

Interreg



Με τη συγχρηματοδότηση  
της ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ

Ελλάδα – Κύπρος

MOSAIC



### ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 3:

Βιβλιογραφική αναζήτηση και στάθμη των γνώσεων. Αξιολόγηση μεθοδολογιών αναγνώρισης ακμών και χρώματος. Συλλογή δεδομένων από πολυαξονικές κατεργασίες.

+30 2310 469 626

[www.interreg.gr](http://www.interreg.gr)

[www.greece-cyprus.eu](http://www.greece-cyprus.eu)

@Interreg\_GRCY

@interreg\_grcy

## ΠΕ.3

**Βιβλιογραφική αναζήτηση και στάθμη των γνώσεων. Αξιολόγηση μεθοδολογιών αναγνώρισης ακμών και χρώματος. Συλλογή δεδομένων από πολυαξονικές κατεργασίες.**

## Π3.1.2

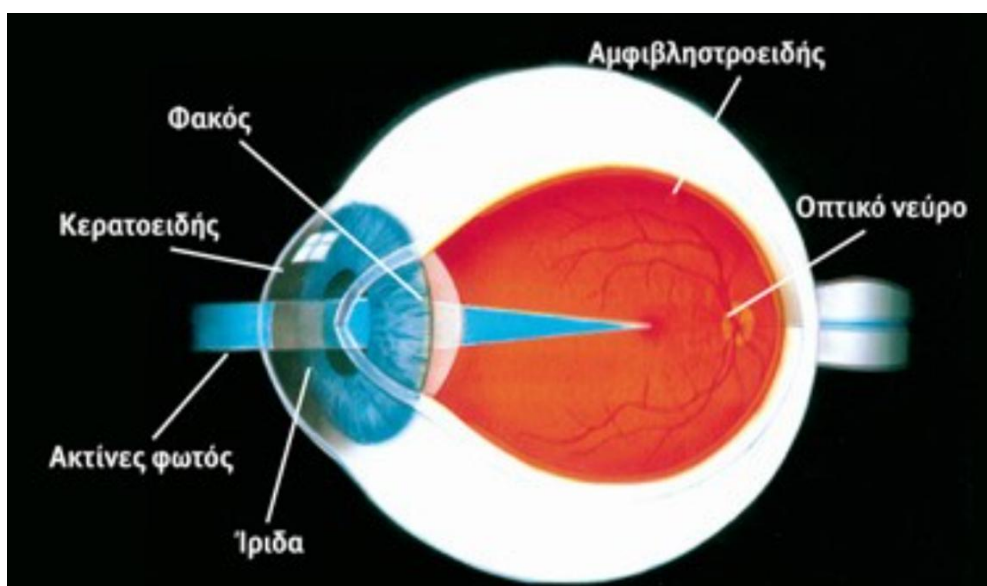
Τεχνική Έκθεση: Στάθμη γνώσεων σε αναγνώρισης χρώματος με επισυναπτόμενη βιβλιογραφία

### 3.1.1 Εισαγωγή

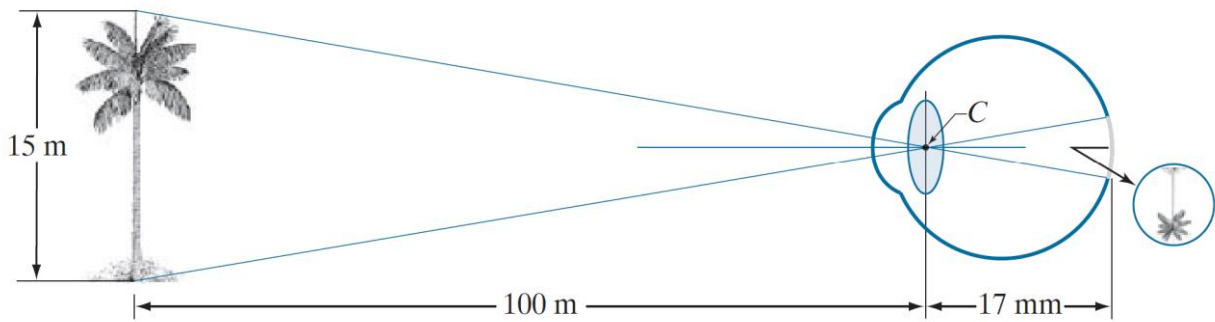
Μέρος της αναγνώρισης εικόνας αποτελεί και η ανάλυση και η αναγνώριση του χρώματός ενός αντικειμένου που υπάρχει σε μια εικόνα. Το αντικείμενο αυτό μπορεί να έχει προέλθει από τα διακριτά μέρη περιεχομένου της εικόνας που έχει υποστεί τμηματοποίηση. Η ανάλυση και η αναγνώριση χρώματός αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για πλήρη κατανόηση των χαρακτηριστικών του υπό μελέτη αντικειμένου. Η χρωματική πληροφορία παρέχει σημαντικά δεδομένα, όπως τη σύσταση των υλικών ή την αποκάλυψη φθορών. Σε πολλές εφαρμογές, η συνδυαστική χρήση της τμηματοποίησης και της αναγνώρισης χρώματος επιτρέπει την εκτενή περιγραφή της δομής και των ιδιοτήτων των αντικειμένων, δημιουργώντας έτσι ακριβή ψηφιακά αρχεία και ολοκληρωμένη ανάλυση των χαρακτηριστικών τους.

### 3.1.2 Η Αντίληψη του Χρώματος

Ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται το χρώμα ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του φωτός με το οπτικό σύστημα και της επεξεργασίας των οπτικών ερεθισμάτων από τον εγκέφαλο [1,2]. Το ανθρώπινο μάτι ανιχνεύει το ορατό φως ως μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, το οποίο εκτείνεται περίπου από τα 390 έως τα 780 nm. Το φως που ανακλάται ή διαχέεται από ένα αντικείμενο και προσπίπτει στο μάτι (Σχήμα 3. 1), εισέρχεται μέσω του κερατοειδούς χιτώνα και της κόρης, και στη συνέχεια διέρχεται από τον κρυσταλλοειδή φακό. Ο φακός εστιάζει τις φωτεινές ακτίνες, ώστε να σχηματιστεί ένα αντεστραμμένο είδωλο στον αμφιβληστροειδή χιτώνα (Σχήμα 3. 2), όπου βρίσκονται οι φωτοϋποδοχείς (ραβδία και κωνία). Η διέγερση των ραβδίων και των κωνίων μετατρέπεται σε νευρικά σήματα, τα οποία μεταδίδονται μέσω του οπτικού νεύρου προς τον εγκέφαλο για την τελική επεξεργασία και ερμηνεία της οπτικής πληροφορία.



Σχήμα 3. 1: Ανατομία του ματιού [vlemma.com/anatomia-enosmatio/]



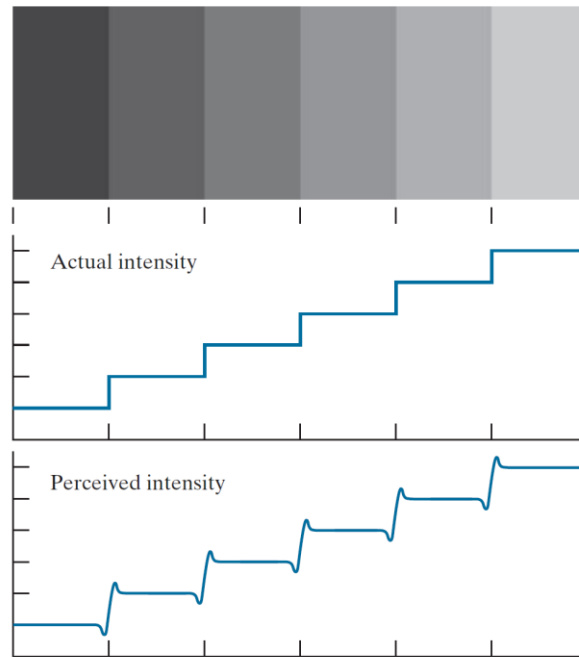
**Σχήμα 3. 2:** Γραφική αναπαράσταση του ματιού καθώς κοιτάζει ένα αντικείμενο. Το σημείο C είναι το οπτικό κέντρο του φακού [2].

Η ανθρώπινη όραση [2] μπορεί να προσαρμοστεί σε ένα πολύ μεγάλο εύρος τιμών των επιπέδων έντασης του φωτός, της τάξης του  $10^{10}$ , αλλά η ικανότητα διάκρισης διαφορετικών επιπέδων έντασης σε κάθε δεδομένη προσαρμογή είναι σχετικά περιορισμένη. Συνήθως, σε μονοχρωματικές εικόνες, ο παρατηρητής μπορεί να διακρίνει περίπου μία έως δύο δωδεκάδες επίπεδα έντασης σε ένα σημείο ή μια μικρή περιοχή, ενώ η συνολική αντίληψη επεκτείνεται καθώς το μάτι κινείται και προσαρμόζεται σε διαφορετικά φόντα.

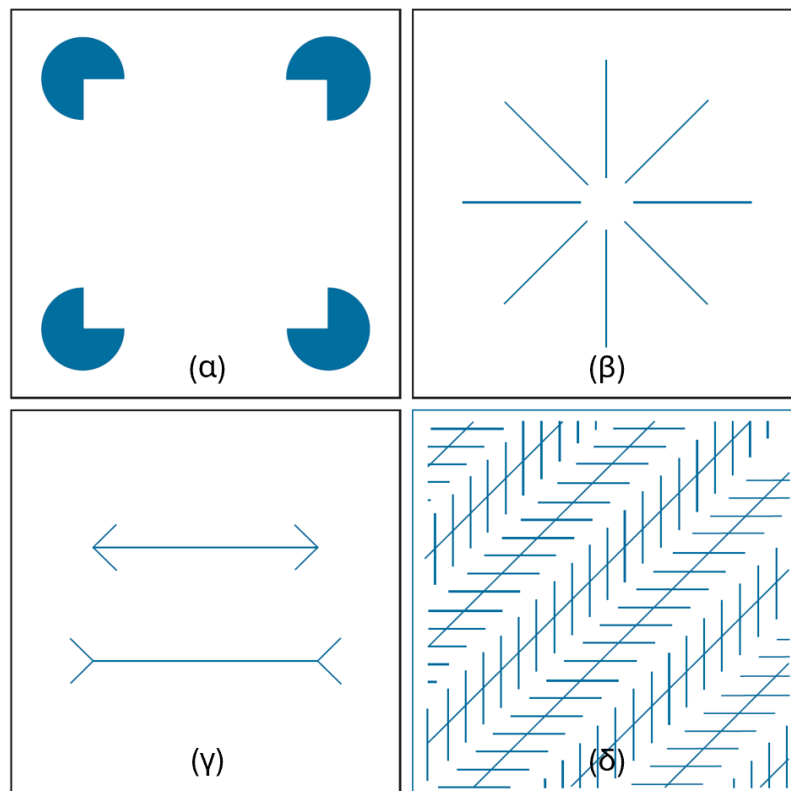
Η αντιλαμβανόμενη από το μάτι φωτεινότητα δεν εξαρτάται μόνο από την ένταση, αλλά επηρεάζεται από δύο φαινόμενα [2]. Το πρώτο, σχετίζεται με το φαινόμενο των ζωνών Mach (Σχήμα 3. 4), όπου η φωτεινότητα υπερλυποεκτιμάτε στα όρια περιοχών διαφορετικής έντασης. Το δεύτερο φαινόμενο, είναι γνωστό ως η ταυτόχρονη αντίθεση (simultaneous contrast), όπου η αντιλαμβανόμενη φωτεινότητα μιας περιοχής, δεν εξαρτάται μόνο από την έντασή της, αλλά αλλάζει ανάλογα με το φόντο στο οποίο βρίσκεται (Σχήμα 3. 3). Τέλος, η ανθρώπινη αντίληψη μπορεί να επηρεαστεί και από άλλα φαινόμενα [2], όπως είναι οι οπτικές ψευδαισθήσεις (Σχήμα 3. 5), στις οποίες το μάτι συμπληρώνει ή παραμορφώνει πληροφορίες, δημιουργώντας λανθασμένη αντίληψη σχημάτων και αποστάσεων. Συνολικά, η ανθρώπινη αντίληψη της φωτεινότητας είναι σύνθετη και δεν περιορίζεται απλώς στις πραγματικές τιμές έντασης.



**Σχήμα 3. 3:** Ένα παράδειγμα ταυτόχρονης αντίθεσης, όπου ενώ όλα τα εσωτερικά τετράγωνα έχουν την ίδια ένταση, αυτά εμφανίζονται ολοένα και πιο σκοτεινά καθώς το φόντο γίνεται φωτεινότερο [2].



**Σχήμα 3. 4:** Το φαινόμενο των ζωνών Mach, όπου η ένταση που γίνεται αντιληπτή (perceived intensity) δεν αποτελεί μια απλή συνάρτηση της πραγματικής έντασης (actual intensity) [2].



**Σχήμα 3. 5:** Γνωστά παραδείγματα οπτικών ψευδαισθήσεων: (α) το περίγραμμα ενός τετραγώνου που φαίνεται καθαρά, (β) το περίγραμμα ενός κύκλου που φαίνεται καθαρά, (γ) τα δύο ευθύγραμμα τμήματα έχουν το ίδιο μήκος, ενώ φαίνεται να διαφέρουν και (δ) όλες οι γραμμές με κλίση  $45^\circ$  είναι παράλληλες μεταξύ τους, πράγμα το οποίο δεν μπορεί να γίνεται αντιληπτό [2].

Η κατανόηση αυτών των μηχανισμών αποτελεί θεμελιώδη προϋπόθεση για τη σχεδίαση και χρήση χρωματικών μοντέλων και χώρων στην ψηφιακή επεξεργασία εικόνας, τα οποία επιδιώκουν να προσομοιώσουν τον τρόπο που ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται το χρώμα, επιτρέποντας ακριβέστερη αναπαράσταση, ανάλυση και επεξεργασία της χρωματικής πληροφορίας.

### 3.1.3 Ορατό Φως

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα [2,3] περιλαμβάνει όλες τις μορφές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ταξινομημένες κατά μήκος κύματος, συχνότητας ή ενέργειας. Στο δεξιό άκρο του φάσματος (Σχήμα 3. 6) βρίσκονται τα ραδιοκύματα (long waves), με πολύ μεγάλα μήκη κύματος και χαμηλή ενέργεια, ενώ στο αριστερό άκρο, με υψηλότερες συχνότητες και μικρότερα μήκη κύματος, εντοπίζονται οι ακτίνες γάμμα (gamma rays) που φέρουν τη μεγαλύτερη ενέργεια και να θεωρούνται δυνητικά επιβλαβείς για ζωντανούς οργανισμούς.

Το ορατό (χρωματικό) φάσμα [2] (Σχήμα 3. 6) αποτελεί μόνο ένα μικρό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, εκτεινόμενο περίπου από 380 nm (ιώδες) έως περίπου 780 nm (κόκκινο). Για λόγους ευχρηστίας, το χρωματικό φάσμα χωρίζεται σε έξι βασικές χρωματικές περιοχές: ιώδες, μπλε, πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί και κόκκινο. Κανένα από τα χρώματα δεν τελειώνει απότομα, αλλά αναμειγνύεται ομαλά με το επόμενο.

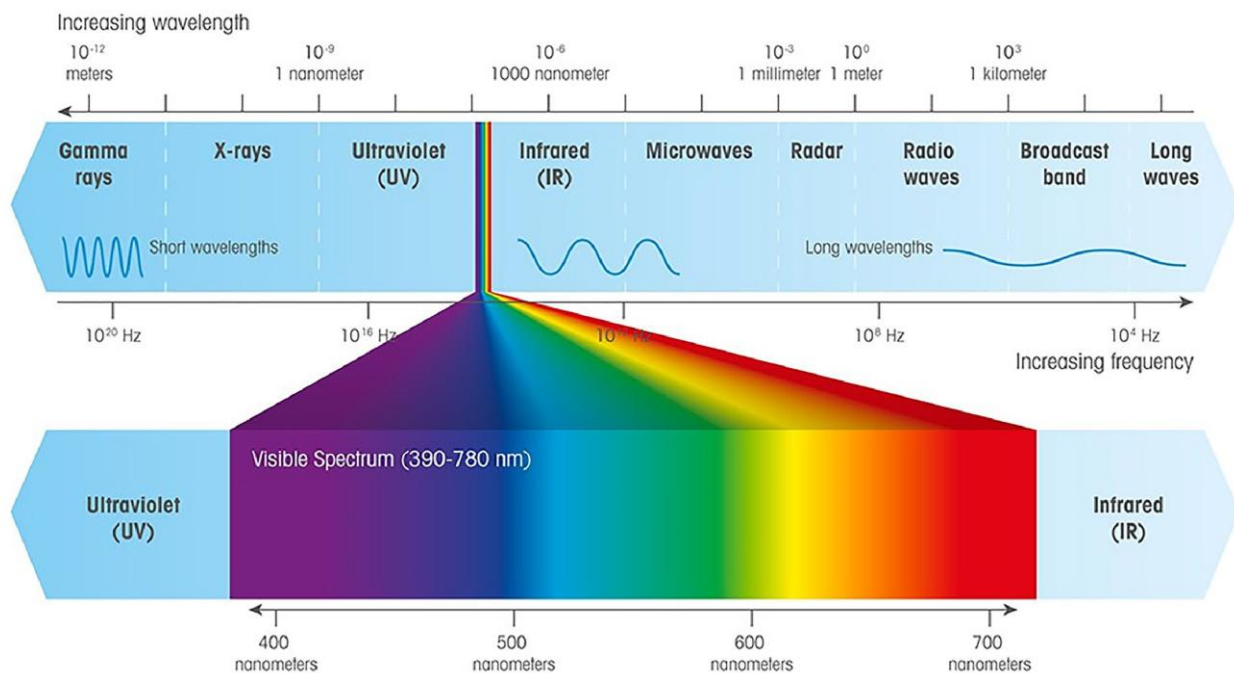
Το χρώμα που αντιλαμβανόμαστε από ένα αντικείμενο καθορίζεται από τα μήκη κύματος που αντανακλά. Ένα αντικείμενο που αντανακλά φως σχετικά ομοιόμορφα σε όλα τα ορατά μήκη κύματος φαίνεται λευκό, ενώ ένα αντικείμενο που αντανακλά κυρίως φως σε περιορισμένο εύρος μήκους κύματος εμφανίζει συγκεκριμένο χρώμα, π.χ. τα πράσινα αντικείμενα αντανακλούν κυρίως φως μεταξύ 500–570 nm και απορροφούν τα υπόλοιπα.

Το μονοχρωματικό φως [2], το οποίο χαρακτηρίζεται από απουσία χρώματος, έχει μόνο ένταση, η οποία γίνεται αντιληπτή μέσω διαφορών στους τόνους του γκρι, από το μαύρο έως το λευκό. Το εύρος αυτών των τιμών είναι γνωστό ως κλίμακα του γκρι.

Σε αντίθεση με το χρωματικό φως, επιπλέον της συχνότητας, χαρακτηρίζεται από τρεις επιπλέον ιδιότητες [2]: ακτινοβολία (radiance), η φωτεινότητα (luminance) και η λαμπρότητα (brightness):

- **Ακτινοβολία:** Η συνολική ποσότητα ενέργειας που εκπέμπεται από μια φωτεινή πηγή, με μονάδα μέτρησης τα Watt (W).
- **Φωτεινότητα:** Το μέρος της ακτινοβολίας που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής, μετράτε σε lumens (lm).
- **Λαμπρότητα:** Η υποκειμενική αίσθηση φωτεινότητας όπως την αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος, η οποία είναι πρακτικά αδύνατο να μετρηθεί.

Η λαμπρότητα περιλαμβάνει την αρωματική μορφή της έντασης του φωτός και αποτελεί έναν από τους βασικούς παράγοντες για την περιγραφή της αίσθησης του χρώματος.



Σχήμα 3. 6: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και σε μεγέθυνση η ορατή περιοχή του φάσματος [3].

### 3.1.4 Χρωματικοί Χώροι

Στην ψηφιακή επεξεργασία εικόνας χρησιμοποιούνται διάφοροι χρωματικοί χώροι [2,4-7], ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής και τον τρόπο με τον οποίο τα χρώματα πρόκειται να αναλυθούν ή να απεικονιστούν. Ένα από τα σημαντικότερα συστήματα αναφοράς είναι το διάγραμμα χρωματικότητας της CIE, το οποίο αποτελεί το πρότυπο σύστημα χρωματικών συντεταγμένων που ορίστηκε από τη Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) το 1931 και καλύπτει όλο το φάσμα του ορατού φως, επιτρέποντας την ποσοτική αναπαράσταση όλων των χρωμάτων που μπορούν να γίνουν αντιληπτά από τον ανθρώπινο οφθαλμό. Το σύστημα αυτό βασίζεται στην ανθρώπινη οπτική αντίληψη και τη φασματική απόκριση των κωνίων του ματιού, τα οποία μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες αντίληψης που αντιστοιχούν κατά προσέγγιση στα χρώματα κόκκινο, πράσινο και μπλε. Περίπου το 65% όλων των κωνίων είναι ευαίσθητα στο κόκκινο φως, το 33% στο πράσινο, ενώ μόνο το 2% στο μπλε, με τα κωνία μπλε να είναι τα πιο ευαίσθητα. Τα χρώματα μπορούν να ποσοτικοποιηθούν μέσω των τριχρωματικών τιμών (tristimulus values)  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , οι οποίες αντιπροσωπεύουν τις ποσότητες κόκκινου, πράσινου και μπλε φωτός που απαιτούνται για την αναπαραγωγή ενός συγκεκριμένου χρώματος. Στη συνέχεια, ένα χρώμα μπορεί να οριστεί ως εξής:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad \text{και} \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z} \quad (1)$$

όπου ισχύει πάντα ότι

$$x + y + z = 1 \quad (2)$$

Αυτό επιτρέπει την απεικόνιση των χρωμάτων σε ένα δισδιάστατο γράφημα, γνωστό ως διάγραμμα χρωματικότητας CIE  $xy$  (Σχήμα 3.7), στο οποίο η σύνθεση των χρωμάτων εμφανίζεται ως συνάρτηση των μεταβλητών  $x$  (που αντιστοιχεί στο κόκκινο), και  $y$  (που αντιστοιχεί στο πράσινο),

και για κάθε τιμή αυτών των δύο η τιμή του  $z$  (που αντιστοιχεί στο μπλε), υπολογίζεται από την εξίσωση (2) ως  $z = 1 - (x + y)$ .

Στο περίγραμμα του διαγράμματος χρωματικότητας (Σχήμα 3.7), απεικονίζονται τα καθαρά (φασματικά) χρώματα του ορατού φωτός, εκτεινόμενα περίπου από τα 380 nm (ιώδες) έως τα 780 nm (κόκκινο), ενώ στο εσωτερικό του βρίσκονται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί αυτών. Κάθε σημείο εντός του διαγράμματος αντιστοιχεί σε έναν συγκεκριμένο χρωματικό τόνο, ο οποίος μπορεί να προκύψει από τον συνδυασμό δύο ή περισσότερων χρωμάτων του περιγράμματος. Οι χρωματικοί συνδυασμοί δύο σημείων του διαγράμματος αναπαρίστανται από το ευθύγραμμο τμήμα που τα ενώνει, γεγονός που αποτυπώνει τη γραμμική μίξη των αντίστοιχων χρωμάτων. Στο κεντρικό τμήμα του διαγράμματος εντοπίζονται οι ουδέτεροι τόνοι, με το λευκό να αντιστοιχεί σε ισοκατανομή όλων των μηκών κύματος.

Επιπλέον, η θέση ενός χρώματος στο διάγραμμα σχετίζεται με τον κορεσμό του, καθώς τα σημεία που βρίσκονται κοντά στο περίγραμμα αντιστοιχούν σε πλήρως κορεσμένα, έντονα χρώματα, ενώ όσο πλησιάζουμε προς το κέντρο ο κορεσμός μειώνεται, οδηγώντας σε πιο ουδέτερες αποχρώσεις. Ο βαθμός του κορεσμού είναι αντιστρόφως ανάλογος με την ποσότητα λευκού φωτός που έχει προστεθεί στο χρώμα.

Με βάση τα παραπάνω, έχουν αναπτυχθεί διάφοροι χρωματικοί χώροι για την πρακτική αναπαράσταση και επεξεργασία των χρωμάτων, καθώς το διάγραμμα χρωματικότητας της CIE, αν και αποτελεί θεμελιώδες σύστημα αναφοράς, δεν είναι κατάλληλο για άμεση υπολογιστική χρήση. Οι χρωματικοί χώροι επιτρέπουν την αποδοτική αριθμητική αναπαράσταση των χρωμάτων και διευκολύνουν διαδικασίες όπως η απεικόνιση, η ανάλυση και η τμηματοποίηση εικόνων. Πιο συγκεκριμένα, ορισμένοι από τους πλέον διαδεδομένους χρωματικούς χώρους είναι οι εξής:

- Το **RGB** αποτελείται από τρία κανάλια (**R** - κόκκινο, **G** - πράσινο και **B** - μπλε), χρησιμοποιείται κυρίως σε ψηφιακές οθόνες και βασίζεται στην προσθετική σύνθεση χρωμάτων, όπου τα χρώματα προκύπτουν από την εκπομπή φωτός. Πιο συγκεκριμένα, ένα εικονοστοιχείο (pixel) αποτελείται από τα τρία βασικά χρωματικά κανάλια του RGB: όταν είναι απενεργοποιημένο, βλέπουμε μαύρο (απουσία φωτός, τιμές RGB = 0,0,0), ενώ με την κατάλληλη αύξηση της έντασης φωτός σε κάθε κανάλι ξεχωριστά, το ανθρώπινο μάτι αντιλαμβάνεται τη σύνθεσή τους ως το επιθυμητό χρώμα. Τέλος, το άσπρο προκύπτει από την πλήρη εκπομπή και ισορροπημένη σύνθεση όλων των καναλιών (RGB = 1,1,1).
- Το **CMYK** αποτελείται από τέσσερα κανάλια (**C** - κυανό, **M** - ματζέντα, **Y** - κίτρινο και **K** - μαύρο), χρησιμοποιείται κυρίως σε συσκευές εκτύπωσης και βασίζεται στην αφαιρετική σύνθεση χρωμάτων. Σε αντίθεση με το RGB, το οποίο ξεκινά από μαύρο (απουσία φωτός) και χρησιμοποιεί τα πρωτεύοντα χρώματα φωτός (κόκκινο, πράσινο, μπλε), προσθέτοντας φως για την αναπαράσταση των χρωμάτων, η εκτύπωση CMYK λειτουργεί με αντίστροφη λογική. Ξεκινά από λευκό (πλήρης ανάκλαση φωτός) και προσθέτει χρώματα που αφαιρούν φως, δηλαδή τα δευτερεύοντα χρώματα μελανιών:
  - **Κυανό - C:** συμπληρωματικό χρώμα κόκκινου - απορροφά το κόκκινο φως και αντανακλά τα μήκη κύματος του πράσινου και του μπλε, τα οποία γίνονται ορατά.
  - **Ματζέντα - M:** συμπληρωματικό χρώμα πράσινου - απορροφά το πράσινο φως και αντανακλά τα μήκη κύματος του κόκκινου και του μπλε
  - **Κίτρινο - Y:** συμπληρωματικό χρώμα μπλε - απορροφά το μπλε φως και αντανακλά τα μήκη κύματος του κόκκινου και του πράσινου.

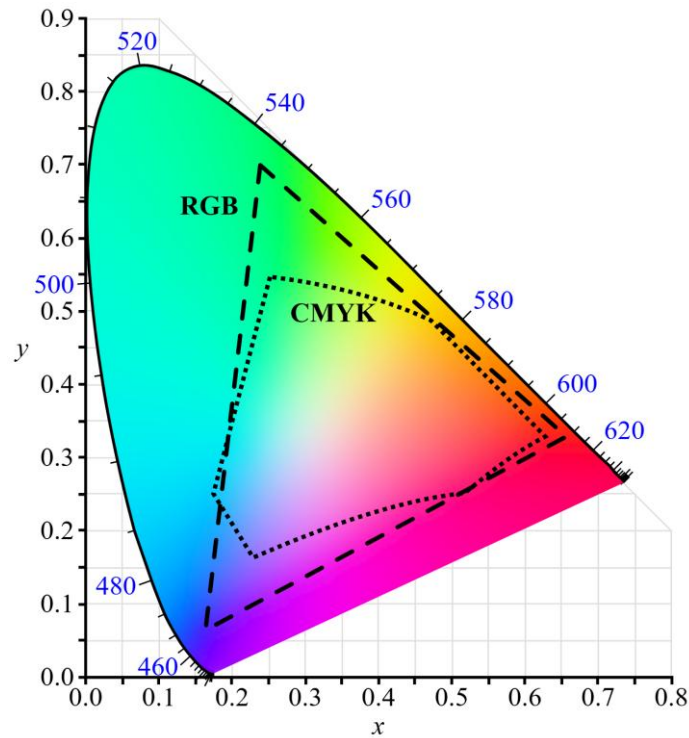
Με την κατάλληλη εφαρμογή στρωμάτων μελανιών από τα δευτερεύοντα χρώματα, επιτυγχάνεται η επιθυμητή απόχρωση μέσω επιλεκτικής απορρόφησης φωτός. Τέλος, το μαύρο - **K** προστίθεται για τη δημιουργία βαθιών σκιών, τη βελτίωση της απόδοσης και την οικονομία μελανιών, αποφεύγοντας το ατελές μείγμα **C+M+Y**.

- Το **HSI** (**H** απόχρωση, **S** κορεσμός και **I** ένταση) επιτρέπει την αναπαράσταση των χρωμάτων με τρόπο που προσεγγίζει την ανθρώπινη οπτική αντίληψη. Σε αντίθεση με το RGB ή το CMYK, που βασίζονται σε τεχνικές προσθετικής ή αφαιρετικής σύνθεσης φωτός, ο HSI διαχωρίζει τα οπτικά χαρακτηριστικά ενός χρώματος σε τρία διακριτά στοιχεία:
  - **Απόχρωση - H:** αντιπροσωπεύει το χρώμα όπως το αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι (π.χ. κόκκινο, πράσινο, μπλε). Η απόχρωση εκφράζεται συνήθως ως γωνία σε κυκλικό χρωματικό διάγραμμα, με  $0^\circ$  να αντιστοιχεί στο κόκκινο,  $120^\circ$  στο πράσινο και  $240^\circ$  στο μπλε.
  - **Κορεσμός - S:** δείχνει την ένταση ή καθαρότητα του χρώματος, δηλαδή πόσο «πλούσιο» ή «αχνό» φαίνεται. Ένα χρώμα με υψηλό κορεσμό φαίνεται έντονο και ζωηρό, ενώ με χαμηλό κορεσμό γίνεται πιο γκριζωπό ή αχνό.
  - **Ένταση - I:** αντιστοιχεί στη φωτεινότητα ή φωτισμό του χρώματος, ανεξάρτητα από την απόχρωση και τον κορεσμό. Υψηλή ένταση σημαίνει φωτεινό χρώμα, ενώ χαμηλή ένταση πιο σκοτεινό.

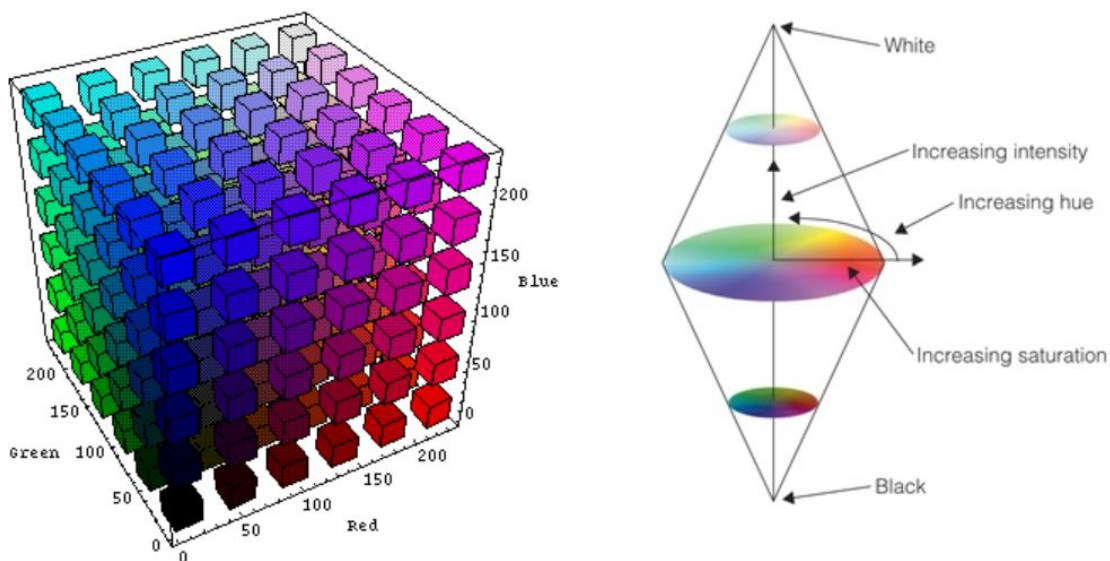
Η διαχωριστική αυτή προσέγγιση καθιστά τον HSI ιδιαίτερα χρήσιμο σε εφαρμογές ανάλυσης εικόνας, όπως η ανίχνευση αντικειμένων, η τμηματοποίηση περιοχών με βάση το χρώμα και η αναγνώριση χρωματικών προτύπων. Ο HSI είναι πιο κοντά στον τρόπο που ο ανθρώπινος εγκέφαλος επεξεργάζεται τα χρώματα, καθώς διαχωρίζει τη χρωματική πληροφορία από την φωτεινότητα, διευκολύνοντας την επεξεργασία εικόνων υπό διαφορετικές συνθήκες φωτισμού.

Η κατανόηση των ιδιοτήτων κάθε χρωματικού χώρου επιτρέπει την ορθή επιλογή του για τη βέλτιστη επεξεργασία και ανάλυση της χρωματικής πληροφορίας σε διαφορετικά πλαίσια εφαρμογών. Πέραν των βασικών χρωματικών χώρων RGB, HSI και CMYK, ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζουν και άλλοι χώροι, όπως οι CMY, CIELAB (ή Lab), YCbCr/YUV, HSV και HSL, οι οποίοι αξιοποιούνται ευρέως σε εξειδικευμένες εφαρμογές, ανάλογα με τις απαιτήσεις αναπαράστασης και επεξεργασίας του χρώματος.

Στο σχήμα 3.7 απεικονίζεται το διάγραμμα χρωματικότητας CIE, το οποίο περιλαμβάνει το σύνολο των ορατών χρωμάτων. Το μαύρο διακεκομμένο τρίγωνο αντιπροσωπεύει προσεγγιστικά τη γκάμα χρωμάτων που μπορεί να αναπαραχθεί σε μια οθόνη υπολογιστή στον χρωματικό χώρο RGB, ενώ το πολύγωνο με τις τελείες αποδίδει τη γκάμα χρωμάτων του CMYK, όπως αυτή εφαρμόζεται σε συσκευές έγχρωμης εκτύπωσης. Οι περιοχές της γκάμας RGB που εκτείνονται εκτός της αντίστοιχης γκάμας του CMYK αντιστοιχούν σε χρώματα τα οποία δεν μπορούν να αναπαραχθούν πλήρως κατά τη μετατροπή από RGB σε CMYK και συνεπώς υφίστανται αλλοιώσεις [5].



**Σχήμα 3. 7:** Το διάγραμμα χρωματικότητας CIE<sup>1</sup> xy μαζί με τις περιοχές για τους χρωματικούς χώρους RGB (διακεκομμένο τρίγωνο) και CMYK (πολύγωνο με τελείες).



**Σχήμα 3. 8:** Απεικόνιση των χρωματικών χώρων RGB<sup>2</sup> (αριστερά) και HSI<sup>3</sup> (δεξιά).

Το σχήμα 3.8 απεικονίζει τους χρωματικούς χώρους RGB (αριστερά) και HSI (δεξιά). Το μοντέλο RGB αναπαρίσταται ως κύβος σε ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, όπου οι άξονες αντιστοιχούν στα τρία βασικά χρώματα (Κόκκινο, Πράσινο, Μπλε) με τιμές από 0 έως 255. Αντίστοιχα, στο μοντέλο HSI, τα χρώματα οργανώνονται με βάση την απόχρωση **H** (γωνιακή θέση), τον κορεσμό **S** (ακτινική απόσταση από τον κεντρικό άξονα) και την ένταση **I** (κατακόρυφη θέση μεταξύ μαύρου και λευκού).

<sup>1</sup> CIE  
<sup>2</sup> RGB  
<sup>3</sup> HSI

### Μετατροπή από RGB σε CMYK [2]:

Για την εν λόγω μετατροπή χρησιμοποιείται ο ενδιάμεσος χρωματικός χώρος CMY, ο οποίος αντιστοιχεί στον CMYK χωρίς το κανάλι του μαύρου χρώματος  $K$ . Η μετατροπή του RGB με κανονικοποιημένες τιμές στο εύρος  $[0, 1]$  σε CMYK γίνεται με την εξής εξίσωση:

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

Στην πράξη όταν γίνεται εκτύπωση με τον χρωματικό χώρο CMY, το μαύρο που αποτελεί συνδυασμό των 3 χρωμάτων εμφανίζεται ως θολωμένο. Για αυτό τον λόγο, προκειμένου να έχουμε έντονο μαύρο χρώμα το προσθέτουμε στο μοντέλο σαν ξεχωριστό χρώμα (δηλ. CMYK). Επομένως, όταν αναφερόμαστε στην τετράχρωμη εκτύπωση αναφερόμαστε στα τρία χρώματα του χρωματικού μοντέλου CMY περιλαμβανομένου και του μαύρου. Η μετατροπή από CMY σε CMYK γίνεται ως εξής:

$$K = \begin{cases} 1, & \text{αν } C = 0, M = 0 \text{ και } Y = 0 \\ \min(C, M, Y), & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (2)$$

και

$$\begin{aligned} C &= (C - K)/(1 - K) \\ M &= (M - K)/(1 - K) \\ Y &= (Y - K)/(1 - K) \end{aligned} \quad (3)$$

Δηλαδή το καθαρό μαύρο χρώμα το έχουμε όταν δεν συνεισφέρουν καθόλου τα άλλα τρία χρώματα. Για παράδειγμα έχουμε τις τιμές  $C = 0.6$ ,  $M = 0.3$  και  $Y = 0.2$  τότε:

$$\begin{aligned} K &= \min(0.6, 0.3, 0.2) = 0.2 \\ C &= \frac{0.6 - 0.2}{1 - 0.2} = 0.5 \\ M &= \frac{0.3 - 0.2}{1 - 0.2} = 0.125 \\ Y &= \frac{0.2 - 0.2}{1 - 0.2} = 0 \end{aligned}$$

και το αντίστροφο CMYK σε CMY:

$$\begin{aligned} C &= C * (1 - K) + K \\ M &= M * (1 - K) + K \\ Y &= Y * (1 - K) + K \end{aligned} \quad (4)$$

και από την εξίσωση (1) μετατρέπουμε το CMY σε RGB.

### Μετατροπή από RGB σε HSI [2]:

Δεδομένου των κανονικοποιημένων τιμών RGB στο εύρος [0, 1], η τιμή της απόχρωσης  $H$  υπολογίζεται ως εξής:

$$H = \begin{cases} \theta, & \text{αν } B \leq G \\ 360^\circ - \theta, & \text{αν } B > G \end{cases} \quad (5)$$

όπου η γωνία  $\theta$  ορίζεται ως εξής:

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right) \quad (6)$$

Η τιμή του κορεσμός  $S$  δίνεται από:

$$S = 1 - \frac{3 [\min(R, G, B)]}{(R + G + B)} \quad (7)$$

Τέλος, η τιμή της έντασης  $I$  υπολογίζεται ως εξής

$$I = \frac{1}{3} (R + G + B) \quad (8)$$

### Και το αντίστροφο:

Η μετατροπή στον χρωματικό χώρο RGB είναι σχετικά πιο πολύπλοκη, καθώς οι αντίστοιχες εξισώσεις εξαρτώνται από την τιμή της απόχρωσης  $H$ . Υπάρχουν τρεις βασικοί τομείς ενδιαφέροντος, καθένας εκ των οποίων αντιστοιχεί σε διαστήματα  $120^\circ$  που καθορίζουν τα πρωτεύοντα χρώματα. Δεδομένου ότι οι τιμές του HSI ορίζονται στο εύρος [0, 1], η τιμή της απόχρωσης  $H$  πολλαπλασιάζεται με  $360^\circ$ , ώστε να επαναφερθεί στο τυπικό εύρος  $[0^\circ, 360^\circ]$ .

- **RG τμήμα** ( $0^\circ \leq H < 120^\circ$ ):

$$R = I \left[ 1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right] \quad (9)$$

$$G = 3I - (R + B) \quad (10)$$

και

$$B = I(1 - S)$$

- **GB τμήμα** ( $120^\circ \leq H < 240^\circ$ ) με  $H = H - 120^\circ$ :

$$R = I(1 - S) \quad (11)$$

$$G = I \left[ 1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right] \quad (12)$$

και

$$B = 3I - (R + G) \quad (13)$$

- **BR τμήμα** ( $240^\circ \leq H < 360^\circ$ ) με  $H = H - 240^\circ$ :

$$R = 3I - (R + B) \quad (14)$$

$$G = I(1 - S) \quad (15)$$

και

$$B = I \left[ 1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right] \quad (16)$$

### 3.1.5 Αναγνώριση Χρώματος

Συνήθως, αφού εντοπιστεί ένα αντικείμενο σε μια εικόνα μέσω κατάλληλων αλγορίθμων επεξεργασίας, σε πολλές εφαρμογές είναι κρίσιμο να προσδιοριστούν και τα χρωματικά του χαρακτηριστικά. Το αντικείμενο αντιπροσωπεύεται από ένα σύνολο εικονοστοιχείων (pixels), τα χρώματα των οποίων μπορούν να αναλυθούν με βάση τις τιμές τους σε έναν συγκεκριμένο χρωματικό χώρο, επιτρέποντας την εξαγωγή ποσοτικών και ποιοτικών πληροφοριών για το συνολικό χρώμα του αντικειμένου.

Η εξαγωγή παλέτας χρωμάτων αναδεικνύει δύο βασικά ζητήματα [3]:

- **Επιλογή χρωματικού χώρου (color space):** Η επιλογή του κατάλληλου χρωματικού χώρου εξαρτάται άμεσα από τις απαιτήσεις και τους στόχους της εκάστοτε εφαρμογής. Για παράδειγμα, ο χώρος RGB χρησιμοποιείται ευρέως σε συστήματα απεικόνισης και οθόνες, καθώς βασίζεται στον τρόπο με τον οποίο παράγεται το φως, ενώ οι χώροι HSV και HSI προτιμώνται σε εφαρμογές ανίχνευσης και τμηματοποίησης χρωμάτων, λόγω του διαχωρισμού της απόχρωσης από τη φωτεινότητα. Αντίστοιχα, ο χρωματικός χώρος CMYK αξιοποιείται κυρίως σε εφαρμογές εκτύπωσης, καθώς σχετίζεται άμεσα με τη διαδικασία απόδοσης χρώματος μέσω μελανιών.
- **Στρατηγική δημιουργίας παλέτας:** Αφού καθοριστεί ο χρωματικός χώρος, πρέπει να επιλεγεί μέθοδος εξαγωγής των αντιπροσωπευτικών χρωμάτων της εικόνας, όπως η μέση τιμή, η ανάλυση ιστογραμμάτων ή τεχνικές ομαδοποίησης (π.χ. k-means). Μέσω αυτών των στρατηγικών επιτυγχάνεται η ανάδειξη των κυρίαρχων χρωμάτων που χαρακτηρίζουν το αντικείμενο ή την εικόνα.

Κάποιες βασικές προσεγγίσεις για τον υπολογισμό του χρώματος ενός αντικειμένου, όταν αυτό παρουσιάζει σχετικά ομοιόμορφο ή παραπλήσιο χρώμα στα εικονοστοιχεία του, είναι ο υπολογισμός της μέσης τιμής ή της κυρίαρχης τιμής χρώματος. Πιο συγκεκριμένα [3,8]:

- Η **μέση τιμή χρώματος** υπολογίζεται λαμβάνοντας το μέσο όρο των τιμών κάθε χρωματικού καναλιού για όλα τα εικονοστοιχεία που ανήκουν στο αντικείμενο. Αυτό δίνει μια συνολική ακριβή εκτίμηση που αναπαριστά το γενικό χρωματικό τόνο του αντικειμένου.
- Η **κυρίαρχη τιμή χρώματος** είναι αυτή που εμφανίζεται με τη μεγαλύτερη συχνότητα στα εικονοστοιχεία του αντικειμένου και μπορεί να είναι πιο αντιπροσωπευτική, ειδικά όταν υπάρχουν μικρές διαφοροποιήσεις ή θόρυβος. Αρχικά, εξάγονται όλα τα εικονοστοιχεία του αντικειμένου και δημιουργούνται τρία μεμονωμένα ιστόγραμμα για κάθε κανάλι RGB, τα οποία συγχωνεύονται σε ένα ενιαίο ιστόγραμμα. Το χρώμα με τη μεγαλύτερη συχνότητα στο συγχωνευμένο ιστόγραμμα θεωρείται το κυρίαρχο χρώμα.

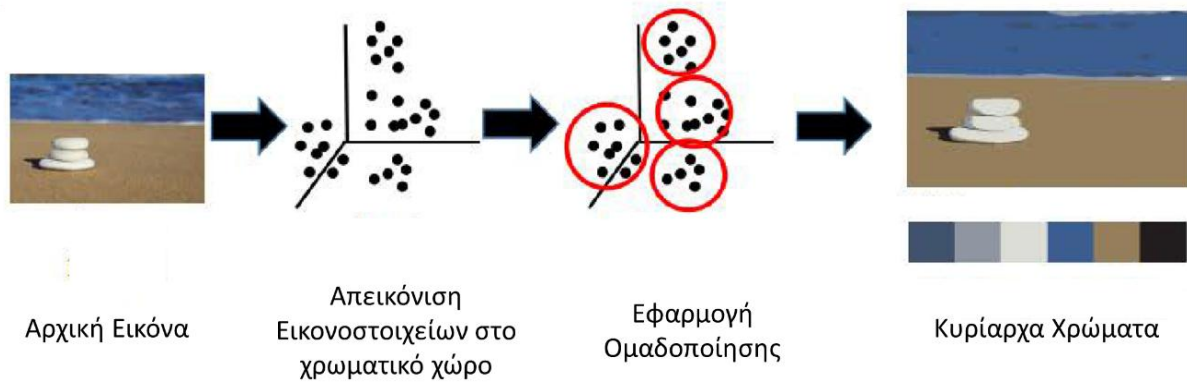
Σε περίπτωση που απαιτείται, το μέσο ή το κυρίαρχο χρώμα κάθε αντικειμένου μπορεί να αντιστοιχηθεί σε μια άλλη προκαθορισμένη παλέτα βασικών χρωμάτων. Σε αυτή την περίπτωση, υπολογίζεται η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ του χρώματος του αντικειμένου και κάθε χρώματος της παλέτας, και επιλέγεται το χρώμα με τη μικρότερη απόσταση ως το πιο κοντινό αντιπροσωπευτικό χρώμα.

Η χρήση αυτών των βασικών μεθόδων είναι ιδιαίτερα αποδοτική και γρήγορη για αντικείμενα με ομοιόμορφο χρώμα, όπως για παράδειγμα ένα κόκκινο αυτοκίνητο ή ένα μπλε φόντο, και μπορεί να εφαρμοστεί απευθείας σε χρωματικούς χώρους όπως ο RGB.

Μια εναλλακτική προσέγγιση για την εξαγωγή βασικών χρωμάτων είναι η χρήση μεθόδων ομαδοποίησης (clustering), με στόχο την κατηγοριοποίηση των χρωμάτων της εικόνας σε συγκεκριμένες ομάδες, όπου κάθε ομάδα αντιπροσωπεύει ένα βασικό χρώμα ή απόχρωση που κυριαρχεί στην εικόνα. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται μέθοδοι όπως [3]:

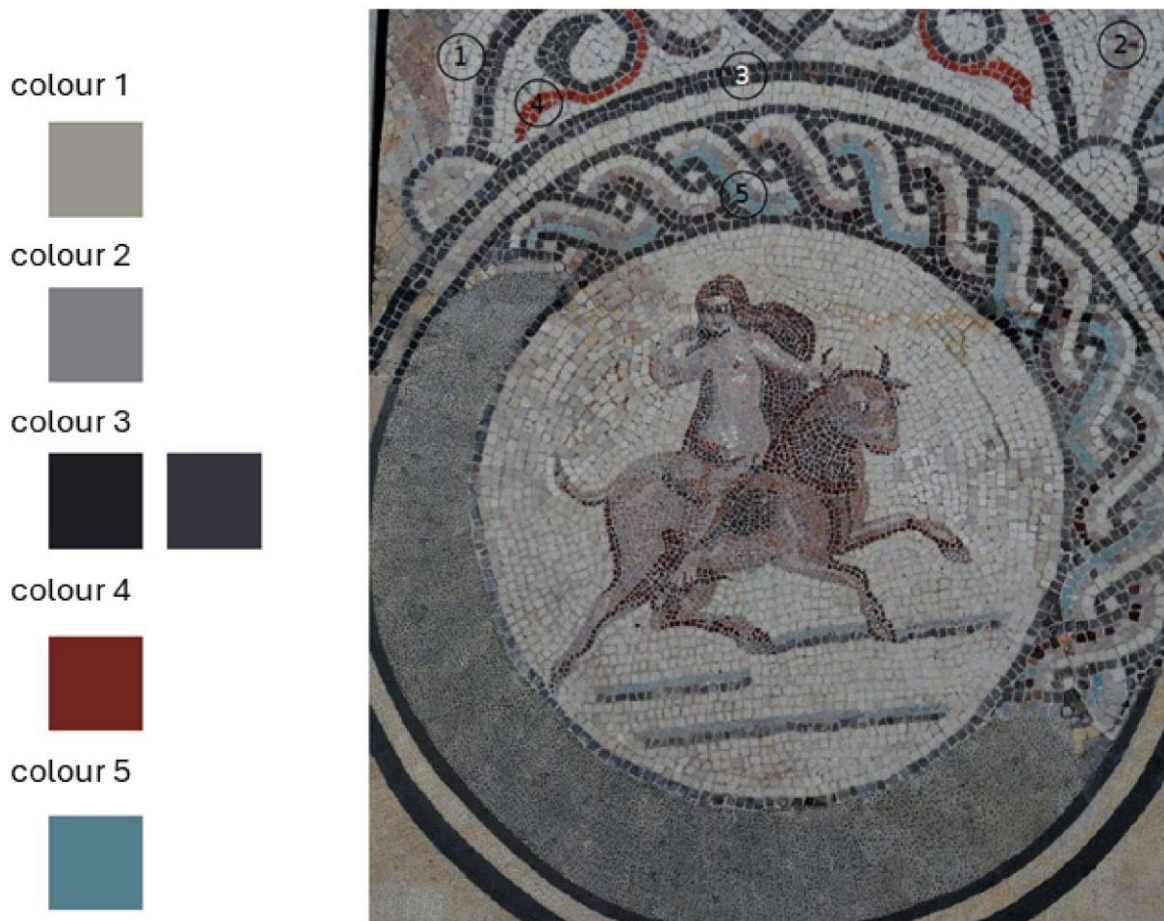
- **Ο αλγόριθμος *k*-means:** Πρόκειται για μια μέθοδο μη-επιβλεπόμενης (unsupervised) μάθησης που διαχωρίζει τα δεδομένα σε  $k$  προκαθορισμένες ομάδες (clusters) με βάση την ομοιότητα των χαρακτηριστικών τους, στην προκειμένη περίπτωση τα χρώματα των εικονοστοιχείων. Αφού όλα τα εικονοστοιχεία στον χρωματικό χώρο έχουν αντιστοιχιστεί στις  $k$  ομάδες, το μέσο χρώμα κάθε ομάδας επιλέγεται ως αντιπροσωπευτικό χρώμα για την τελική παλέτα. Αν και χρησιμοποιείται ευρέως, ο αλγόριθμος είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος στην επιλογή των αρχικών κέντρων των ομάδων, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικά αποτελέσματα σε κάθε εκτέλεσή του, και επιπλέον επηρεάζεται σημαντικά από ακραίες τιμές.
- **Ο αλγόριθμος Fuzzy c-means:** Παρόμοιος με τον *k*-means, αλλά αντί να αναθέτει κάθε εικονοστοιχείο σε μία μόνο ομάδα, το Fuzzy c-means επιτρέπει στα pixels να ανήκουν σε πολλές ομάδες με διαφορετικούς βαθμούς συμμετοχής (membership values). Αυτό είναι χρήσιμο όταν τα χρώματα μεταβαίνουν ομαλά ή υπάρχουν περιοχές με ανάμεικτα χρώματα.
- **Αυτο-Οργανούμενοι Χάρτες (Self-Organizing Maps, SOM):** Πρόκειται για ένα νευρωνικό δίκτυο που εκπαιδεύεται ώστε να χαρτογραφεί δεδομένα υψηλής διάστασης σε ένα δισδιάστατο πλέγμα. Κάθε νευρώνας του πλέγματος αντιπροσωπεύει μια βασική απόχρωση, και τα εικονοστοιχεία της εικόνας αντιστοιχίζονται στον πιο κοντινό νευρώνα. Τα SOM είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την οπτικοποίηση και την ανίχνευση δομών σε πολύπλοκα χρωματικά σύνολα.

Οι σύγχρονες μέθοδοι αξιοποιούν τεχνικές βαθιάς μάθησης [3, 9-12], όπως παραλλαγές των γνωστών μοντέλων: συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (convolutional neural networks, CNNs), γεννητικά ανταγωνιστικά δίκτυα (generative adversarial networks, GANs), και αυτοκωδικοποιητές (autoencoders, AE). Αυτά τα μοντέλα έχουν την δυνατότητα να μαθαίνουν πολύπλοκες αναπαραστάσεις από τα δεδομένα, επιτρέποντας την εκμάθηση σύνθετων χρωματικών σχέσεων και την παραγωγή πιο ακριβών και ποικίλων χρωματικών παλετών. Παρά τα πλεονεκτήματα των μεθόδων βαθιάς μάθησης, εξακολουθούν να υφίστανται προκλήσεις, όπως η εξάρτηση από την ποιότητα των δεδομένων, την αυξημένη υπολογιστική πολυπλοκότητα, καθώς και τον εκτενή χρόνο εκπαίδευσης. Αντίθετα, οι παραδοσιακές τεχνικές ομαδοποίησης παραμένουν χρήσιμες λόγω της απλότητας και της ταχύτητάς τους, επιτυγχάνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα σε εικόνες με ομοιογενείς χρωματικές περιοχές.

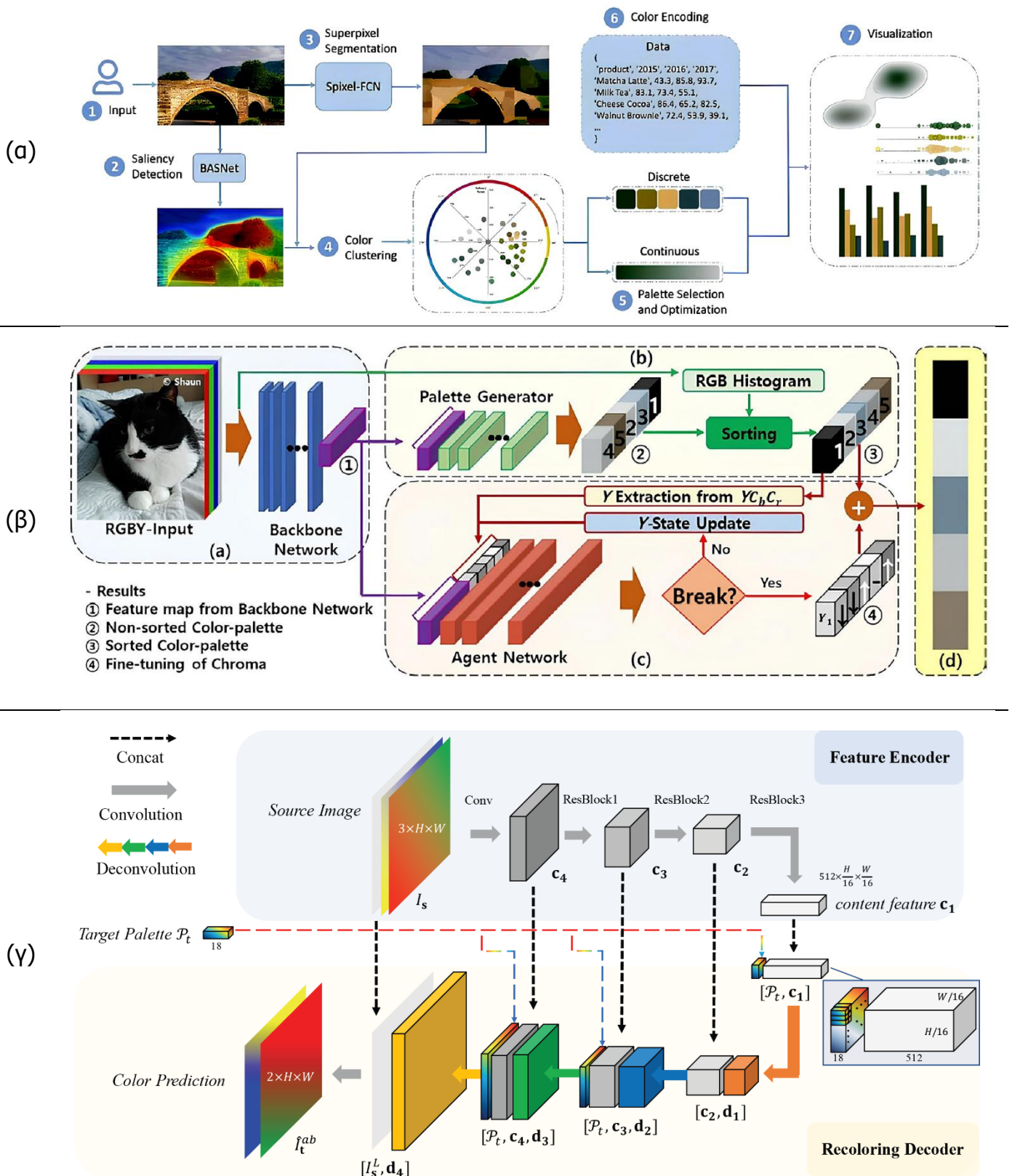


**Σχήμα 3. 8:** Ένα παράδειγμα εφαρμογής  $k$ -means για την εξαγωγή των κυρίαρχων χρωμάτων [8].

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ψηφιακής ανάλυσης των κύριων χρωμάτων του μωσαϊκού με τη σκηνή της αρπαγής της Ευρώπης, το οποίο εκτίθεται στο Universalmuseum Joanneum στο Graz (2024) [13]. Η ανάλυση βασίζεται στην επεξεργασία των ψηφιακών εικόνων του μωσαϊκού και στον προσδιορισμό των κυρίαρχων χρωματικών τόνων σε κάθε περιοχή του έργου, επιτρέποντας την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την παλέτα που χρησιμοποιήθηκε από τον καλλιτέχνη, καθώς και την οπτική και αισθητική δομή της σύνθεσης.



**Σχήμα 3. 9:** Αναγνώριση των αντιπροσωπευτικών χρωμάτων του μωσαϊκού με τη σκηνή της αρπαγής της Ευρώπης [13].



**Σχήμα 3. 10:** Υλοποίηση εξαγωγής παλέτας με χρήση παραλλαγών γνωστών μοντέλων: (α) συνελκτικών νευρωνικών δικτύων (CNNs) [10], (β) γεννητικών ανταγωνιστικών δικτύων (GANs) [11] και (γ) αυτοκωδικοποιητών (AE) [9].

### 3.1.6 Συμπύεση Εικόνας

Σημαντικό ρόλο στην αναγνώριση χρώματος διαδραματίζει και η συμπύεση που έχει υποστεί η εικόνα που πρόκειται να επεξεργαστούμε [2,14-16]. Η διαδικασία ψηφιακής αναγνώρισης χρώματος ξεκινά από το φως που εκπέμπεται ή αντανακλάται από ένα αντικείμενο και καταγράφεται από τον αισθητήρα της κάμερας, ο οποίος αντιλαμβάνεται ένα τεράστιο εύρος πληροφοριών σχετικά με τη φωτεινότητα και τις χρωματικές αποχρώσεις. Λόγω του περιορισμένου μεγέθους των αρχείων και της ανάγκης για αποτελεσματική αποθήκευση και μετάδοση, οι πληροφορίες αυτές υπόκεινται σε συμπύεση, κατά την οποία η αρχική πληθώρα δεδομένων μειώνεται, διατηρώντας κυρίως τις πιο σημαντικές χρωματικές και φωτεινές λεπτομέρειες. Μερικοί από τους πιο γνωστούς τύπους αρχείων ανά κατηγορία είναι:

#### Κατά τη λήψη με την κάμερα:

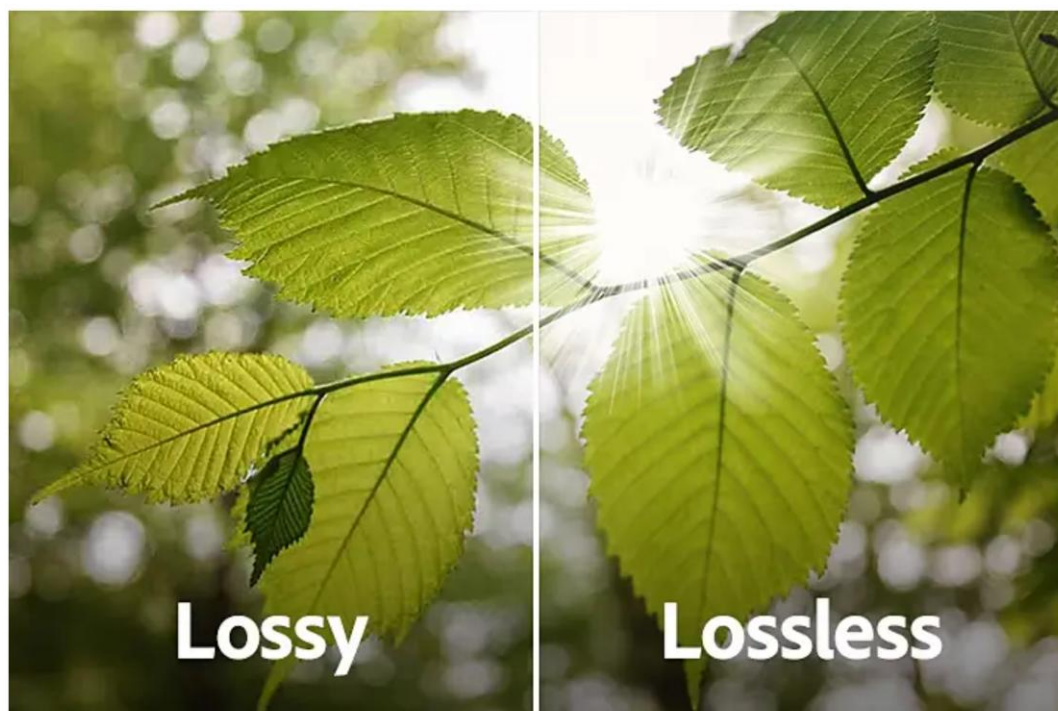
Τα αρχεία RAW (π.χ. .CR3 για Canon, .NEF για Nikon, .ARW για Sony), χρησιμοποιούνται για μέγιστη ποιότητα και ευελιξία στην επεξεργασία, καθώς καταγράφουν όλα τα δεδομένα του αισθητήρα χωρίς απώλειες (lossless), διατηρώντας τη μέγιστη πιστότητα των χρωμάτων και των λεπτομερειών του φωτός. Αντίθετα, τα αρχεία JPEG (Joint Photographic Experts Group, .JPG), συχνά επιλέγονται για μικρότερα αρχεία απευθείας από την κάμερα, όταν δεν απαιτείται εκτεταμένη επεξεργασία, πρόκειται για μορφή με απώλεια δεδομένων (lossy). Η συμπύεση σε μορφή JPEG αξιοποιεί τις ιδιαιτερότητες της ανθρώπινης οπτικής αντίληψης, απορρίπτοντας πληροφορίες που θεωρούνται λιγότερο αντιληπτές, όπως μικρές διαφορές χρώματος ή πολύ λεπτές διαβαθμίσεις στην ένταση και τον κορεσμό, μπορεί να χαθούν ή να εξομαλυνθούν, με αποτέλεσμα τη μείωση της πιστότητας της εικόνας χωρίς εμφανή οπτική αλλοίωση.

#### Μορφές για επεξεργασία και αρχειοθέτηση:

Η μορφή TIFF (Tagged Image File Format, .TIF) χρησιμοποιείται ευρέως σε εργασίες επεξεργασίας υψηλής ανάλυσης και επαγγελματικές εκτυπώσεις, καθώς υποστηρίζει βάθος χρώματος 16-bit και συμπύεση χωρίς απώλειες δεδομένων (lossless). Αντίστοιχα, το αρχείο PSD (Photoshop Document, .PSD) αποτελεί το εξειδικευμένο πρότυπο του λογισμικού Adobe Photoshop, επιτρέποντας τη διατήρηση των επιπέδων (layers), των масκών και λοιπών παραμέτρων επεξεργασίας, γεγονός που το καθιστά ιδανικό για σύνθετες ροές εργασίας. Τέλος, το DNG (Digital Negative, .DNG) συνιστά έναν ψηφιακό πρότυπο αρχείων RAW, που αναπτύχθηκε από την Adobe για να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ διαφορετικών συστημάτων, επιτρέποντας στους δημιουργούς να διατηρούν όλα τα πλεονεκτήματα του αρχικού RAW αρχείου.

#### Μορφές για διαμοιρασμό και για διαδικτυακές εφαρμογές:

Η μορφή PNG (Portable Network Graphic, .PNG) προσφέρει συμπύεση χωρίς απώλειες (lossless) και υποστηρίζει διαφάνεια, καθιστώντας την ιδανική για γραφικά, λογότυπα και χρήση για το διαδίκτυο, εφαρμογές που απαιτούν υψηλή πιστότητα χρώματος. Σε αντίθεση με το JPEG, το PNG διατηρεί όλες τις λεπτομέρειες και τα ακριβή χρώματα της εικόνας, χωρίς να εισάγει παραμορφώσεις, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για αρχειοθέτηση εικόνων που θα υποστούν περαιτέρω επεξεργασία. Παρά την υψηλή ποιότητα, η χρήση του για γενικές φωτογραφίες είναι λιγότερο συχνή, κυρίως λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους αρχείου σε σύγκριση με το JPEG.



**Σχήμα 3. 11:** Διαφορά ευκρίνειας μεταξύ συμπιεσμένης (lossy) και μη συμπιεσμένης εικόνας (lossless) [adobe.com]

**Πίνακας 1:** Σύγκριση βασικών τύπων αρχείων εικόνας [2,14-16].

Μορφή	Χρήση	Θετικά	Αρνητικά	Βαθμός συμπίεσης
<b>RAW (.CR3, .NEF, .ARW κ.ά.)</b>	Καταγραφή εικόνων απευθείας από την κάμερα για μέγιστη ποιότητα και επεξεργαστική ευελιξία	Περιλαμβάνει όλα τα δεδομένα του αισθητήρα, μέγιστη δυνατότητα επεξεργασίας	Μεγάλο μέγεθος αρχείου, απαιτεί ειδικό λογισμικό για επεξεργασία	Μη συμπιεσμένο ή ελαφρώς συμπιεσμένο αρχείο χωρίς απώλειες
<b>JPEG (.JPG)</b>	Διαδικτυακή χρήση, εκτυπώσεις	Μικρά αρχεία, ευρεία υποστήριξη	Απώλεια λεπτομερειών	Υψηλή συμπίεση με απώλειες
<b>PNG (.PNG)</b>	Web γραφικά, λογότυπα, εικόνες με διαφάνεια	Διατήρηση ακριβείας χρώματος	Μεγάλο μέγεθος αρχείου	Μέτρια συμπίεση
<b>TIFF (.TIF)</b>	Υψηλής ποιότητας επεξεργασία και εκτύπωση	Υποστηρίζει 16-bit χρώμα, διατήρηση λεπτομερειών	Μεγάλο μέγεθος αρχείου	Μη συμπιεσμένο
<b>PSD (.PSD)</b>	Επεξεργασία σε Photoshop	Περισσότερες δυνατότητες επεξεργασίας	Αποκλειστικά για Photoshop ή συμβατά προγράμματα, μεγάλο μέγεθος	Μη συμπιεσμένο
<b>DNG (.DNG)</b>	RAW αρχειοθέτηση, διαλειτουργικότητα μεταξύ συσκευών	Πρότυπο Adobe, διατηρεί ποιότητα RAW, συμβατό με πολλά προγράμματα	Μεγάλες εικόνες, απαιτεί ειδικό λογισμικό	Μη συμπιεσμένο
<b>WEBP (.WEBP)</b>	Γραφικά για το διαδύκτιο	Μικρό μέγεθος αρχείου με καλή ποιότητα, υποστηρίζει διαφάνεια και κινούμενα γραφικά	Περιορισμένη υποστήριξη σε παλαιότερα προγράμματα	Με / Χωρίς απώλειες
<b>HEIF/HEIC (.HEIC)</b>	Κινητά	Υψηλή ποιότητα με μικρό μέγεθος	Περιορισμένη υποστήριξη σε παλαιότερες συσκευές/λογισμικό	Υψηλή συμπίεση με απώλειες

### 3.1.7 Βιβλιογραφία

1. Purves, “Neuroscience”, 2004, third edition, Sinauer Associates, Inc., ISBN 0-87893-725-0
2. R. C. Gonzalez & R. E. Woods, “Digital Image Processing Fourth Edition”, 2018, Pearson Education Limited, ISBN 978-0-13-335672-4
3. Gao, Y., Liang, J., Yang, J., “Color Palette Generation from Digital Images: A Review”, 2025, Color Research & Application, vol. 50, no. 3, doi: 10.1002/col.2297
4. Sharma, G., 2002, “Digital Color Imaging Handbook”, CRC PRESS
5. McGavin D., Stukenborg B., Witkowski M. “Color Figures in *BJ*: RGB versus CMYK”. *Biophys J.* 2005 Feb;88(2):761–2. doi: 10.1529/biophysj.105.059600. PMID: PMC1305152.
6. Rosi, Tommaso & Malgieri, Massimiliano & Onorato, P. & Oss, S., “What are we looking at when we say magenta? Quantitative measurements of RGB and CMYK colours with a homemade spectrophotometer.”, 2016, European Journal of Physics. 37. 065301, doi: 10.1088/0143-0807/37/6/065301.
7. García-Lamont, Farid & Cervantes, Jair & Lopez-Chau, Asdrubal & Rodríguez, Lisbeth, 2018, “Segmentation of Images by Color Features: A Survey”, *Neurocomputing*, 292, doi: 10.1016/j.neucom.2018.01.091.
8. Chang, Y., Mukai, N., “Color Feature Based Dominant Color Extraction”, 2022, *IEEE Access*, vol. 10, pp. 93055–93061, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3202632
9. Cho, J., Yun, S., Lee, K., Choi, J. Y., “Palettenet: Image Recolorization with Given Color Palette,” 2017, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, pp. 62–70, New Jersey, US, doi: 10.1109/CVPRW.2017.143
10. Liu, S., Tao, M., Huang, Y., Wang C. & Li C., “Image-Driven Harmonious Color Palette Generation for Diverse Information Visualization” 2022, *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, Vol. 28, pp. 1–11, doi: 10.1109/TVCG.2022.3226218
11. Kim, S. & Kang, S., “GAN-Based Color Palette Extraction System by Chroma Fine-Tuning with Reinforcement Learning,” 2020, *Journal of Semiconductor Engineering*, Vol. 2, pp. 125–129, doi: 10.22895/jse.2020.0101
12. Moussa, A. & Watanabe, H., “Generation and Extraction of Color Palettes with Adversarial Variational Auto-Encoders” 2022, *Proc. Sixth Int. Congr. Inf. Commun. Technol.*, pp. 889–897, New York, US, Springer
13. Oštir, G., Javoršek, D., Stergar, P., Kočevcar, T.N., Nestorovič, A., Gabrijelčič Tomc, H., “Graphic Reconstruction of a Roman Mosaic with Scenes of the Abduction of Europa”, 2024, *Appl. Sci.*, 14, 3931, doi: 10.3390/app14093931
14. Sneyers, J.; Alakuijala, J.; Versari, L.; Szabadka, Z.; Boukourt, S.; Cohen-Tidhar, A.; Firsching, M.; Kliuchnikov, E.; Lev-Ami, T.; Portis, E.; Richter, T.; Watanabe, O., “The JPEG XL Image Coding System: History, Features, Coding Tools, Design Rationale, and Future”, 2025, arXiv, 2506.05987, doi: 10.48550/arXiv.2506.05987
15. Parmar, C. K.; Pancholi, K., “A Review on Image Compression Techniques”, 2013, *Journal of Information, Knowledge and Research in Electrical Engineering*, Vol. 2, Issue 2, pp. –, ISSN 0975–673.
16. Patel, R.; Patel, B. P., “An Analytical Study on Comparison of Different Image Compression Formats”, 2014, *IJIRST – International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, Vol. 1, Issue 7, December 2014, ISSN 2349-6010.