεξεργασία του καρπού, αλλά ολόκληρος ο καρπός υπόκειται σε θερμική επεξεργασία (ξήρανση) και κατόπιν γίνεται η αφαίρεση του κόκκου από τον καρπό. Κατά το καβούρδισμα και με τις δύο μεθόδους επιτυγχάνεται αποτροπή των οξειδώσεων στον κόκκο, ενώ ταυτόχρονα αναδεικνύονται τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά. Γενικά, η ξηρή μέθοδος χαρακτηρίζεται ως πιο «επιθετική» και ως εκ τούτου προτιμάται στον Robusta ενώ η υγρή μέθοδος αποτελεί την συμβατή μέθοδο για τον Arabica (Alastair, n.d.; Montavon et al., 2003; Poltronieri & Rossi, 2016)

### 2.2.3 Μικροβιακοί εχθροί

Από βοτανολογικής άποψης, τα καφεόδεντρα υπόκεινται σε ασθένειες και επιθέσεις από μικροβιακούς παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη τους και την παραγωγική τους απόδοση (Talhinhas et al., 2017; Torres Castillo et al., 2020). Πολύ χαρακτηριστική και μία από τις πιο καταστροφικές ασθένειες είναι το CLR (coffee leaf rust) που



**Εικόνα 3.** Ουρεδοσπόριο του *Hemileia vastatrix*, *Molecular Plant Pathology*, 2017

οφείλεται στον μύκητα *Hemileia vastatrix* (που στο εξής θα αναφέρουμε ως HV) (**Εικόνα 3**) (Mettleq & Abu-Naser, 2019; Talhinhas et al., 2017; Torres Castillo et al., 2020). Ο HV είναι ημικυκλικός μύκητας της οικογένειας Chaconiaceae, της συνομοταξίας Basidiomycota και παρουσιάζει ιδιαίτερη προτίμηση στον *Coffea arabica* (Talhinhas et al., 2017; Torres Castillo et al., 2020). Χαρακτηριστικές μακροσκοπικές επιπτώσεις της μόλυνσης με HV είναι αρχικά κιτρίνισμα και κατόπιν καφέτιασμα των φύλλων με παράλληλη ξήρανσή τους και τελικά πτώση των φύλλων. Η ασθένεια είναι εξαιρετικά μεταδοτική τόσο

μεταξύ των φύλλων του ίδιου καφεόδεντρου όσο και μεταξύ των καφεόδεντρων μέσω του αέρα ή και της βροχής. (Talhinhas et al., 2017)

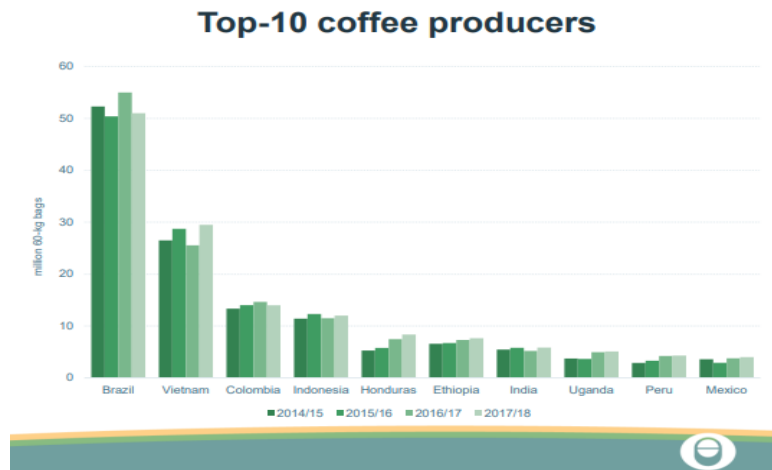
### 2.3 Πωλήσεις και στατιστικά

Όπως προαναφέρθηκε καφές είναι ένα από το κορυφαία σε πωλήσεις αγαθό στην παγκόσμια αγορά. Συγκεκριμένα, αναφέρεται ως το 2<sup>ο</sup> περισσότερο προτιμώμενο εμπόρευμα μετά το πετρέλαιο. (Slavona & Georgieva, 2019). Η σημαντικότητα του στην παγκόσμια οικονομία συγκρίνεται με την αυτήν πολύτιμων μεταλλευμάτων, όπως ο χρυσός (Vochozka et al., 2022).

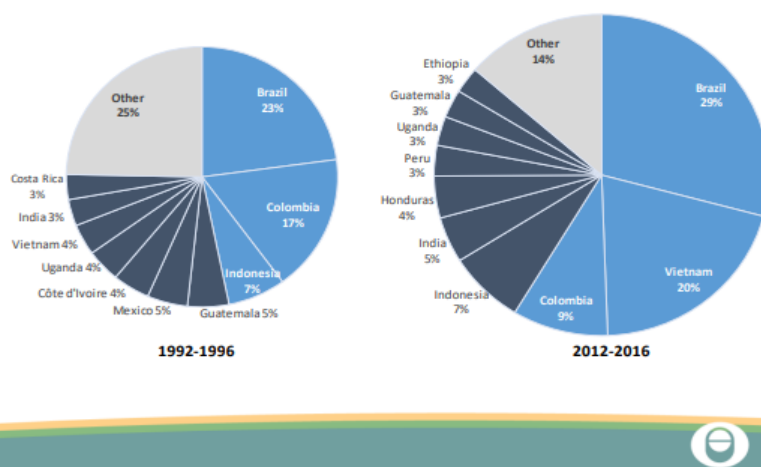
Τα καφεόδεντρα ως γεωργικά προϊόντα ακμάζουν ως επί των πλείστων σε περιοχές της τροπικής ζώνης, παρέχοντας έτσι σημαντικό εισόδημα για τις τριτοκοσμικές χώρες που υπάρχουν στις εν λόγω περιοχές (Χυ, 2003). Συγκεκριμένα, η Βραζιλία κρατά εδώ και αρκετά χρόνια την πρώτη θέση σε εξαγωγή καφέ, με το 80% της παραγωγής της να αποτελεί η ποικιλία Arabica (Dr Sanger, 2018; Slavona & Georgieva, 2019). Την δεύτερη θέση μέχρι τα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα κατείχε η Κολομβία ενώ στα μέσα της δεύτερης δεκαετίας του 21<sup>ου</sup> αιώνα την δεύτερη θέση κατέλαβε το Βιετνάμ ανεβάζοντας το ποσοστό εξαγωγής της από 7% στο 20% με την Κολομβία να περνά στην 3<sup>η</sup> θέση με πτώση του ποσοστού εξαγωγής από 17% σε 9% όπως φαίνεται αναλυτικά στην **(Εικόνα 4)** (Dr Sanger, 2018; Vochozka et al., 2022).

Στο **Διάγραμμα 1** απεικονίζονται οι 10 κορυφαίοι εξαγωγείς καφέ σε παγκόσμιο επίπεδο και οι εξαγωγές τους ανά εκατομμύρια 60kg τσάντες για τα έτη 2014-2018. Παρατηρούμε ότι η Βραζιλία παραμένει πάντοτε, όχι απλά πρώτη σε εξαγωγές, αλλά υπέρ-ξεπερνά κάθε άλλη χώρα-εξαγωγέα καλύπτοντας μόνη της πλέον του 25% της παγκόσμιας συναλλαγής καφέ. Αυτό οφείλεται ως επί των πλείστων στο κλίμα της Βραζιλίας το οποίο είναι το ιδανικό ώστε να αναπτυχθεί ο πλέον απαιτητικός, πλην κατά μεγαλύτερο ποσοστό προτιμώμενος, *Coffea Arabica*.

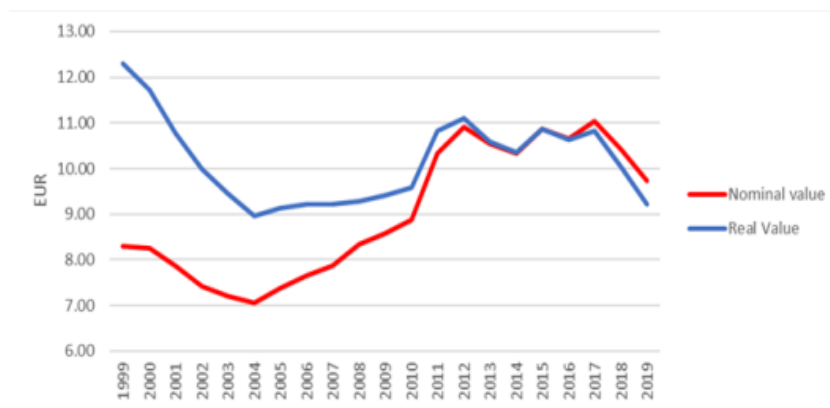
**Διάγραμμα 1.** Οι 10 κορυφαίοι εξαγωγείς καφέ. (Dr Sanger, 2018)



### Concentration on exporting side



**Εικόνα 4.** Εξαγωγείς καφέ και ποσοστά συμμετοχής στην παγκόσμια εξαγωγή. (Dr Sanger, 2018)



**Διάγραμμα 2.** Διακύμανση πραγματικής και ονομαστικής αξίας του καφέ, Vochozka et. al.

Η τιμή του καφέ ανά κιλό στο εμπόριο γνώρισε μεγάλες διακυμάνσεις τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Πριν προχωρήσουμε σε σχετική ανάλυση δεδομένων θα αποσαφηνίσουμε τις έννοιες ονομαστική και πραγματική αξία ενός προϊόντος. Ονομαστική (προσωρινή) αξία προϊόντος ορίζεται τιμή του προϊόντος η οποία δεν λαμβάνει υπόψιν της τον πληθωρισμό, ενώ η πραγματική αξία προϊόντος είναι η τιμή που λαμβάνει υπόψιν τον πληθωρισμό και είναι μεγαλύτερης σημασίας (Kumaranayake, 2000). Στην Ευρώπη, από το 1999 παρατηρείται μεγάλη διαφορά στις δύο τιμές του καφέ, η οποία σταδιακά μειώνεται ως το 2013 που παρατηρείται ταύτιση των τιμών μέχρι το 2016. Από το 2016 παρατηρείται μεν διαχωρισμός των τιμών, με την πραγματική τιμή αυτή τη φορά να είναι χαμηλότερη από την ονομαστική (**Διάγραμμα 2**). Η δε διακύμανση των τιμών του καφέ είναι συνάρτηση της ζήτησης (Vochozka et al., 2022) .

## 2.4 Επιπτώσεις στην υγεία

Ο καφές είναι γενικά γνωστός για ένα πολύ βασικό συστατικό του, την καφεΐνη, πλην υπάρχουν αρκετές ακόμα ενώσεις στο χημικό του προφίλ (Higdon & Frei, 2006; Nieber, 2017). Το πόρισμα που προκύπτει, βάσει αρκετών ερευνών, είναι ότι από τις ενώσεις που απαρτίζουν το περιεχόμενο του καφέ, αρκετές είναι εκείνες ο οποίες συνεισφέρουν στην υγεία του ανθρώπου, αν και οι βιολογικές επιρροές του ενδεχομένως να διαφέρουν ανά περίπτωση (Bae et al., 2014; Higdon & Frei, 2006).

Η καφεΐνη είναι ένα αλκαλοειδές της πουρίνης και απαντάται στην φύση στους κόκκους του καφέ. Φυσικό επόμενο της κατανάλωσης καφεΐνης αποτελούν η διέγερση του νευρικού συστήματος, η αύξηση της αρτηριακής πίεσης, η διούρηση και αύξηση του μεταβολικού ρυθμού (Higdon & Frei, 2006). Η εισαγωγή της καφεΐνης στον ανθρώπινο οργανισμό γίνεται μέσω της κατανάλωσης καφέ, τσαγιού και καφεϊνούχων αναψυκτικών και παυσίπων φαρμάκων, η δε αφομοίωση του στον οργανισμό γίνεται, ως επί των πλείστων, μέσω του στομάχου (Higdon & Frei, 2006; Mejia & Ramirez-Mares, 2014). Αποτελεί δε ψυχοδραστικό συστατικό στα τρόφιμα στα οποία υπάρχει ή προστίθεται σκόπιμα (Jain et al., 2019).

Υπάρχουν αρκετές αναφορές για την επίδραση της καφεΐνης στην υγεία του ανθρώπου. Μια από τις βασικές ιδιότητες της είναι ότι ανταγωνίζεται τους υποδοχείς αδενosίνης A1 και A2A, των οποίων ο ρόλος είναι να αντιδρούν με νευροδιαβιβαστές και πρωτεΐνες, αυξάνοντας τελικά τα επίπεδα ντοπαμίνης και άλλων ουσιών στον οργανισμό (Lara, 2010). Σε αυτήν την ιδιότητα της οφείλονται και οι ψυχοδραστικές ιδιότητες της καθώς (όπως φαίνεται σε σχετική ανάλυση) η μέση κατανάλωση του καφέ μπορεί να οδηγήσει αφενός μεν σε αφύπνιση και αύξηση της συγκέντρωσης και της απόδοσης, αφετέρου δε μπορεί να οδηγήσει σε ταχύτερη κόπωση ενώ υπό εξέταση βρίσκεται ακόμα η συνεισφορά της σε διάφορες ψυχολογικές διαταραχές (Lara, 2010). Η υπερβολική κατανάλωση ωστόσο, μπορεί να οδηγήσει σε καταστάσεις δηλητηρίασης (κατόπιν κατανάλωσης τουλάχιστον 250mg), η οποία συνοδεύεται από κατ' ελάχιστο 5 συμπτώματα στα συμπεριλαμβάνονται η νευρική, η αϋπνία, μυϊκές συσπάσεις, αρρυθμίες, διούρηση και άλλα (Pohler, 2010). Θα πρέπει επίσης να αναφέρουμε ότι η καφεΐνη κατηγορείται ως εθιστική ουσία καθώς, αυξανόμενης της κατανάλωσης της, εμφανίζονται σημεία ανάλογων της εξάρτησης και του στερητικού σύνδρομου (προοδευτικός πονοκέφαλος, μυϊκοί πόνοι, δυσκαμψία ή/και κατάθλιψη) μια κατάσταση η οποία ονομάζεται «καφεϊνισμός» (Pohler, 2010; Satel, 2006).

Ο καφές περιέχει επίσης, ένα χαρακτηριστικό αντιοξειδωτικό και αντιφλεγμονώδες, το χλωρογενικό οξύ (Chlorogenic acid) (Farah & dePaula Lima, 2019). Το χλωρογενικό οξύ είναι εστέρας του trans-υδρόξυκιναμμικού



οξέος και του κινικού οξέος και ανήκει στην οικογένεια των φαινολών (Farah & dePaula Lima, 2019; Higdon & Frei, 2006). Στην ποικιλία Arabica η περιεκτικότητα χλωρογενικού οξέος κυμαίνεται μεταξύ 4-6g/100g ξηρής ύλης, ενώ στην ποικιλία Robusta 7-8g/100g ξηρής ύλης. Αρκετή από την ποσότητα αυτή αφαιρείται κατά την διαδικασία του καβουρδίσματος, ενώ ταυτόχρονα το υδροξυκινναμικό οξύ μέσω των αντιδράσεων Maillard θα αποδώσουν τον χαρακτηριστικό χρωματισμό στους κόκκους που καβουρδίζονται (Farah & dePaula Lima, 2019). Ο ρόλος του είναι να αναστέλλει την δράση ενώσεων όπως ορισμένες φλεγμονώδεις ή προ-φλεγμονώδεις ενώσεις που συμβάλλουν στην πρόκληση ασθενειών όπως ο διαβήτης ή ο καρκίνος. Επίσης, γίνονται αναφορές για τις αντιπυρετικές και ηπατοπροστατευτικές ιδιότητες του χλωρογενικού οξέος και σημειώνεται η συμβολή του στον μεταβολισμό των λιπιδίων και της γλυκόζης (Tajik et al., 2017).

Τέλος, δύο ακόμη πολύ σημαντικές ενώσεις, που παρουσιάζονται κυρίως στον αφιλτράριστο καφέ, είναι η καφεστόλη και η καβεόλη (Urgert et al., 1997). Η καφεστόλη και η καβεόλη είναι διτερπενείς ενώσεις του καφέ, με την καφεστόλη να κυριαρχεί στους κόκκους της ποικιλίας Robusta ενώ στην ποικιλία Arabica μαζί με την καφεστόλη υπάρχουν και μεγάλα ποσοστά καβεόλης (Urgert et al., 1997). Κατόπιν σχετικών μελετών, οι δύο αυτές ενώσεις φαίνεται να είναι υπεύθυνες για την αύξηση των επιπέδων LDL-χοληστερόλης καθώς αυξάνει τα επίπεδα της CETP (πρωτεΐνη μεταφοράς εστέρων χοληστερόλης) ρόλος της οποίας είναι η μεταφορά εστέρων χοληστερόλης από την HDL στις LDL και VLDL (Higdon & Frei, 2006). Ταυτόχρονα, υπάρχουν μελέτες που δείχνουν τις αντιοξειδωτικές και αντικαρκινικές ιδιότητες της καφεστόλης και καβεόλης και στην ικανότητα τους να διεγείρουν ορισμένα αντιοξειδωτικά συστήματα των κυττάρων (Cavin et al., 2002).

### **3 Μέθοδος ανάλυσης της εικόνας στον έλεγχο ποιότητας**

#### **3.1 Η Μέθοδος**

Με τον γενικότερο όρο «ανάλυση της εικόνας» εννοούμε την μέθοδο μέσω της οποίας ερμηνεύονται και παραμετροποιούνται οι πληροφορίες που λαμβάνονται μέσω μιας εικόνας (Brosnan & Sun, 2004b; Du & Sun, 2004; Glasbey & Horgan, 1997). Τα βασικότερα βήματα στην ανάλυση της εικόνας γενικά συνοψίζονται ουσιαστικά στα παρακάτω κυριότερα επίπεδα (Glasbey & Horgan, 1997; Patel et al., 2012):

*i. Προβολή*

Η εμφάνιση μιας σειράς τιμών pixels ως εικόνα στον υπολογιστή (με δυνατότητα μεγέθυνσης των pixels)

*ii. Φιλτράρισμα*

Εφαρμογή μετατροπών σε ομάδες από pixels που βελτιώνουν την εικόνα, με σκοπό την μείωση των θορύβων, δηλαδή των χωρίς ενδιαφέρον και μη-ερμηνεύσιμων διαταραχών στα δεδομένα.

*iii. Τμηματοποίηση*

Διαίρεση της εικόνας σε περιοχές που αντιστοιχούν σε αντικείμενα (ή μέρη τους), με ταξινόμηση των pixels.

*iv. Τεχνικές ανίχνευσης άκρων*

Εντοπίζονται τα όρια μεταξύ του αντικειμένου/δείγματος και του φόντου της εικόνας

*v. Μαθηματική/Ψηφιακή μορφολογία*

Η μαθηματική/ψηφιακή μορφολογία χρησιμοποιεί μια συλλογή πράξεων προκειμένου να μελετήσει και ενδεχομένως να διορθώσει το σχήμα των αντικειμένων

*vi. Μετρήσεις υφής*

Σε αυτό το επίπεδο περιγράφονται χαρακτηριστικά της επιφανείας των αντικειμένων. Ως υφή δε, ορίζεται η επανάληψη ενός ή περισσότερων μοτίβων στην επιφάνεια ενός αντικειμένου

*vii. Αραίωση και σκελετοποίηση*

Ως σκελετός μιας εικόνας ορίζεται το συνδεδεμένο σύνολο μεσαίων γραμμών κατά μήκος μίας φιγούρας. Σκελετοποίηση είναι μια διαδικασία που περιγράφει το σύνολο των ιδιοτήτων ενός αντικειμένου και μειώνει την αρχική εικόνα σε μία πιο συμπαγής αναπαράσταση. Προκειμένου να επιτευχθεί η σκελετοποίηση εφαρμόζονται αλγόριθμοι της αραίωσης.

Στην μέθοδο αυτή γίνεται χρήση ψηφιακών δεδομένων για εμφάνιση των εικόνων και μαθηματικές μετατροπές ώστε να τονιστούν τα επιθυμητά, κατά περίπτωση, χαρακτηριστικά (Patel et al., 2012). Προκειμένου να κατανοήσουμε βαθύτερα τι ακριβώς είναι ανάλυση της εικόνας, μπορούμε χρησιμοποιήσουμε το παράδειγμα της ανάγνωσης. Οι λέξεις και τα γράμματα δεν είναι παρά σχέδια (εικόνα) σε ένα χαρτί τα οποία, μέσω της εκμάθησης της κάθε γλώσσας, ο εγκέφαλός μας μεταφράζει (ανάλυση) σε φθόγγους (Glasbey & Horgan, 1997).

Η μέθοδος βασίζεται στην λεγόμενη «ψηφιακή/υπολογιστική όραση», η οποία απαρτίζεται ως επί των πλείστων από το σύστημα φωτογραφική μηχανή-υπολογιστής-πηγή φωτός (Brosnan & Sun, 2004b; Glasbey & Horgan, 1997; Gomes & Leta, 2012). Η ανάλυση της εικόνας, ήδη από τα πρώτα βήματα της περί το 1960 ως σήμερα (Brosnan & Sun, 2004a), γνωρίζει ολοένα αυξανόμενη προτίμηση και εφαρμογή σε μεγάλο εύρος τομέων όπως την ιατρική, την αστρονομία, την τηλεπισκόπηση, την ιατροδικαστική, τον αυτοματισμό και διάφορες βιομηχανίες επεξεργασίας (Brosnan & Sun, 2004b, 2004b; Jasti et al., 2022; Patel et al., 2012). Συγκεκριμένα, οι βιομηχανίες τροφίμων συγκαταλέγονται στις 10 κυριότερες βιομηχανίες που χρησιμοποιούν την συγκεκριμένη τεχνολογία, ιδιαίτερα στον τομέα του ελέγχου ποιότητας (Brosnan & Sun, 2004b; Gomes & Leta, 2012).

Στον τομέα της ποιότητας, η ανάλυση της εικόνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τελική ανάλυση της ποιότητας των προϊόντων με στόχο την αξιολόγηση τόσο των διαστάσεων των υποκείμενων δειγμάτων, όσο και το σχήμα, το χρώμα και την υφή (Gomes & Leta, 2012).

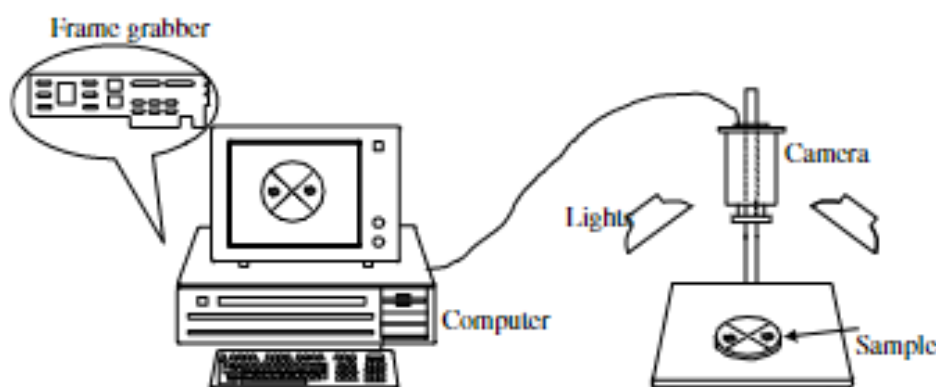
Στα σημαντικά πλεονεκτήματα της μεθόδου, τα οποία είναι και ο λόγος της ολοένα αυξημένης εφαρμογής της σε τόσο ευρύ φάσμα εφαρμογών, είναι η παροχή μεγάλου όγκου πληροφοριών αναφορικά με την φύση και τα

χαρακτηριστικά του εικονιζόμενου δείγματος. Επίσης, επιτρέπει την απεικόνιση και ανάλυση των δειγμάτων υπό ακτινοβολίες σε συχνότητες τέτοιες που ξεπερνούν το φάσμα του ορατού φωτός (Vis). Τέτοιες είναι για παράδειγμα οι φασματικές περιοχές των υπέρυθρων και των υπεριωδών ακτινοβολιών (Saldaña et al., 2013). Συμπληρωματικά, στα σημαντικά προτερήματα είναι ότι αποτελεί μια μέθοδο μη-καταστρεπτική, με υψηλή αποδοτικότητα, με ευκολία και επαναληψιμότητα στις αναλύσεων, χωρίς ποτέ να απειλείται η ακρίβεια (Sun, 2016).

### 3.2 Οργανολογία

Όπως προαναφέρθηκε, η ανάλυση της εικόνας βασίζεται στην «ψηφιακή όραση» η οποία απαρτίζεται ως επί των πλείστων από έναν υπολογιστή, μία πηγή φωτός και μία φωτογραφική μηχανή, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 5**.

Ο στοιχειώδης αυτός εξοπλισμός, είναι (μέσα σε όλα τα προτερήματα του) ιδιαίτερα οικονομικός, με το εύρος κόστους να ξεκινά στα περίπου 2300,00€ (2000,00£)\* (Sun, 2016).



**Εικόνα 5.** Στοιχειώδης εξοπλισμός ενός συστήματος ψηφιακής όρασης (υπολογιστής-φωτογραφική μηχανή-πηγή φωτός).

\* Η μετατροπή της αγγλικής λίρας σε ευρώ έγινε με βάση την μέση τιμή αγοράς & πώλησης σύμφωνα με το «Δελτίο Τιμών Συναλλάγματος και Ξένων Τραπεζογραμμάτων Έναντι Ευρώ» της 16/01/2023, όπως αυτό βρέθηκε στο ηλεκτρονικό αρχείο της ιστοσελίδας της Τράπεζας της Ελλάδος: <https://www.bankofgreece.gr/kiries-leitourgies/agores/synallagmatikes-isotimies/deltia-timwn-synallagmatos-kai-ksenwn-trapezogrammatwn-enanti-eyrw>

Στην συνέχεια θα αναλύσουμε ξεχωριστά τα μέρη από τα οποία απαρτίζεται η ψηφιακή όραση ως μέσο ελέγχου ποιότητας, εξηγώντας την χρήση κάθε μέρους της οργανολογίας της εν λόγω μεθόδου.

### 3.2.1 Ο υπολογιστής

Με τον όρο υπολογιστής εννοούμε όλο το υλικό (hardware) και το απαιτούμενο λογισμικό (software) που τον απαρτίζουν. Στο υλικό ανήκουν ο προσωπικός υπολογιστής (ο οποίος επιτρέπει την αποθήκευση δεδομένων στον δίσκο του και συνοδεύεται με λογισμικό και ορισμένες εφαρμογές από τον προμηθευτή) μαζί με μία έγχρωμη οθόνη για την οπτικοποίηση των ληφθέντων εικόνων. Η χρήση ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή για την μακροσκοπική επιθεώρηση δειγμάτων είναι κατά πολύ προτιμότερος και ακριβέστερος από την απλή οπτική παρατήρηση. Τα ανθρώπινα μάτια δεν αποτελούν αντικειμενικό κριτήριο σε αυτή την περίπτωση και αυξάνουν την περίπτωση των σφαλμάτων και των αποκλίσεων. Από την άλλη ένας υπολογιστής θα αποδώσει τα βέλτιστα, χρησιμοποιώντας αλγόριθμους και δίνοντας εικόνες καλύτερης ποιότητας και μεγαλύτερης ακρίβειας (Patel et al., 2012). Στον υπολογιστή οι εικόνες αποθηκεύονται σε δυαδική μορφή και υπό την μορφή Pixel (Khan et al., 2021). Στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, ο οποίος στην πραγματικότητα αντικαθιστά τον ανθρώπινο εγκέφαλο, γίνεται τελικά η επεξεργασία και η ανάλυση της εικόνας μέσω αλγορίθμων (Lukinac et al., 2018).

### 3.2.2 Φωτισμός

Η πηγή φωτός έχει ως ρόλο τον φωτισμό των υποκείμενων δειγμάτων. Πολλές είναι οι προϋποθέσεις που θα οδηγήσουν όμως στον ιδανικό φωτισμό για την λήψη της επιθυμητής εικόνας. Ενδεικτικά αναφέρονται η γωνία πρόσπτωσης, το χρώμα φωτός, η τεχνική άμεσου/διάχυτου φωτός (Lukinac et al., 2018). Έτσι, για παράδειγμα όταν απαιτείται η ανάλυση της επιφάνειας του δείγματος υπάρχει η τεχνική του εμπρόσθιου φωτισμού, ενώ όταν ο στόχος είναι να εξετασθεί η γεωμετρία του δείγματος υπάρχει ο οπίσθιος φωτισμός (Brosnan & Sun, 2004b). Ο παράγοντας που επηρεάζει τις άνωθεν αναφερόμενες προϋποθέσεις είναι το ίδιο το υποκείμενο και συγκεκριμένα α) αν είναι επίπεδο ή καμπύλο β) αν είναι απορροφητικό, ανακλαστικό ή μεταδοτικό ως προς το φως και γ) η φύση του χαρακτηριστικού που πρέπει να

απεικονιστεί (Patel et al., 2012). Ωστε, στην περίπτωση για παράδειγμα ενός σφαιρικού δείγματος, συστήνεται η χρήση μιας ημισφαιρικής συσκευής διάχυσης ώστε να επιτευχθεί επαρκής και ομοιόμορφος φωτισμός στην επιφάνεια του δείγματος (Saldaña et al., 2013).

Ως πηγή φωτός χρησιμοποιούνται διαφόρων ειδών λάμπες οι οποίες είναι δυνατόν να φέγγουν στο ορατό φάσμα ή και πέραν αυτού. Όσον αφορά τις λάμπες που εκπέμπουν στο ορατό φάσμα γίνονται αναφορές για την λάμπα πυρακτώσεως, η οποία παράγει φως με αρκετά κανονική κατανομή σε αντίθεση με την λάμπα φθορισμού που στο φάσμα της παρουσιάζει απότομες κορυφές σε κάποιες περιοχές. Πλην η λάμπα φθορισμού προτιμάται από τους περισσότερους χειριστές έναντι της πυρακτώσεως γιατί είναι πιο αποδοτικές και παρουσιάζουν έντονο φωτισμό σε ορισμένα μήκη κύματος (Sun, 2016). Επιπρόσθετα, στο πεδίο του ορατού φάσματος ανήκουν και τα υπερφασματικά συστήματα τα οποία αποδίδουν εικόνες μονοχρωματικές ή τουλάχιστον διακριτού χρώματος. Τα συστήματα αυτά αποδίδουν μεγάλο όγκο δεδομένων για τα οποία συχνά απαιτούνται πολύπλοκες επεξεργασίες ώστε να διεξαχθούν πιο συγκεκριμένες πληροφορίες (Liu et al., 2014).

### 3.2.3 Λογισμικό

Στην επεξεργασία της εικόνας, η εφαρμογή ενός software επιτρέπει την γρήγορη ανάπτυξη, την δοκιμή και τον εντοπισμό σφαλμάτων στους αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται. Βέβαια, δεν μπορούμε να παραβλέψουμε ότι αυξανόμενου του μεγέθους μιας εικόνας αυξάνεται και η πολυπλοκότητα των αλγορίθμων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την επιβράδυνση της απόδοσης του συστήματος. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό, το software (λογισμικό) υποστηρίζεται από κάποια hardware (υλικό) όπως το ASIC (ολοκληρωμένο κύκλωμα ειδικής εφαρμογής) και οι DSP (επεξεργαστές ψηφιακού σήματος). Πλην εδώ το σημαντικό μειονέκτημα είναι το κόστος για το υλικό αυτό. Προκειμένου να αντισταθμίσουν το μειονέκτημα αυτό, οι κατασκευαστές των hardware επενδύουν στην διατήρηση των συσκευών αυτών ως προς τον χρόνο (Du & Sun, 2006)

### 3.2.4 Η κάμερα

Προκειμένου να ληφθεί μια εικόνα πρέπει το φως να συλλεχθεί από έναν συλλέκτη φωτός και να μετατραπεί σε ψηφιακή μορφή (pixels). Συγκεκριμένα, καθώς το φως προσπίπτει στα διάφορα σώματα, ένα μέρος του απορροφάται από τα σώματα, ενώ το υπόλοιπο αντανακλάται από αυτά. Την αντανακλούσα αυτή ακτινοβολία συλλαμβάνει ο φακός της κάμερας (συλλέκτης φωτός) (Lukinac et al., 2018). Οι κάμερες με την σειρά τους, αφού σαρώσουν μία εικόνα παράγουν αναλογικό σήμα τάσης που αντιστοιχεί στην φωτεινότητα της εικονάς. Έπειτα, μέσω ενός μετατροπέα το αναλογικό σήμα τάσης μετατρέπεται σε ψηφιακές (αριθμητικές) πληροφορίες (Oberholzer et al., 1996).

Υπάρχουν διάφορα είδη κάμερας που μπορούν να συμμετέχουν σε ένα σύστημα ψηφιακής όρασης και άρα στην μέθοδο της ανάλυσης της εικονάς, ανάλογα το εύρος φάσματος στο οποίο έχουμε επιλέξει να εργαστούμε. Έτσι, στο φάσμα του ορατού φωτός υπάρχουν οι CCD (Charged-Coupled Device) κάμερες, στο υπέρυθρο υπάρχουν οι NIR κάμερες και στο υπεριώδες οι UV κάμερες (Lukinac et al., 2018). Συγκεκριμένα, στο φάσμα του ορατού φωτός χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο οι ψηφιακές κάμερες, οι οποίες χρησιμοποιούν την τεχνολογία USB για την μεταφορά των εικόνων στον υπολογιστή. Ακολουθούν οι αναλογικές βιντεοκάμερες, οι οποίες λαμβάνουν εικόνες, τις μετατρέπουν σε αναλογικό σήμα και η μεταφορά στον υπολογιστή γίνεται μέσω ενός καταγραφέα καρέ (frame grabber) και τελευταίες σε προτίμηση έρχονται οι θερμοκάμερες που μετατρέπουν την ακτινοβολούσα ακτινοβολία σε δεδομένα θερμοκρασίας. (Lukinac et al., 2018; Vadivambal & Jayas, 2011; Vibhute & S.K.Bodhe, 2012).

Στον έλεγχο ποιότητας η κύρια χρησιμοποιούμενη κάμερα είναι η CCD κάμερα. Τα τελευταία χρόνια μάλιστα, ο τομέας του ελέγχου ποιότητας των τροφίμων παράσχει νέες εφαρμογές με αρκετά καλές προοπτικές για την CCD κάμερα. Ακόμα και σε περιπτώσεις όπου ο έλεγχος απαιτείται να πραγματοποιηθεί σε εύρος φάσματος πέραν του ορατού (πέραν των πραγματικών ικανοτήτων της κάμερας όπως προαναφέρθηκε), ο έλεγχος μπορεί να λάβει χώρα αρκεί να εφαρμοστούν τα ανάλογα φίλτρα στην κάμερα (Du & Sun, 2004). Μάλιστα κατόπιν σχετικών ερευνών συστήνεται η χρήση

πλέον της μίας κάμερας ταυτοχρόνως για μια πιο πλήρη άποψη όσον αφορά την ποιότητα (Park et al., 1998).

Αξίζει να σημειώσουμε ότι χάρη στην καλπάζουσα πρόοδο της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια, τα κινητά μας τηλέφωνα (smartphones) έχουν αναβαθμιστεί καταπληκτικά. Έχοντας πια εξοπλιστεί με υπερσύγχρονες κάμερες και ικανά λογισμικά προγράμματα τα κινητά τηλέφωνα είναι πλέον σε θέση να υποστηρίξουν και να συμμετέχουν στις μεθόδους της ψηφιακής όρασης. Οι έρευνες γύρω από το αντικείμενο είναι ενθαρρυντικές τονίζοντας τα προτερήματα της συγκεκριμένης εναλλακτικής που είναι η εύκολη μεταφορά του εξοπλισμού, η ευκολία στην χρήση, το χαμηλό κόστος και φιλικότητα προς τον χρήστη. Από την άλλη υπάρχουν τα σημαντικά μειονεκτήματα που είναι ότι η κάμερα ενός κινητού τηλεφώνου δεν μπορεί να ανταγωνιστεί την ποιότητα και ακρίβεια μιας CCD κάμερας και ότι το λογισμικό του smartphone απαιτεί αναγκαίες προσθήκες προκειμένου να είναι εφικτή η επεξεργασία. Τα μειονεκτήματα αυτά αν και σημαντικά δεν αποθαρρύνουν αλλά πυροδοτούν τις έρευνες από τους ειδικούς του τομέα (Amani et al., 2022; Li et al., 2022).



## **4 Εφαρμογές στην ποιότητα καφέ**

### **4.1 Εφαρμογές στον έλεγχο ποιότητας της ποικιλίας Arabica**

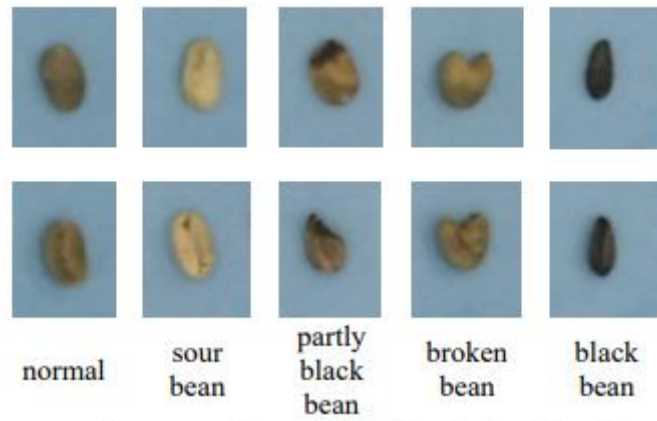
#### **4.1.1 Έλεγχος της ποιότητας των πράσινων Arabica κόκκων καφέ**

Ως πράσινος καφές ορίζονται οι κόκκοι που παραλαμβάνονται από τα μούρα του καφεόδεντρου χωρίς να περάσουν την διαδικασία του καβουρδίσματος (Clifford & Willson, 1985). Η ποιότητα του πράσινου καφέ παίζει καθοριστικό ρόλο στην διαδικασία του καβουρδίσματος και ως εκ τούτου η εξασφάλιση της ποιότητας αυτής της πρώτης ύλης είναι μείζονος σημασίας. Η ποιότητα πράσινου καφέ εξαρτάται από την σχετική αναλογία των ελαττωματικών καρπών και την ύπαρξη ξένων σωμάτων μεταξύ των μη-ελαττωματικών κόκκων (J. R. Santos et al., 2012).

Διάφορες μελέτες έχουν διεξαχθεί για την αξιολόγηση της ποιότητας του πράσινου καφέ των δύο ποικιλιών που κατακλύζουν την παγκόσμια αγορά (Robusta και Arabica) ως προς το L\*a\*b\* σύστημα, με κριτήρια το λευκό, πράσινο ή το γαλαζοπράσινο χρώμα (Maghfirah & Nasution, 2022).

Το CIELAB σύστημα εισήλθε από την CIE (Διεθνής επιτροπή φωτισμού) και είναι το επικρατέστερο σύστημα χρωμάτων μεταξύ των τριών κύριων συστημάτων CIELAB, RGB και CMYK. Στο CIELAB σύστημα υπάρχει η τιμή L\* που είναι ενδεικτική της φωτεινότητας και παίρνει τιμές 0-100 και οι χρωματικές τιμές a\* (χρωματική περιοχή πράσινο-κόκκινο) και b\* (χρωματική περιοχή μπλε-κίτρινο) οι οποίες λαμβάνουν τιμές -120 ως +120 (Durmus, 2020; Yam & Papadakis, 2004).

Σε σχετικό πείραμα των Maghfirah & Nasution (Maghfirah & Nasution, 2022) συνέλλεξαν 700 πράσινους κόκκους καφέ και αφού τους ξέπλυναν τους κατέταξαν σε 5 ομάδες: Ξινισμένοι, κανονικοί, εν μέρη μαυρισμένοι, εντελώς μαυρισμένοι και σπασμένοι. Στόχος του πειράματος είναι η επιτυχής ταξινόμηση των κόκκων στις άνωθεν αναφερόμενες κατηγορίες χρησιμοποιώντας τεχνικές της ανάλυσης της εικόνας. Για την λήψη των εικόνων χρησιμοποιήθηκε μια κάμερα Kinect v2, λάμπες LED και το η απόσταση φακού-δείγματος ορίστηκε στα 30 εκατοστά.



**Εικόνα 6.** Κατανομή των πράσινων κόκκων καφέ σύμφωνα με τα μακροσκοπικά τους χαρακτηριστικά. (Maghfirah & Nasution, 2022)

Τα χαρακτηριστικά που εξετάζονται είναι η υφή, το σχήμα και το χρώμα των κόκκων. Ως προς την υφή χρησιμοποιήθηκαν μαθηματικοί τύποι που εκφράζουν χαρακτηριστικά της υφής όπως η αντίθεση (που μετρά το μέγεθος των διαφορών στην ένταση), η ενέργεια (μετρά την ομοιογένεια της εικόνας), η συσχέτιση (μετρά την εξάρτηση των γκρι τιμών) και η ομοιογένεια (που μετρά την ομοιότητα μεταξύ ορισμένων pixels της εικόνας).

Για τον διαχωρισμό μεταξύ των κόκκων και του φόντου αρχικά οι εικόνες εξήχθησαν στο σύστημα χρωμάτων  $L^*a^*b^*$  και επιλέχθηκε ο παράγοντας  $b^*$  για τον εν λόγω διαχωρισμό μέσω της μεθόδου Otsu. Η μέθοδος Otsu (μέσω σχετικού αλγόριθμου) ελαχιστοποιεί ή μεγιστοποιεί τις διακυμάνσεις έντασης, διαχωρίζοντας έτσι την εικόνα σε παρασκήνιο και προσκήνιο). Είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος διαχωρισμού φόντου και αντικειμένου (Otsu, n.d.; Sankur, 2004)

Για την ταξινόμηση των κόκκων ακολουθήθηκαν δύο μέθοδοι:

- a) Η μέθοδος KNN (Method K-NN -> Nearest Neighbor). Επί της ουσίας στην μέθοδο αυτή (μέσω σχετικού αλγόριθμου) γίνεται η ταξινόμηση ενός σημείου με βάσει τους «κοντινότερους γείτονες». Το πλήθος των γειτόνων είναι η τιμή  $k$  και ορίζεται από τον χειριστή. Η τελική ταξινόμηση γίνεται βάσει της ευκλείδειας απόστασης του άγνωστου αντικειμένου από τους γείτονες του και την ήδη υπάρχουσα ταξινόμηση των  $k$  γειτόνων του (Ramaswamy et al., 2000; Zhang et al., 2017).

b) Η μέθοδος SVM (Support Vector Machine). Στην μέθοδο αυτή, η ταξινόμηση επιτυγχάνεται μέσω σχετικού αλγορίθμου ο οποίος θα σχηματίσει ζώνες διαχωρισμού ανάμεσα σε ομάδες σημείων που ανήκουν σε διαφορετικές τάξεις.

Τα 700 δείγματα χωρίστηκαν σε μία ομάδα των 500 και μία των 200 και έλαβαν χώρα 2 δοκιμές για κάθε μέθοδο ταξινόμησης. Εν πρώτοις, η δοκιμή training, με τα 500 κομμάτια και η testing δοκιμή με τα 200 υπόλοιπα.

Τα αποτελέσματα από την μέθοδο K-NN, ήταν πολύ ενθαρρυντικά καθώς η δοκιμή training απέδωσε ορθά αποτελέσματα κατά 95,4% ενώ η δοκιμή testing κατά 91,2% σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 1.** Ακρίβεια αποτελεσμάτων των δεδομένων testing και training για τους πράσινους κόκκους καφέ Arabica από την μέθοδο KNN. (Magfirah & Nasution, 2022)

Sample	Number of samples	Percentage of accuracy					Average
		Normal	Sour Beans	Partly Black Beans	Broken Beans	Black Beans	
Training	500	100	90	97	95	95	95,4
Testing	200	93	94	97	80	92	91,2

Όμοια για την μέθοδο SVM η οποία απέδωσε ορθά αποτελέσματα κατά 91,4% για τα δεδομένα training και 90,8 για τα δεδομένα testing, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 2.** Ακρίβεια αποτελεσμάτων των δεδομένων testing και training για τους πράσινους κόκκους καφέ Arabica από την SVM Μέθοδο. (Magfirah & Nasution, 2022)

Sample	Number of Samples	Percentage of accuracy					Average
		Normal	Sour Beans	Partly Black Beans	Broken Beans	Black Beans	
Training	500	94	93	89	90	91	91,4
Testing	200	93	90	92	89	90	90,8

Συμπερασματικά, σημειώνουν οι Magfirah και Nasution, μέσω των δύο παραπάνω τεχνικών ανάλυσης της εικόνας, κατορθώθηκε ο σωστός διαχωρισμός των κόκκων στις 5 κατηγορίες με την μέθοδο K-NN να δίνει

μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας από την SVM, πράγμα που την καθιστά μια πολλά υποσχόμενη μέθοδο.

## 4.2 Εφαρμογές στην ποικιλία Robusta

### 4.2.1 Ταξινόμηση ποιότητας των καβουρδισμένων κόκκων Robusta με χρήση του αλγορίθμου CNN (E. Angelia et al., 2021)

Στην συγκεκριμένη περίπτωση σκοπός του πειράματος ήταν η ταξινόμηση των καβουρδισμένων κόκκων της ποικιλίας Robusta στις κατηγορίες «καλός», «φέρων φλοιό», «προσβεβλημένος από έντομα», «άγνωστο», χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο CNN. Ως «καλός» στην περίπτωση αυτή θα χαρακτηρίζεται ο κόκκος που δεν παρουσιάζει ελαττώματα, ενώ ο «φέρων φλοιό» είναι οι κόκκοι που φέρουν το χαρακτηριστικό εξωτερικό τους περίβλημα (η παρουσία του οποίου είναι ανεπιθύμητη καθώς υποβαθμίζει την ποιότητα του τελικού ροφήματος), ως «προσβεβλημένος από έντομα» χαρακτηρίζεται ο κόκκος ο οποίος προέρχεται από καρπούς του καφεόδεντρου που έχουν προσβληθεί από έντομα [τα οποία διατρύπουν τον καρπό και καταστρέφουν τον κόκκο (McNutt, 1975)] και τέλος, ως «άγνωστο» θα χαρακτηρίζονται ανεπιθύμητες, τρίτες ύλες (όπως πέτρες) οι οποίες τυχαίνει να συλλέγονται με τους κόκκους.

Στο συγκεκριμένο πείραμα, συλλέχθηκαν δείγματα κόκκων Robusta από την εταιρεία Nestle. Οι κόκκοι, για την εκτίμηση της ποιότητάς τους, περνάνε από έλεγχο τριών σταδίων. Αρχικά της περιεχόμενης υγρασίας τους, έπειτα της διαλογής και τελικά το cup-test (οργανοληπτικός έλεγχος). Το στάδιο της διαλογής γίνεται τυπικά από σχετικό εξειδικευμένο ελεγκτή, που στο πείραμα θα αντικατασταθεί από την υπολογιστική όραση και τον αλγόριθμό CNN.

Ο αλγόριθμος CNN (Convolutional Neural Network, Συνελικτικό Νευρωνικό Δίκτυο) είναι ένα πολύ αποτελεσματικό μοντέλο στο θέμα της κατάταξης εικονιζόμενων αντικειμένων. Χρησιμοποιεί μια πολύ-επίπεδη διαδικασία μέσα από την οποία επεξεργάζεται και τελικά ταξινομεί μια εικόνα. Επί της ουσίας το πρόγραμμα μαθαίνει αρχικά να μεταφράζει κάποια πολύ απλά χαρακτηριστικά, τα οποία στην συνέχεια μπορεί να συνδυάζει για να ταξινομεί πιο σύνθετα χαρακτηριστικά. Ενδεικτικά, τα σημαντικότερα επίπεδα είναι:

*I. Επίπεδο Εισόδου*

Στο επίπεδο αυτό γίνεται αναδιαμόρφωση του μεγέθους της εικόνας για περαιτέρω εξαγωγή στα επόμενα επίπεδα.

*II. Συνελικτικό επίπεδο*

Στο επίπεδο αυτό εφαρμόζονται στην εικόνα ορισμένα φίλτρα με αποτέλεσμα να τονίζονται ορισμένα χαρακτηριστικά της.

*III. Επίπεδο Συγκέντρωσης*

Στο επίπεδο αυτό η εικόνα συρρικνώνεται διατηρώντας όμως, όλες τις χρήσιμες και απαραίτητες πληροφορίες που τονίστηκαν στο προηγούμενο βήμα.

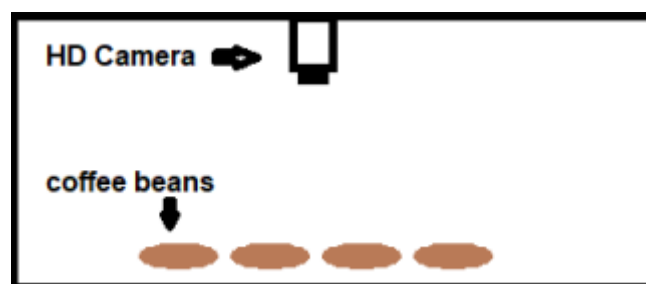
*IV. Επίπεδο Διορθωμένης Γραμμικής Μονάδας*

Στο επίπεδο αυτό κάθε αρνητική τιμή που προέκυψε αντικαθίσταται με το 0. Αυτό συμβάλλει στην μαθηματική σταθερότητα του προγράμματος.

*V. Πλήρως συνδεδεμένο επίπεδο*

Στο επίπεδο αυτό λαμβάνονται οι φιλτραρισμένες εικόνες και μεταφράζονται σε κατηγορίες με ταμπέλες (Sharma et al., 2018)

Όσον αφορά την οργανολογία του πειράματος χρησιμοποιήθηκε ένα κουτί, στο καπάκι του οποίου συνδέθηκε μια HD κάμερα. Στην εσωτερική περιφέρεια του κουτιού υπάρχουν συνδεδεμένες λάμπες λευκού LED φωτός. Στην εσωτερική επιφάνεια της βάσης τοποθετούνται τα δείγματα τα οποία φωτίζονται από τις λάμπες, υπό τον φακό της κάμερας.

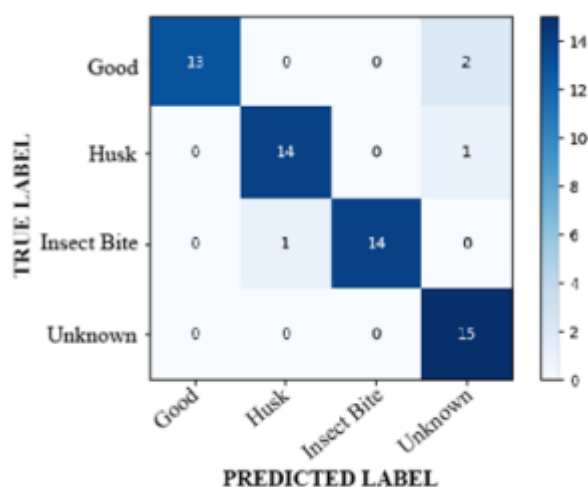


*Εικόνα 7. Οργανολογία πειράματος εκτίμησης ποιότητας κόκκων Robusta (E. Angelia et al., 2021)*

Ελήφθησαν 1300 φωτογραφίες για κάθε μία από τις κατηγορίες και έγινε εκπαίδευση του προγράμματος, ώστε να κατατάσσει τις εικόνες στις

παραπάνω κατηγορίες. Στην συνέχεια εξετάστηκαν 60 εικόνες από 15 δείγματα για κάθε μία από τις καταστάσεις (καλός, φέρων φλοιό, προσβεβλημένος από έντομα) κόκκων ποικιλίας Robusta και 15 άγνωστα δείγματα.

Τα αποτελέσματα ήταν αρκετά εντυπωσιακά καθώς ο αλγόριθμος εντόπισε επιτυχώς του καλούς κόκκους με απόδοση 86,67%, τους κόκκους με φλοιό κατά 93,33%, τους προσβεβλημένους από έντομα κατά 93,33%, τα άγνωστα δείγματα κατά 100% και η συνολική ακρίβεια των μετρήσεων να φτάνει στο 93,33%.**(Εικόνα 8)**



**Εικόνα 8.**Αποτελέσματα ταξινόμησης των κόκκων Robusta από το CNN. (E. Angelia et al., 2021)

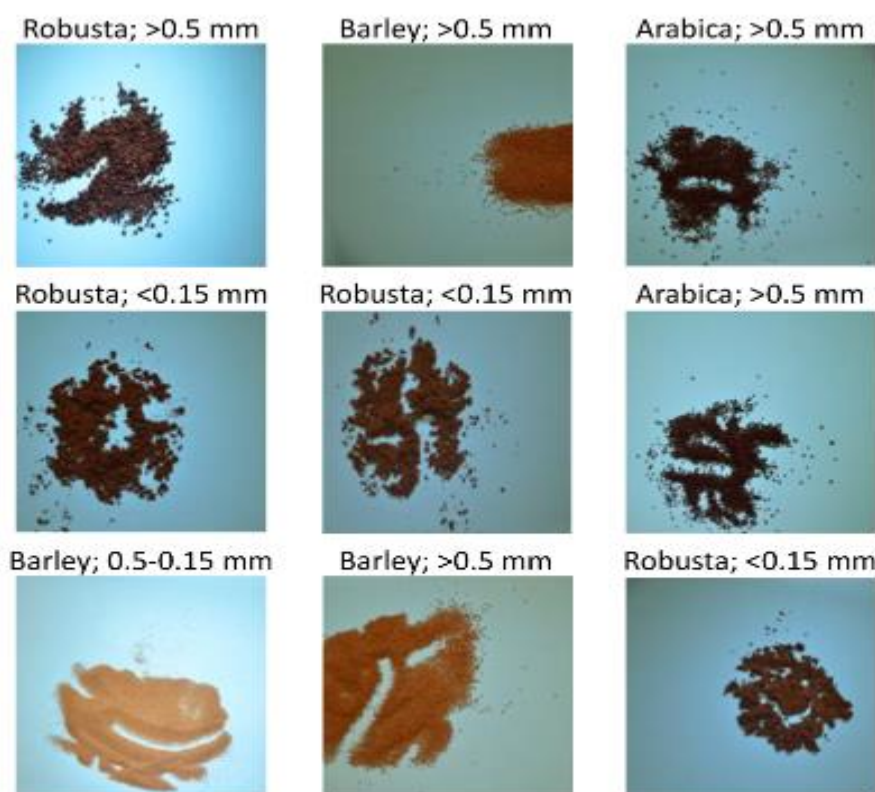
#### 4.3 Εφαρμογές στον εντοπισμό νοθείας για Arabica και Robusta (Pradana-López et al., 2021)

Όπως προαναφέρθηκε, ο καφές συγκαταλέγεται στα 3 πιο διάσημα ροφήματα παγκοσμίως. Μέσα στην παγκόσμια αγορά όμως εντοπίζονται και φαινόμενα νοθείας. Δηλαδή, υπάρχει περίπτωση να εντοπίζονται διαφορές ανάμεσα στο πραγματικό περιεχόμενο μιας συσκευασίας καφέ και των αναφερομένων συστατικών στην ετικέτα. Συγκεκριμένα, στην νοθεία γίνεται προσθήκη συστατικών ευτελέστερης αξίας με σκοπό το κέρδος.

Σε σχετικό πείραμα (Pradana-López et al., 2021), χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση της εικόνας για να εντοπίσει την σκόπιμη νοθεία καφέ ποικιλίας Arabica και Robusta με κιχώριο (κοινό υποκατάστατο του καφέ) και κριθάρι.

Επίσης, ετοιμάστηκε και ένα μείγμα που ήταν προϊόν ανάμιξης των δύο ποικιλιών. Όλα τα παραπάνω συστατικά αλέσθηκαν ώστε από κάθε ένα να προκύψουν σωματίδια 3 μεγεθών, άνω των 0,5 mm, μεταξύ 0,5-0,15mm και μικρότεροι των 0,15 mm. Για την λήψη των εικόνων χρησιμοποιήθηκε κάμερα Nikon D5100. Ελήφθησαν περίπου 7000 φωτογραφίες με εστιακή απόσταση 105 mm.

Για τον εντοπισμό της νοθείας και την κατάταξη των δειγμάτων καφέ χρησιμοποιήθηκε ένα ευρέως διαδεδομένο μαθηματικό μοντέλο γνωστό ως Συνελικτικά Νευρωνικά δίκτυα (CNN, Convolutional Neural Networks). Τα CNN έχουν την δυνατότητα, μέσω σχετικών αλγορίθμων και σύμφωνα με τα πρότυπα δείγματα που «εκπαίδευσαν» το πρόγραμμα, να εντοπίζει φωτεινά ή και σκοτεινά σημεία ή και συγκεκριμένα χρώματα ή ακόμα και ακμές προς διάφορες κατευθύνσεις. Τα CNN απαιτούν αρχικά κάποιες εξαρτημένες τιμές ώστε να εκπαιδευτούν. Αποτελούνται από αρκετά επίπεδα, όπως αναφέρθηκε, που εκτελούν ορισμένες λειτουργίες που τα καθιστούν ιδανικά για σκοπούς ανίχνευσης, αναγνώρισης μοτίβων και επεξεργασίας της εικόνας. Η



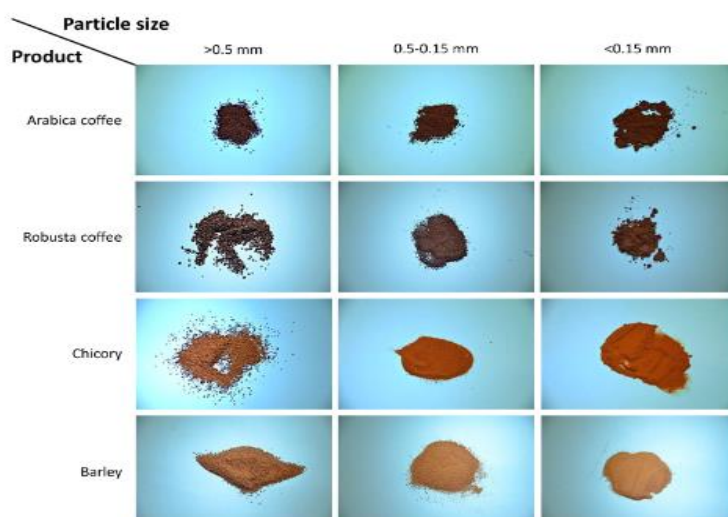
ομαδοποίηση των επιπέδων αυτών οδηγεί στον ακριβέστερο εντοπισμό των

*Εικόνα 9. Τυχαίες εικόνες δειγμάτων προς εκπαίδευση του CNN. (Pradana-López et al., 2021)*

πιο σχετικών χαρακτηριστικών που θα οδηγήσει τελικά στην ευκολότερη ταξινόμηση. Τα CNN αποτελούν πρωτοποριακά μοντέλα και πολύ ισχυρά όπλα στον τομέα της επεξεργασίας της εικόνας (Albawi et al., 2017; Pradana-López et al., 2021). Στην **Εικόνα 9**, φαίνονται ορισμένες τυχαίες εικόνες προκειμένου να εκπαιδευτεί το πρόγραμμα CNN που επιλέχθηκε για το πείραμα.

Συγκεκριμένα οι στόχοι του περάματος ήταν δύο: α) ο εντοπισμός και η ταξινόμηση των εικονιζόμενων κατά περίπτωση σωματιδίων στις βασικές κατηγορίες προϊόντων (καφές Arabica, καφές Robusta, κιχώριο και κριθάρι) β) η αναγνώριση της νοθείας της ποικιλίας Arabica με κιχώριο, κριθάρι, και ανάμιξη με την ποικιλία Robusta. Έτσι, δημιουργήθηκαν δύο μοντέλα CNN.

Το CNN\_1 το οποίο προγραμματίστηκε ώστε να μπορεί να εντοπίζει και να ταξινομεί τα δείγματα στις παραπάνω κατηγορίες. Προκειμένου να μπορεί να εκτελέσει τον σκοπό του, στο CNN\_1 εισήχθησαν πληροφορίες που αφορούσαν το χρώμα και το σχήμα των σωματιδίων των προϊόντων. Είναι εξάλλου φανερό από την **Εικόνα 10** ότι τα σωματίδια δεν παρουσιάζουν άλλες διαφορές παρά μόνο στο χρώμα και στο μέγεθος. Η σύγκριση των αληθινών και των πειραματικών τιμών εμφανίζονται στον **Πίνακας 3**.



**Εικόνα 10.** Ταξινομικός πίνακας των σωματιδίων του πειράματος (Pradana-López et al., 2021)

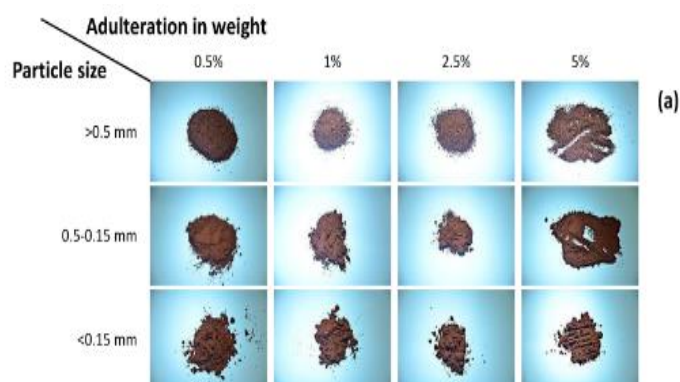


Το ενδιαφέρον με το συγκεκριμένο πείραμα είναι ότι εξετάζεται παράλληλα και η δυνατότητα μεταφοράς των δεδομένων. Πιο αναλυτικά, οι εκτελεστές του πειράματος δεν εκπαίδευσαν απευθείας τα μοντέλα CNN, αλλά ένα τρίτο μοντέλο μέσω του οποίου εκπαιδεύτηκαν τελικά τα μοντέλα CNN. Εξετάζεται δηλαδή ταυτόχρονα και η δυνατότητα δημιουργίας μια βάσης δεδομένων.

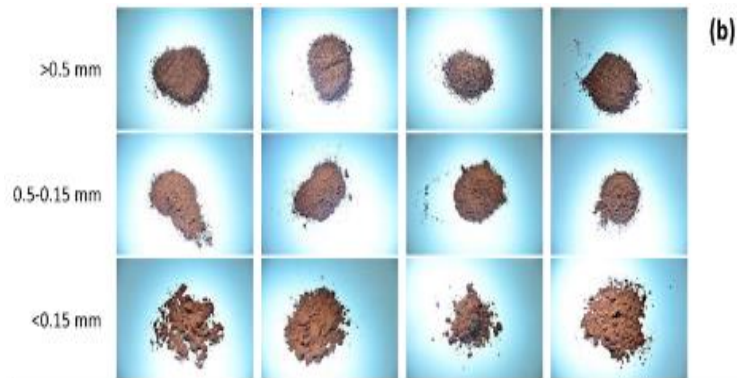
**Πίνακας 3.** Σύγκριση αληθινών και πειραματικών τιμών από το CNN\_1.. (Pradana-López et al., 2021)

Real Label		Predicted Label											
		>0.5 mm Arabica	0.5-0.15 mm Arabica	<0.15 mm Arabica	>0.5 mm Barley	0.5-0.15 mm Barley	<0.15 mm Barley	>0.5 mm Chicory	0.5-0.15 mm Chicory	<0.15 mm Chicory	>0.5 mm Robusta	0.5-0.15 mm Robusta	<0.15 mm Robusta
>0.5 mm Arabica		17	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5-0.15 mm Arabica		0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<0.15 mm Arabica		0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
>0.5 mm Barley		0	0	0	17	0	0	1	0	0	0	0	0
0.5-0.15 mm Barley		0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0
<0.15 mm Barley		0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0
>0.5 mm Chicory		0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0
0.5-0.15 mm Chicory		0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0
<0.15 mm Chicory		0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0
>0.5 mm Robusta		0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0
0.5-0.15 mm Robusta		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0
<0.15 mm Robusta		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13

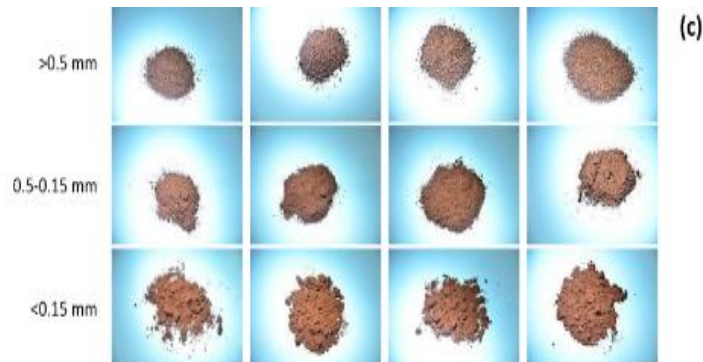
Για τον δεύτερο στόχο του πειράματος σχεδιάστηκε το μοντέλο CNN\_2. Το μοντέλο αυτό εκπαιδεύτηκε ώστε να εντοπίζει τις προσμίξεις, δηλαδή την νοθεία και να αποδίδει το ποσοστό νοθείας αλλά και τα μεγέθη. Παρακάτω φαίνονται εικόνες του Arabica που τέθηκαν υπό εξέταση σε μορφή πίνακα. Έχουν κατανεμηθεί σύμφωνα με το μέγεθος των σωματιδίων τους (κάθετα) και το ποσοστό της νοθείας (οριζόντια).



**Εικόνα 11.** Εικόνες νοθευμένου Arabica με Robusta. (Pradana-López et al., 2021)



**Εικόνα 12.** Εικόνες νοθευμένου Arabica με κιχώριο. (Pradana-López et al., 2021)



**Εικόνα 13.** Εικόνες νοθευμένου Arabica με κριθάρι. (Pradana-López et al., 2021)

Real Label (products; adulteration; diameter)	Number of Misclassifications	Predicted Label (products; adulteration; diameter (#errors))
Arabica-Barley; 2.5%; 0.5-0.15 mm	1	Arabica-Barley; 1%; 0.5-0.15 mm (1)
Arabica-Barley; 2.5%; <0.15 mm	1	Arabica-Chicory; 2.5%; <0.15 mm (1)
Arabica-Barley; 5%; 0.5-0.15 mm	1	Robusta-Chicory; 5%; 0.5-0.15 mm (1)
Arabica-Chicory; 0.5%; >0.5 mm	1	Arabica-Robusta; 0.5%; >0.5 mm (1)
Arabica-Chicory; 0.5%; 0.5-0.15 mm	1	Arabica-Chicory; 1%; 0.5-0.15 mm (1)
Arabica-Chicory; 2.5%; 0.5-0.15 mm	1	Arabica-Barley; 1%; 0.5-0.15 mm (1)
Robusta-Barley; 0.5%; 0.5-0.15 mm	3	Robusta-Barley; 1%; 0.5-0.15 mm (1) Robusta-Chicory; 1%; 0.5-0.15 mm (2)
Robusta-Barley; 2.5%; 0.5-0.15 mm	1	Robusta-Chicory; 5%; 0.5-0.15 mm (1)
Robusta-Barley; 5%; >0.5 mm	2	Arabica-Robusta; 2.5%; >0.5 mm (1) Robusta-Barley; 5%; >0.5 mm (1)
Robusta-Chicory; 0.5%; >0.5 mm	3	Robusta-Barley; 0.5%; >0.5 mm (1) Arabica-Barley; 0.5%; >0.5 mm (1) Arabica-Chicory; 0.5%; >0.5 mm (1)

**Πίνακας 4.** Αποτελέσματα πειράματος. Φαίνονται τα αναμιγμένα προϊόντα, ο βαθμός νοθείας και η διάμετρος των κόκκων

Όπως είναι προφανές όσο το μέγεθος των σωματιδίων μικραίνει, η δυνατότητα του διαχωρισμού και του εντοπισμού της νοθείας με το γυμνό ανθρώπινο μάτι τείνει προς το αδύνατο. Ωστόσο, όπως φαίνεται στον **Πίνακα 4** το μοντέλο CCN\_2 σημείωσε εξίσου μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις βγάζοντας αμελητέο αριθμό λανθασμένων προβλέψεων.

#### 4.4 Σύγχρονες εφαρμογές της μεθόδου στον έλεγχο ποιότητας του καφέ

##### 4.4.1 Αναγνώριση βαθμού ωριμότητας καρπών καφεόδεντρου με χρήση κινητού τηλεφώνου (Sudana et al., 2020)

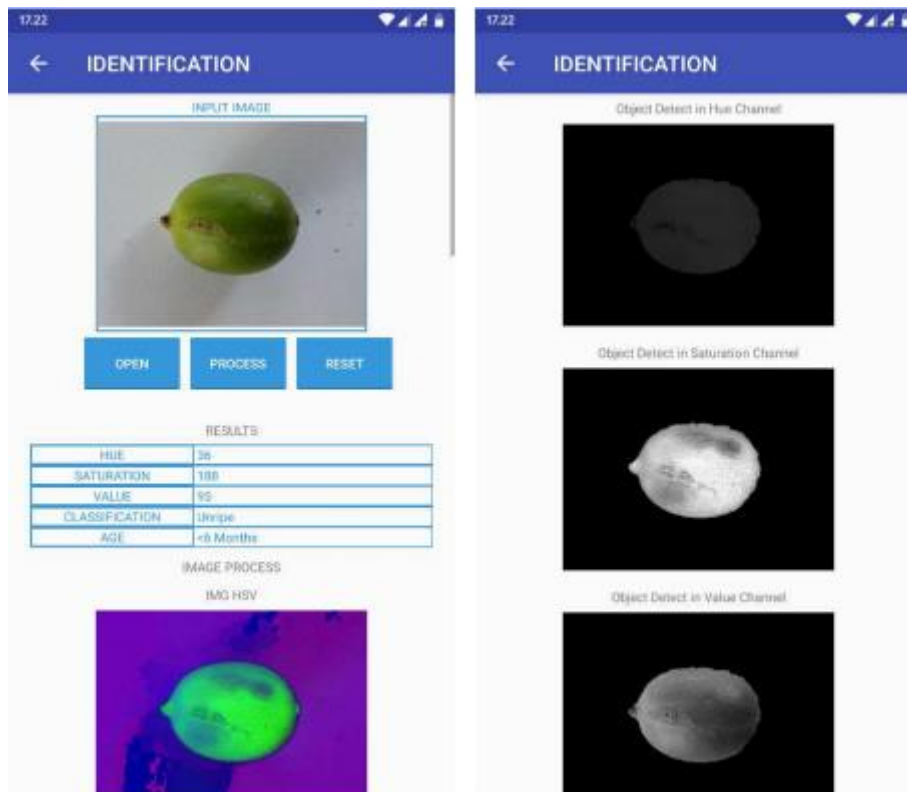
Όπως προαναφέρθηκε, η περίοδος συγκομιδής, άρα ο βαθμός ωριμότητας του καρπού του καφεόδεντρου, επηρεάζει την ποιότητα του καφέ. Από χημικής άποψης, η ωριμότητα του καρπού γίνεται αντιληπτή καθώς μειώνονται τα επίπεδα χλωροφύλλης (πράσινο χρώμα) και αυτή αντικαθίσταται, στις περισσότερες περιπτώσεις, με κόκκινες φλαβονοϊδείς ενώσεις (Clifford & Kazi, 1987). Επομένως, το επίπεδο ωριμότητας διακρίνεται μακροσκοπικά με βάση τον βαθμό της έντασης και κυριαρχίας του κόκκινου χρώματος επί του καρπού. Γενικά, ως οι κόκκινοι καρποί χαρακτηρίζονται ως ώριμοι, οι κιτρινοπράσινοι ως ημι-ώριμοι και οι πράσινοι ως άγουροι (Sudana et al., 2020).

Οι Sudana, Witarsyah, Putra και Raharja διεξήγαγαν πείραμα ώστε να εξετάσουν την ικανότητα ελέγχου και κατάταξης των καρπών καφέ με βάση τον βαθμό ωριμότητας χρησιμοποιώντας πρόγραμμα (εφαρμογή) για κινητό τηλέφωνο τεχνολογίας Android (Sudana et al., 2020).

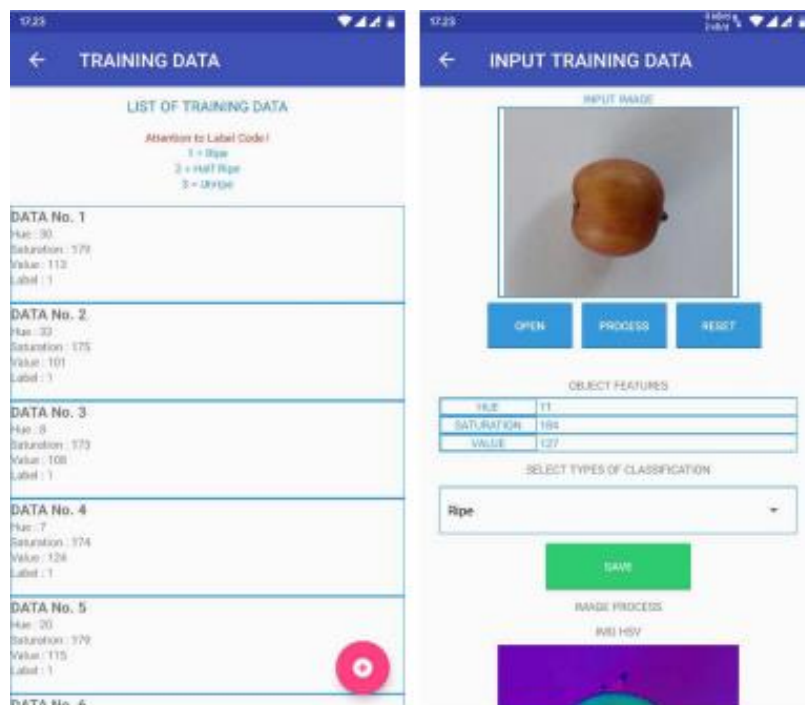
Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο χρωμάτων HSV. Το HSV (Hue, Saturation, Value-> Απόχρωση, Κορεσμός, Τιμή) είναι σύστημα που περιγράφει με αρκετή ακρίβεια τα χρώματα όπως ο άνθρωπος τα αντιλαμβάνεται. Η τιμή H θα φανερώσει το βασικό χρώμα, η τιμή S θα φανερώσει την ένταση του χρώματος ενώ η τιμή V την φωτεινότητα (Chernov et al., 2015; Saravanan et al., 2016). Ως μέθοδος ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκε η ήδη αναφερόμενη μέθοδος K-Nearest Neighbor (κοντινότερου γείτονα). Μέσω της μεθόδου ο χαρακτηρισμός και η ταξινόμηση ενός σημείου γίνεται με βάση την ήδη ταξινόμηση των, κατά οριζόμενο πλήθος, K γειτόνων, όπως ορίζει ο χρήστης. Η δε λήψη των εικόνων έγινε με την χρήση της κάμερας κινητού τηλεφώνου σε μέγεθος 4096x3072 px.

Προκειμένου να επιτευχθεί η παραπάνω μέθοδος ταξινόμησης, χρειάζεται η εκπαίδευση του λογισμικού, ώστε αυτό να μπορεί, με βάση τα δεδομένα που λαμβάνει να ταξινομή ορθώς. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιήθηκε ένα σύνολο από 450 εικόνες καρπών σε λευκό φόντο. Από αυτές, οι 300 χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να εκπαιδεύσουν το πρόγραμμα και οι οποίες απεικόνιζαν καρπούς καφέ σε διάφορα επίπεδα ωριμότητας όπως φαίνεται στην . Οι υπόλοιπες 150 χρησιμοποιήθηκαν ως δείγμα τις οποίες το πρόγραμμα θα έπρεπε να ταξινομήσει σε μία από τις 3 καταστάσεις ωριμότητας (ώριμο, ημι-ώριμο, άγουρο) όπως φαίνεται στην . Έχουμε δε ως δεδομένο ότι από τους 150 καρπούς, σε κατάσταση «ώριμο» είναι οι 50 καρποί, σε κατάσταση «ημι-ώριμο» είναι 50 καρποί και 50 καρποί στην φάση «ανώριμο».

Τόσο στην εκπαιδευτική πορεία, όσο και στην κανονική δοκιμή έλαβαν χώρα τα παρακάτω βήματα: α) αλλαγή μεγέθους (resizing) ώστε η εικόνα να αποκτήσει μέγεθος 667x500 px, β) μετατροπή χρωμάτων από το μοντέλο RGB στο HSV χρωματικό χώρο γ) προ-επεξεργασία της εικόνας που αποσκοπεί ουσιαστικά στην βελτίωση της ποιότητας της (χρησιμοποιώντας τον παράγοντα S του HSV χώρου) απαλείφοντας μη-σχετικά αντικείμενα από την εικόνα και καλύπτοντας τα κενά ώστε, να δώσουμε στο πρόγραμμα την καθαρή εικόνα του αντικειμένου που καλείται να μελετήσει, δ) τμηματοποίηση και εξαγωγή χαρακτηριστικών κατά τα οποία γίνεται σαφής προσδιορισμός του αντικειμένου (καρπός καφέ) μέσα στην εικόνα (τμηματοποίηση) και λήψη των τιμών των χαρακτηριστικών του εικονιζόμενου αντικειμένου για κάθε κανάλι (hue, saturation, value) στον HSV χώρο (στην περίπτωση της εκπαιδευτικής διαδικασίας). Τα δεδομένα στο βήμα αυτό συλλέγονται προς την δημιουργία μιας βάσης δεδομένων από την οποία η κανονική διαδικασία λαμβάνει δεδομένα για να προχωρήσει στα επόμενα βήματα) και ε) ταξινόμηση, κατά την οποία χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος KNN και η βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο βήμα προς χαρακτηρισμό και ταξινόμηση του εικονιζόμενου αντικειμένου. Σχετικά στιγμιότυπα από την εκπαιδευτική φάση και την φάση κανονικής λειτουργίας φαίνονται στις **Εικόνα 14** και **Εικόνα 15** αντίστοιχα.



**Εικόνα 14.** Στιγμιότυπο οθόνης από την εφαρμογή ταξινόμησης καρπών καφέ, στην φάση της κανονικής λειτουργίας. Suldana et al., 2020



**Εικόνα 15.** Στιγμιότυπο οθόνης από την εφαρμογή ταξινόμησης καρπών καφέ, στην φάση της κανονικής λειτουργίας. Suldana et al., 2020

Τα αποτελέσματα ήταν αρκετά ενθαρρυντικά, καθώς έγιναν δοκιμές ορίζοντας διάφορες τιμές K (που ορίζει το πλήθος των «γειτόνων» που θα αναλυθούν για να εκτιμηθεί η τάξη του εξεταζόμενου αντικειμένου) στον αλγόριθμο του K-NN και το βέλτιστο ποσοστό επιτυχίας που σημειώθηκε ήταν 95.56% για K=3. Τέλος, όπως δείχνει ο Πίνακας 5, τα μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας φαίνεται να εμφανίζονται για τους άγουρους καρπούς, μετά οι ημί-ώριμοι και τελευταίοι οι ώριμοι καρποί.

*Πίνακας 5. Αποτελέσματα και απόδοση της εφαρμογής ταξινόμησης καρπών καφέ Suldana et al., 2020*

<b>Επίπεδο ωριμότητας</b>	<b>Πραγματικό πλήθος</b>	<b>Πειραματικό πλήθος καρπών</b>				
		<b>k=1</b>	<b>k=3</b>	<b>k=5</b>	<b>k=7</b>	<b>k=9</b>
Ώριμο	50	46	45	43	41	40
Ημι-ώριμο	50	42	46	45	44	43
Άγουρο	50	48	49	49	50	50
<b>Ποσοστό επιτυχίας</b>		93,33%	95,56%	94,22%	93,33%	92,44%

## 5 Βιβλιογραφία

Aguilera, J. M. (2005). Why food microstructure? *Journal of Food Engineering*, 67(1–2), 3–11.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.050>

Alastair, H. (n.d.). AU Journal of technology. *Coffee Production Status and Potential of Organic Arabica Coffee in Thailand*.

Albawi, S., Mohammed, T., & Al-Zawi, S. (2017). Understanding of a Convolutional Neural Network. In *Proceedings of 2017 international conference on engineering & technology* (ICET2017 ed.).

Amani, H., Badak-Kerti, K., & Mousavi Khaneghah, A. (2022). Current progress in the utilization of smartphone-based imaging for quality assessment of food products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(13), 3631–3643.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867820>

Bae, J.-H., Park, J.-H., Im, S.-S., & Song, D.-K. (2014). Coffee and health. *Integrative Medicine Research*, 3(4), 189–191. <https://doi.org/10.1016/j.imr.2014.08.002>

Blank, I., Sen, A., & Grosch, W. (1992). *Aroma impact compounds of Arabica and Robusta coffee. Qualitative and quantitative investigations*. ASIC.

Brosnan, T., & Sun, D.-W. (2004a). *Improving quality inspection of food products by computer vision—a review*. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00183-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00183-3)

Brosnan, T., & Sun, D.-W. (2004b). Improving quality inspection of food products by computer vision—a review. *Journal of Food Engineering*, 61(1), 3–16.

[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00183-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00183-3)

Campuzano-Duque, L. F., Herrera, J. C., Ged, C., & Blair, M. W. (2021). Bases for the establishment of robusta coffee (*Coffea canephora*) as a new crop for colombia.

*Agronomy*, 11(12), 2550. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122550>

- Cardello, A. V. (1995). Food quality: Relativity, context and consumer expectations. *Food Quality and Preference*, 6(3), 163–170. [https://doi.org/10.1016/0950-3293\(94\)00039-X](https://doi.org/10.1016/0950-3293(94)00039-X)
- Cavin, C., Holzhaeuser, D., Scharf, G., Constable, A., Huber, W. W., & Schilter, B. (2002). Cafestol and kahweol, two coffee specific diterpenes with anticarcinogenic activity. *Food and Chemical Toxicology*, 40(8), 1155–1163. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(02\)00029-7](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(02)00029-7)
- Chernov, V., Alander, J., & Bochko, V. (2015). Integer-based accurate conversion between RGB and HSV color spaces. *Computers & Electrical Engineering*, 46, 328–337. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2015.08.005>
- Clifford, M. N., & Kazi, T. (1987). The influence of coffee bean maturity on the content of chlorogenic acids, caffeine and trigonelline. *Food Chemistry*, 26(1), 59–69. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(87\)90167-1](https://doi.org/10.1016/0308-8146(87)90167-1)
- Clifford, M. N., & Willson, K. C. (Eds.). (1985). *Coffee*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6657-1>
- Davis, A. P., Gargiulo, R., Fay, M. F., Sarmu, D., & Hagggar, J. (2020). Lost and found: *Coffea stenophylla* and *C. affinis*, the forgotten coffee crop species of west africa. *Frontiers in Plant Science*, 11, 616. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00616>
- Dora, M., Kumar, M., Van Goubergen, D., Molnar, A., & Gellynck, X. (2013). Food quality management system: Reviewing assessment strategies and a feasibility study for European food small and medium-sized enterprises. *Food Control*, 31(2), 607–616. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.12.006>
- Dr Sanger, C. (2018). *State of the global coffee market*. United Nations Conference on Trade and Development, Geneva. <https://www.ico.org/documents/ed1849.pdf>



- Du, C.-J., & Sun, D.-W. (2004). Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science & Technology*, 15(5), 230–249. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.10.006>
- Du, C.-J., & Sun, D.-W. (2006). Learning techniques used in computer vision for food quality evaluation: A review. *Journal of Food Engineering*, 72(1), 39–55. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.11.017>
- Durmus, D. (2020). CIELAB color space boundaries under theoretical spectra and 99 test color samples. *Color Research & Application*, 45(5), 796–802. <https://doi.org/10.1002/col.22521>
- E. Angelia, R., Claire R. Villaverde, K., E. Recto, K., & B. Bactat, R. (2021). Dried Robusta Coffee Bean Quality Classification Using Convolutional Neural Network Algorithm. *2021 7th International Conference on Computing and Artificial Intelligence*, 57–61. <https://doi.org/10.1145/3467707.3467715>
- Evans, D., & Hamilton, R. A. (1999). *What Makes a Good Avocado Cultivar Good?*
- Farah, A. (Ed.). (2019). *Coffee. Consumption and health implications*. Royal Society of Chemistry.
- Farah, A., & dePaula Lima, J. (2019). Consumption of Chlorogenic Acids through Coffee and Health Implications. *Beverages*, 5(1), 11. <https://doi.org/10.3390/beverages5010011>
- Fernandes, R. de C., Evans, H. C., & Barreto, R. W. (2009). Confirmation of the occurrence of teliospores of *Hemileia vastatrix* in Brazil with observations on their mode of germination. *Tropical Plant Pathology*, 34(2). <https://doi.org/10.1590/S1982-56762009000200005>
- Fischer, M., Reimann, S., Trovato, V., & Redgwell, R. J. (2001). Polysaccharides of green Arabica and Robusta coffee beans. *Carbohydrate Research*, 330(1), 93–101. [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(00\)00272-X](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(00)00272-X)

- Galindo, M. (2014, September 22). *Coffee market outlook*.  
[<http://www.ico.org/documents/cy2013-14/council-market-outlook.pdf>](<http://www.ico.org/documents/cy2013-14/council-market-outlook.pdf>)
- Glasbey, C. A., & Horgan, G. W. (1997). Image analysis for the biological sciences. *Biometrics*, 53(2), 783. <https://doi.org/10.2307/2533987>
- Gomes, J. F. S., & Leta, F. R. (2012). Applications of computer vision techniques in the agriculture and food industry: A review. *European Food Research and Technology*, 235(6), 989–1000. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1844-2>
- Hall, R. D., Trevisan, F., & de Vos, R. C. H. (2022). Coffee berry and green bean chemistry – Opportunities for improving cup quality and crop circularity. *Food Research International*, 151, 110825. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110825>
- Harvey, L., & Green, D. (1993). Defining Quality. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 18(1), 9–34. <https://doi.org/10.1080/0260293930180102>
- Higdon, J. V., & Frei, B. (2006). Coffee and Health: A Review of Recent Human Research. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46(2), 101–123.  
<https://doi.org/10.1080/10408390500400009>
- Jain, S., Srivastava, A. S., Verma, R. P., & Maggu, G. (2019). Caffeine addiction: Need for awareness and research and regulatory measures. *Asian Journal of Psychiatry*, 41, 73–75. <https://doi.org/10.1016/j.ajp.2017.01.008>
- Jasti, V. D. P., Zamani, A. S., Arumugam, K., Naved, M., Pallathadka, H., Sammy, F., Raghuvanshi, A., & Kaliyaperumal, K. (2022). Computational technique based on machine learning and image processing for medical image analysis of breast cancer diagnosis. *Security and Communication Networks*, 2022, 1–7.  
<https://doi.org/10.1155/2022/1918379>

- Kemsley, E. (1995). Discrimination between *Coffea arabica* and *Coffea canephora* variant robusta beans using infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 54(3), 321–326.  
[https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)00030-M](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)00030-M)
- Kerr, G. (2021). *The magic bean a short history of coffee*. Oldcastle Books.
- Khan, A. A., Laghari, A. A., & Awan, S. A. (2021). Machine Learning in Computer Vision: A Review. *EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems*, 8(32), e4–e4.  
<https://doi.org/10.4108/eai.21-4-2021.169418>
- Krishnan, S. (2017). Sustainable coffee production. In S. Krishnan, *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. Oxford University Press.  
<https://oxfordre.com/environmentalscience/view/10.1093/acrefore/9780199389414.001.0001/acrefore-9780199389414-e-224>
- Krishnan, S., Matsumoto, T., Nagai, C., Falconer, J., Shriner, S., Long, J., Medrano, J. F., & Vega, F. E. (2021). Correction to: Vulnerability of coffee (*Coffea* spp.) genetic resources in the United States. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68(7), 2711–2711. <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01232-2>
- Kumaranayake, L. (2000). The real and the nominal? Making inflationary adjustments to cost and other economic data. *Health Policy and Planning*, 15(2), 230–234.  
<https://doi.org/10.1093/heapol/15.2.230>
- Labouisse, J.-P., Bellachew, B., Kotecha, S., & Bertrand, B. (2008). Current status of coffee (*Coffea arabica* L.) genetic resources in Ethiopia: Implications for conservation. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55(7), 1079–1093.  
<https://doi.org/10.1007/s10722-008-9361-7>
- Lara, D. R. (2010). Caffeine, Mental Health, and Psychiatric Disorders. *Journal of Alzheimer's Disease*, 20(s1), S239–S248. <https://doi.org/10.3233/JAD-2010-1378>
- Lazareva, N. V. (2021). *Quality Management Of Medical Care In State Medical Institutions*. 1854–1861. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2021.04.02.220>

- Leroy, T., Ribeyre, F., Bertrand, B., Charmetant, P., Dufour, M., Montagnon, C., Marraccini, P., & Pot, D. (2006). Genetics of coffee quality. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, *18*(1), 229–242. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100016>
- Li, H., Lv, S., Feng, L., Peng, P., Hu, L., Liu, Z., Hati, S., Bimal, C., & Mo, H. (2022). Smartphone-Based Image Analysis for Rapid Evaluation of Kiwifruit Quality during Cold Storage. *Foods*, *11*(14), 2113. <https://doi.org/10.3390/foods11142113>
- Liu, D., Sun, D.-W., & Zeng, X.-A. (2014). Recent Advances in Wavelength Selection Techniques for Hyperspectral Image Processing in the Food Industry. *Food and Bioprocess Technology*, *7*(2), 307–323. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1193-6>
- Lukinac, J. L., Jukić, M. J., Mastanjević, K. M., & Lučan, M. L. (2018). Application of computer vision and image analysis method in cheese-quality evaluation: A review. *Ukrainian Food Journal*, *7*(2), 192–214. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2018-7-2-4>
- Maghfirah, A., & Nasution, I. S. (2022). Application of colour, shape, and texture parameters for classifying the defect of Gayo Arabica green coffee bean using computer vision. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *951*(1), 012097. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/951/1/012097>
- Martín, M. J., Pablos, F., & González, A. G. (1998). Discrimination between arabica and robusta green coffee varieties according to their chemical composition. *Talanta*, *46*(6), 1259–1264. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(97\)00409-8](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(97)00409-8)
- McNutt, D. N. (1975). Pests of Coffee in Uganda, their Status and Control. *PANS Pest Articles & News Summaries*, *21*(1), 9–18. <https://doi.org/10.1080/09670877509411482>
- Mejia, E. G. de, & Ramirez-Mares, M. V. (2014). Impact of caffeine and coffee on our health. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, *25*(10), 489–492. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2014.07.003>
- Mettleq, A., & Abu-Naser, S. (2019). *International Journal of Academic Information Systems Research*. *3*(3), 1–8.

- Miller, J., & Buiten, C. van (Eds.). (2022). *Superfoods: Cultural and scientific perspectives*. Springer.
- Mitra, A. (2016). *Fundamentals of quality control and improvement* (Fourth edition). John Wiley & Sons, Inc.
- Montavon, P., Mauron, A.-F., & Duruz, E. (2003). Changes in Green Coffee Protein Profiles during Roasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(8), 2335–2343. <https://doi.org/10.1021/jf020832b>
- Morris, J. (2019). *Coffee: A global history*. Reaktion Books.
- Mussatto, S. I., Machado, E. M. S., Martins, S., & Teixeira, J. A. (2011). Production, composition, and application of coffee and its industrial residues. *Food and Bioprocess Technology*, 4(5), 661–672. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0565-z>
- N'Diaye, A., Poncet, V., Louarn, J., Hamon, S., & Noirot, M. (2005). Genetic differentiation between *Coffea liberica* var. *Liberica* and *C. liberica* var. *Dewevrei* and comparison with *C. canephora*. *Plant Systematics and Evolution*, 253(1–4), 95–104. <https://doi.org/10.1007/s00606-005-0300-1>
- Nieber, K. (2017). The Impact of Coffee on Health. *Planta Medica*, 83(16), 1256–1263. <https://doi.org/10.1055/s-0043-115007>
- Nielsen, S. (2017). *Food analysis* (5η). Springer Science+Business Media.
- Oberholzer, M., Streicher, M., Christen, H., & Brühlmann, M. (1996). Methods in quantitative image analysis. *Histochemistry and Cell Biology*, 105(5), 333–355. <https://doi.org/10.1007/BF01463655>
- Otsu, N. (n.d.). *A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms*.
- Paré, J. R. J., & Bélanger, J. M. R. (1997). *Instrumental methods in food analysis*. Elsevier.
- Park, B., Chen, Y., & Nguyen, M. (1998). *Multi-spectral Image Analysis using Neural Network Algorithm for Inspection of Poultry Carcasses | Elsevier Enhanced Reader*. <https://doi.org/10.1006/jaer.1997.0258>

- Patel, K. K., Kar, A., Jha, S. N., & Khan, M. A. (2012). Machine vision system: A tool for quality inspection of food and agricultural products. *Journal of Food Science and Technology*, *49*(2), 123–141. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0321-4>
- Peri, C. (2006). The universe of food quality. *Food Quality and Preference*, *17*(1–2), 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.03.002>
- Piggott, J. R., Simpson, S. J., & Williams, S. A. R. (1998). Sensory analysis. *International Journal of Food Science & Technology*, *33*(1), 7–12. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.1998.00154.x>
- Pohler, H. (2010). Caffeine Intoxication and Addiction. *The Journal for Nurse Practitioners*, *6*(1), 49–52. <https://doi.org/10.1016/j.nurpra.2009.08.019>
- Poltronieri, P., & Rossi, F. (2016). Challenges in specialty coffee processing and quality assurance. *Challenges*, *7*(2), 19. <https://doi.org/10.3390/challe7020019>
- Pradana-López, S., Pérez-Calabuig, A. M., Cancilla, J. C., Lozano, M. Á., Rodrigo, C., Mena, M. L., & Torrecilla, J. S. (2021). Deep transfer learning to verify quality and safety of ground coffee. *Food Control*, *122*, 107801. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107801>
- Ramaswamy, S., Rastogi, R., & Shim, K. (2000). Efficient algorithms for mining outliers from large data sets. *Proceedings of the 2000 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, 427–438. <https://doi.org/10.1145/342009.335437>
- Roy, A., & Das, B. (2015). Effects of Caffeine on Health: A Review. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, *8*(9), 1312. <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2015.00237.1>
- Saldaña, E., Siche, R., Luján, M., & Quevedo, R. (2013). Review: Computer vision applied to the inspection and quality control of fruits and vegetables. *Brazilian Journal of Food Technology*, *16*(4), 254–272. <https://doi.org/10.1590/S1981-67232013005000031>

- Sankur, B. (2004). Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation. *Journal of Electronic Imaging*, 13(1), 146.  
<https://doi.org/10.1117/1.1631315>
- Santos, D., Victoria, A., Besa, C., & Cao, E. (2019). *Genome-wide Profiling and Characterization of Terpene Synthase-linked Simple Sequence Repeats in Coffea canephora Pierre ex A. Froehner for Identification of Potential Markers for Aroma in Philippine-grown Coffee Varieties*. 151, 267–273.
- Santos, J. R., Sarraguça, M. C., Rangel, A. O. S. S., & Lopes, J. A. (2012). Evaluation of green coffee beans quality using near infrared spectroscopy: A quantitative approach. *Food Chemistry*, 135(3), 1828–1835.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.059>
- Saravanan, G., Yamuna, G., & Nandhini, S. (2016). Real time implementation of RGB to HSV/HSI/HSL and its reverse color space models. *2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, 0462–0466.  
<https://doi.org/10.1109/ICCSP.2016.7754179>
- Satel, S. (2006). Is Caffeine Addictive?—A Review of the Literature. *The American Journal of Drug and Alcohol Abuse*, 32(4), 493–502.  
<https://doi.org/10.1080/00952990600918965>
- Sharma, N., Jain, V., & Mishra, A. (2018). An Analysis Of Convolutional Neural Networks For Image Classification. *Procedia Computer Science*, 132, 377–384.  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.05.198>
- Shewfelt, R. (1998). Postharvest Biology and Technology. *What Is Quality?*, 197–200.
- Slavova, G., & Georgieva, V. (2019). WORLD PRODUCTION OF COFFEE IMPORTS AND EXPORTS IN EUROPE, BULGARIA AND USA. *Trakia Journal of Sciences*, 17(Suppl.1), 619–626. <https://doi.org/10.15547/tjs.2019.s.01.098>

- Souza, R. M., & Souza, R. M. (2008). *Plant-parasitic nematodes of coffee*. Springer Science+Business Media B.V.
- Sudana, O., Witarsyah, D., Putra, A., & Raharja, S. (2020). Mobile Application for Identification of Coffee Fruit Maturity using Digital Image Processing. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10(3), 980. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.3.11135>
- Sun, D.-W. (2016). *Computer vision technology for food quality evaluation* (2nd edition). Elsevier/Academic Press.
- Tajik, N., Tajik, M., Mack, I., & Enck, P. (2017). The potential effects of chlorogenic acid, the main phenolic components in coffee, on health: A comprehensive review of the literature. *European Journal of Nutrition*, 56(7), 2215–2244. <https://doi.org/10.1007/s00394-017-1379-1>
- Talhinhas, P., Batista, D., Diniz, I., Vieira, A., Silva, D. N., Loureiro, A., Tavares, S., Pereira, A. P., Azinheira, H. G., Guerra-Guimarães, L., Várzea, V., & Silva, M. do C. (2017). The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: One and a half centuries around the tropics: Coffee leaf rust caused by *Hemileia vastatrix*. *Molecular Plant Pathology*, 18(8), 1039–1051. <https://doi.org/10.1111/mpp.12512>
- Torres Castillo, N. E., Melchor-Martínez, E. M., Ochoa Sierra, J. S., Ramirez-Mendoza, R. A., Parra-Saldívar, R., & Iqbal, H. M. N. (2020). Impact of climate change and early development of coffee rust – An overview of control strategies to preserve organic cultivars in Mexico. *Science of The Total Environment*, 738, 140225. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140225>
- Ukers, W. (2011). *All about coffee* (2η). Martino.
- Urgert, R., Essed, N., van der Weg, G., Kosmeijer-Schuil, T. G., & Katan, M. B. (1997). Separate effects of the coffee diterpenes cafestol and kahweol on serum lipids and



- liver aminotransferases. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 65(2), 519–524.  
<https://doi.org/10.1093/ajcn/65.2.519>
- Vadivambal, R., & Jayas, D. S. (2011). Applications of Thermal Imaging in Agriculture and Food Industry—A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 4(2), 186–199.  
<https://doi.org/10.1007/s11947-010-0333-5>
- Vibhute, A. & S.K.Bodhe. (2012). Application of Image Processing in Agriculture: A Survey. *International Journal of Computer Applications*, 52, 34–40.  
<https://doi.org/10.5120/8176-1495>
- Vochozka, M., Petrách, F., & Janek, S. (2022). Changes in perception of coffee in EU: Luxury good becoming inferior good. *Economics & Sociology*, 15(3), 248–267.  
<https://doi.org/10.14254/2071-789X.2022/15-3/14>
- Xu, J. (2003). Coffee. *Journal of Agricultural & Food Information*, 5(3), 79–86.  
[https://doi.org/10.1300/J108v05n03\\_07](https://doi.org/10.1300/J108v05n03_07)
- Yam, K. L., & Papadakis, S. E. (2004). A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61(1), 137–142.  
[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00195-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00195-X)
- Zhang, S., Li, X., Zong, M., Zhu, X., & Cheng, D. (2017). Learning  $k$  for kNN Classification. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 8(3), 1–19.  
<https://doi.org/10.1145/2990508>
- Γρηγοράκης, Κ., & Τσάκνης, Γ. (2014). *Οργανοληπτικός έλεγχος τροφίμων*. Παπασωτηρίου.
- Παπαδογιάννης, Ι., & Σαμανίδου, Β. (2001). *Ενόργανη χημική ανάλυση (2η)*. Πήγασος.
- Πάπυρος Larousse Britannica a. (n.d.). Επιλογή, γενετική. In *Πάπυρος Larousse Britannica*.
- Πάπυρος Larousse Britannica b. (n.d.). Καφεόδεντρο. In *Πάπυρος Larousse Britannica* (Vol. 33, pp. 51–52). Grande encyclopedie Larousse, Encyclopedia Britannica, Εκδοτικός Οργανισμός Πάπυρος.

Πάπυρος Larousse Britannica c. (n.d.). Καφές. In *Πάπυρος Larousse Britannica* (Vol. 33).

Grande encyclopedie Larousse, Encyclopedia Britannica, Εκδοτικός Οργανισμός

Πάπυρος.

Τσάκνης, Γ. (2021). *Ποιότητα και ασφάλεια τροφίμων και ποτών* (2η). Εκδόσεις Τζιόλα.