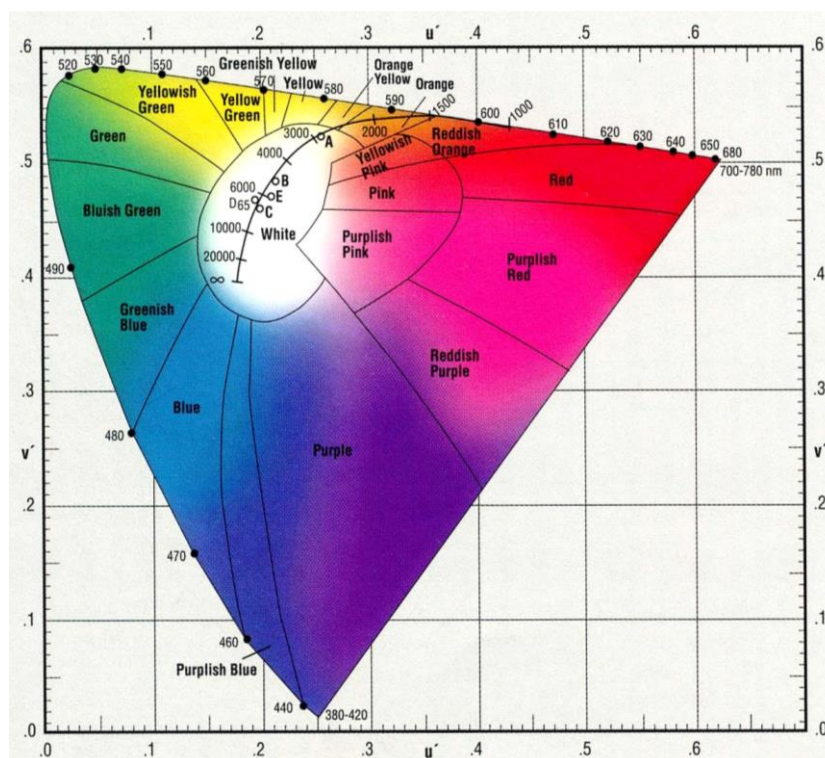




ΧΡΩΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της φοιτήτριας
Κρικώνη Χριστίνας
ΑΕΜ : 4797

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
Καντηράνης Νικόλαος
Επικ. Καθηγητής

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2015

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ–ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ–ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΧΡΩΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της φοιτήτριας
Κρικώνη Χριστίνας
ΑΕΜ : 4797

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
Καντηράνης Νικόλαος
Επίκ. Καθηγητής

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2015

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Εισαγωγή.....	3
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Χρωματομετρία.....	7
2.1 Τιμές L* a* b*.....	11
2.2. Χρώμα C, απόχρωση H και λευκότητα R457.....	13
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Υλικά και μέθοδοι έρευνας.....	15
3.1 Δειγματοληψία.....	15
3.2 Όργανο μέτρησης.....	18
3.3 Διαδικασία μέτρησης χρώματος.....	19
3.4 Χημικές αναλύσεις.....	20
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Αποτελέσματα και συζήτηση.....	22
5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Συμπεράσματα.....	30
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

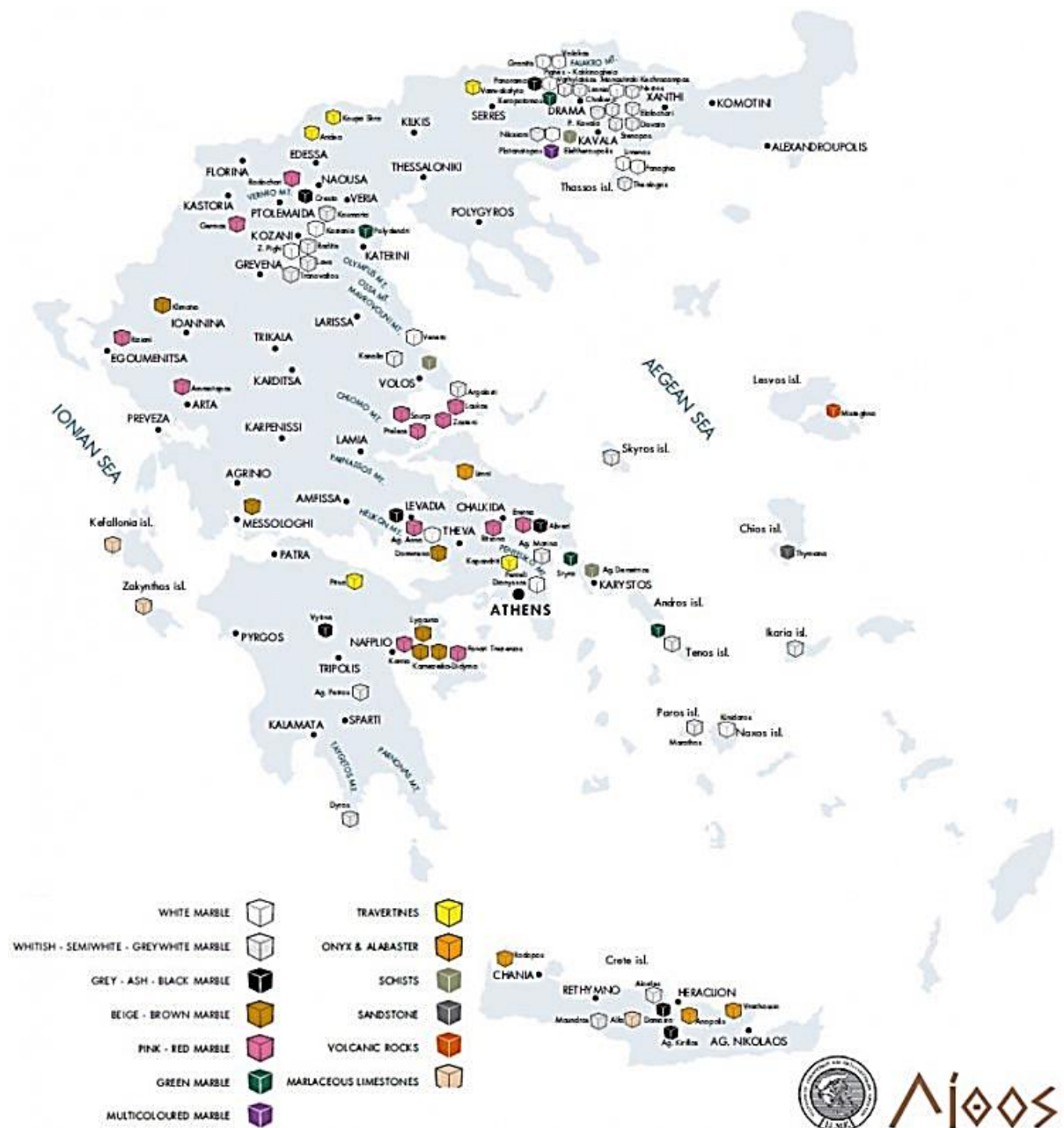
Τα ανθρακικά πετρώματα παρουσιάζουν εκτεταμένη εξάπλωση στον ελληνικό χώρο και από την αρχαιότητα ακόμη εκμεταλλεύτηκαν και χρησιμοποιήθηκαν λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων τους, της καθαρότητας και διαύγειας, της πλαστικότητας αλλά και χρωματικής ποικιλίας που πρόσφεραν διάφοροι τύποι τους. Κόσμησαν σπουδαία καλλιτεχνήματα που σώζονται ακόμη και σήμερα για αρχιτεκτονικούς, αλλά και καλλιτεχνικούς σκοπούς (μάρμαρο της Πεντέλης στον Παρθενώνα, πράσινος θεσσαλικός σε κολώνες στον άγιο Δημήτριο Θεσσαλονίκης και την Αγία Σοφία Κωνσταντινούπολης, κ.α.). Πλέον οι ποικίλες μορφές και τεχνοτροπίες των ανθρακικών τα έχει καταστήσει αναγκαία πρώτη ύλη σε αρκετά στάδια του πρωτογενή και δευτερογενή τομέα, με αποτέλεσμα την αναγκαία συνεχή πληροφόρηση. Αρκετές επιχειρήσεις δραστηριοποιούνται στην παραγωγή και εξαγωγή αρκετών τόνων ασβεστιτικών υλικών στην Ελλάδα, κατατάσσοντας τη χώρα μας στην 10^η θέση παγκοσμίως (Τσιραμπίδης, 2008).

Οι θέσεις και οι μορφές των ανθρακικών σχηματισμών διαφοροποιούνται ανάλογα με την περιοχή, την γεωλογική ιστορία και "διαδρομή" που ακολούθησε ο σχηματισμός (ιζηματογένεση και τεκτονική που δέχτηκε) έως ότου λάβει τη μορφή που παρατηρείται σήμερα. Στην εικόνα 1 αναφέρονται οι κυριότερες εμφανίσεις μαρμάρων, η γεωγραφική τους θέση και το χρώμα εμφάνισης. Το χρώμα αποτελεί ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά και για αυτό το λόγο κρίθηκε σημαντικό να γίνει μία κατάταξη με βάση την ιδιότητα αυτή, παραθέτοντας κάποιους από τους λόγους που παρατηρούνται τόσο διαφορετικοί χρωματισμοί στους σχηματισμούς αυτούς.

Στις ανατολικές γεωτεκτονικές ζώνες κυριαρχούν μεταμορφωμένοι τύποι ασβεστόλιθων και δολομιτών, δηλαδή ασβεστιτικά και δολομιτικά μάρμαρα, ενώ στις δυτικές παρατηρούνται ασβεστόλιθοι αμιγείς ή μαργαϊκοί και δολομίτες.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως οι ονομασίες ασβεστόλιθος και μάρμαρο στην επιστημονική γλώσσα διαφέρει με την έννοια που έχει αναπτυχθεί για την κοινότητα που εμπορεύεται τους σχηματισμούς αυτούς. Έτσι, ενώ οι γεωλόγοι τους διαφοροποιούν κυρίως σύμφωνα με την χημική σύσταση, βαθμό διαγένεσης και

μεταμόρφωσης, για τους εμπόρους διακριτικά στοιχεία είναι η ικανότητά τους για κοπή και λείανση και η ιδιαιτερότητα του χρώματός τους.

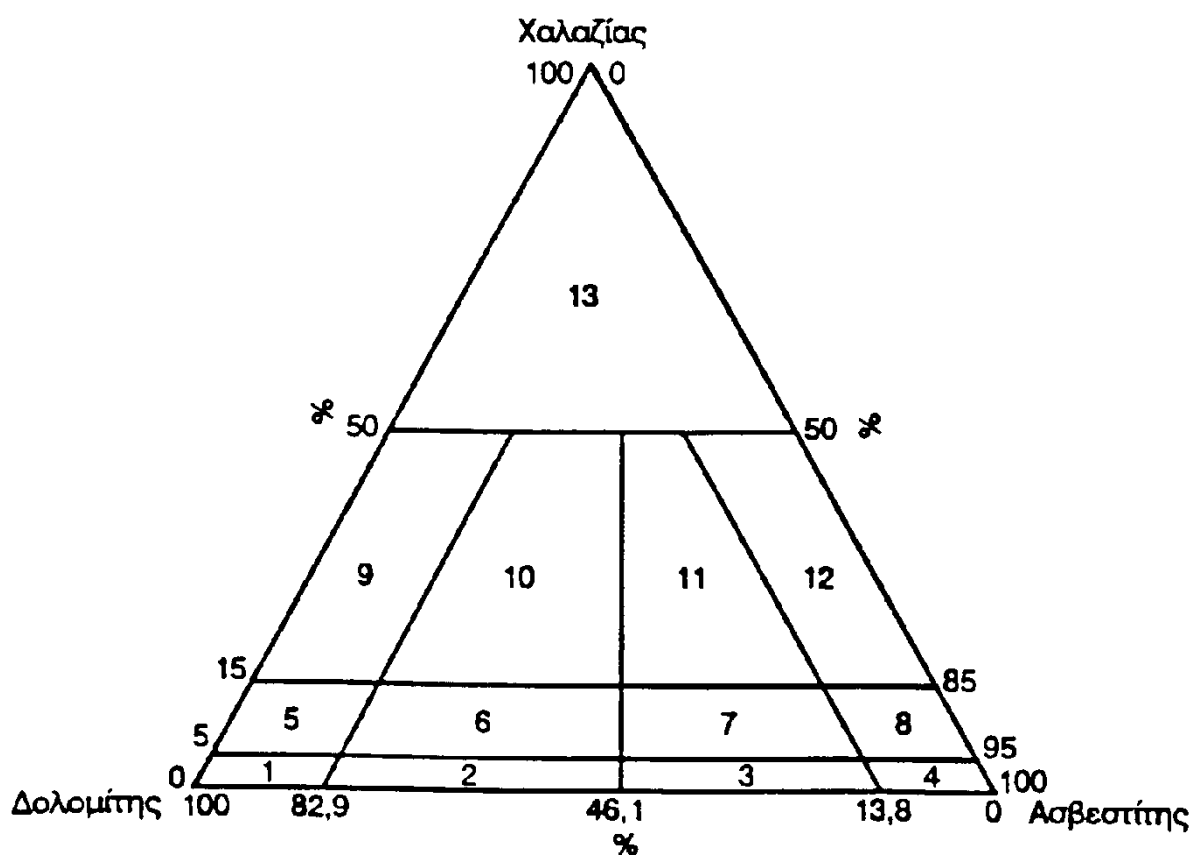


Εικόνα 1 Κυριότερες εμφανίσεις μαρμάρων της Ελλάδας (ΗΓΜΕ, 1999)

Οι χρήσεις των ανθρακικών (ασβεστόλιθοι, κιμωλία, τραβερτίνες, δολομίτες και μάρμαρα) είναι πολυάριθμες ωθώντας αρκετές εταιρίες να δημιουργήσουν αρκετές εμπορεύσιμες μορφές που προορίζονται για πληρωτικά, λευκαντικά, επικαλυπτικά και απλωτικά σε πολλά βιομηχανικά προϊόντα, αδρανή αλλά και τσιμέντο.

Ανταγωνιστικά υλικά των ανθρακικών πετρωμάτων είναι τα : καολίνης, τάλκης, μαρμαρυγίας, βαρύτης (ως πληρωτικά) και τα: γρανίτης, ψαμμίτης, χαλαζίτης, άμμος και χαλίκια, σκωρίες, ηφαιστειακή τέφρα κ.ά. (ως αδρανή).

Στο βιομηχανικό τομέα σημαντικός παράγοντας είναι η περιεκτικότητα σε CaO και MgO. Αυτός καθορίζει και τον τρόπο επεξεργασίας και χρήσης ανάλογα τη ζήτηση της αγοράς. Προσμίξεις και συνοδά στοιχεία επηρεάζουν τις αποχρώσεις προσδίδοντας ιδιαίτερες αποχρώσεις. Στην Εικ. 2 παρουσιάζονται οι εμπορικές ποικιλίες των ανθρακικών πετρωμάτων ανάλογα με την ορυκτολογική τους σύσταση (Harben, 1992).



Εικόνα 2 Εμπορικές ποικιλίες ανθρακικών πετρωμάτων (Harben, 1992)

1=Δολομίτης, 2=Ασβεστιτικός δολομίτης, 3=Μαγνησιούχος ασβεστόλιθος, 4=Ασβεστόλιθος, 5=Δολομίτης που περιέχει 5-15% SiO₂, 6=Ασβεστιτικός δολομίτης που περιέχει 5-15% SiO₂, 7=Μαγνησιούχος ασβεστόλιθος που περιέχει 5-15% SiO₂, 8=Ασβεστόλιθος που περιέχει 5-15% SiO₂, 9=Πυριτιούχος δολομίτης (15-50% SiO₂), 10=Πυριτιούχος ασβεστιτικός δολομίτης (15-50% SiO₂), 11=Πυριτιούχος μαγνησιούχος ασβεστόλιθος (15-50% SiO₂), 12=Πυριτιούχος ασβεστόλιθος (15-50% SiO₂), 13=Κερατόλιθοι ή χαλαζίτες

Κύριες εμπορεύσιμες μορφές των ανθρακικών πετρωμάτων είναι (Τσιραμπίδης 2008):

- α) Ανθρακικό ασβέστιο. Χρησιμοποιείται ως πληρωτικό και απαιτούνται υψηλής ποιότητας, λευκότητας και καθαρότητας υλικά. Στην Ελλάδα η ΟΜΥΑ Ελλάς παράγει πολύ καλής ποιότητας κονιοποιημένου υλικού ως τελικό προϊόν όπου μεγάλο μέρος της παραγωγής εξάγεται. Η Zafranas-Petrochem δραστηριοποιείται στην Κόρινθο όπου χρησιμοποιεί ακατέργαστο υλικό από ασβεστόλιθο της Ζακύνθου, δολομιτικό μάρμαρο Θάσου και Δράμας και εισαγόμενο τάλκη προς κατεργασία. Η Dionyssos-Pentelikon στον Διόνυσο Αττικής παράγει πληρωτικά ως παραπροϊόν κατά την εκμετάλλευση λευκών μαρμάρων, με υλικό από τα λατομεία της στον Διόνυσο Αττικής και λατομεία της στην Ζάκυνθο. Αντίστοιχα περιοχές όπως η Θάσος, η Καβάλα και η Δράμα δύνανται για παρόμοια εκμετάλλευση.
- β) Ασβεστόλιθοι. Στην παραγωγή αδρανών υλικών συμμετέχουν τα πτυχωμένα και κερματισμένα τεμάχια ασβεστόλιθων. Τσιμέντο και ασβέστης παράγεται και εξάγεται από την Ελλάδα με μεγάλο μέρος της παραγωγής προέρχεται από την TITAN και LAFARGE.
- γ) Δολομίτες. Χρησιμοποιείται από βιομηχανίες γυαλιού και κεραμικών, σε γεωργικές εφαρμογές (ουδετεροποίηση εδαφών, λιπάσματα, ζωοτροφές), ως πληρωτικό υλικό χρωμάτων, ως αδρανές υλικό για υποστρώματα δρόμων και σιδηροδρομικών γραμμών.
- δ) Μάρμαρα. Δολομιτικά και ασβεστιτικά με τη μεγαλύτερη δραστηριότητα εξόρυξης να συγκεντρώνεται στο λατομικό χώρο Δράμας-Καβάλας-Θάσου.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η μελέτη των χρωματικών ιδιοτήτων των ανθρακικών πετρωμάτων και πώς αυτές επηρεάζονται από τα χημικά στοιχεία που εμπεριέχονται. Συγκεκριμένα αφού μετρήθηκε η χημική σύσταση κάθε δείγματος καθώς και οι οπτικές του ιδιότητες, στη συνέχεια κατασκευάστηκαν διαγράμματα με σκοπό τον συσχετισμό των παραμέτρων (χρωματικών δεικτών και ποσοστό οξειδίων των στοιχείων επί τοις εκατό) για τον προσδιορισμό των στοιχείων με την μεγαλύτερη επίδραση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Χρωματομετρία

Το χρώμα αποτελεί ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των ανθρακικών πετρωμάτων και για αυτό το λόγο κρίθηκε σημαντικό να γίνει μία κατάταξη με βάση την ιδιότητα αυτή, παραθέτοντας κάποιους από τους λόγους που απαντώνται τόσοι διαφορετικοί χρωματισμοί στους σχηματισμούς αυτούς.

Το χρώμα είναι πολύ σημαντικό για τον άνθρωπο. Ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται το χρώμα διαμέσου της όρασης. Το φως διαθλάται στον φακό του οφθαλμού, πηγαίνει στον αμφιβληστροειδή και το φωτεινό ερέθισμα γίνεται χημικό. Μέσω χημικών ουσιών στα κύτταρα του αμφιβληστροειδή μεταφέρεται το νευρικό ερέθισμα, μέσω του οπτικού νεύρου, στην περιοχή του εγκεφάλου που είναι υπεύθυνη για την όραση. Έτσι, ο εγκέφαλος το μεταφράζει και το αντιστοιχίζει σε χρώματα. Χρώμα ονομάζεται η φυσική ιδιότητα των σωμάτων και μεταφράζεται ανάλογα το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που αντανακλάται από την επιφάνεια πρόσπτωσης στο ανθρώπινο μάτι.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εμφάνιση του χρώματος αποτελεί η ύπαρξη μιας φωτεινής πηγής που θα προσφέρει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η επιφάνεια που θα την ανακλάσει και ο παρατηρητής που θα δεχθεί και θα επεξεργαστεί το ερέθισμα.

Στο σημείο αυτό σημαντικός είναι ο διαχωρισμός μεταξύ "πηγής φωτός" (source) και "χαρακτηριστικού φάσματος" (illuminant) που παρατηρείται στην βιβλιογραφία. Ενώ η φωτεινή πηγή αναφέρεται σε έναν φυσικό πομπό ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως μια λάμπα ή ο ήλιος, το φωτιστικό αναφέρεται σε μία συγκεκριμένη ισχύ του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που προσπίπτει σε ένα αντικείμενο που βλέπει ο παρατηρητής.

Η επιστήμη που μεταφράζει την ανθρώπινη αντίληψη του χρώματος σε αριθμούς ονομάζεται χρωματομετρία. Πρόκειται για τη διαδικασία μετάφρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του οπτικού ερεθίσματος. Τα δεδομένα που θα προκύψουν χρειάζεται να είναι κατανοητά από ποικίλους επιστημονικούς τομείς. Έτσι κρίθηκε αναγκαία η δημιουργία μιας κοινής γλώσσας με καθορισμένες τιμές και συνθήκες για την αποφυγή συγχύσεων και λήψη ορθών αποτελεσμάτων. Τη λύση έδωσε η International Commission of Illumination (Commission Internationale de l'Eclairage, CIE). Το 1931 καθιέρωσε τον πρότυπο παρατηρητή (standard colorimetric observer)

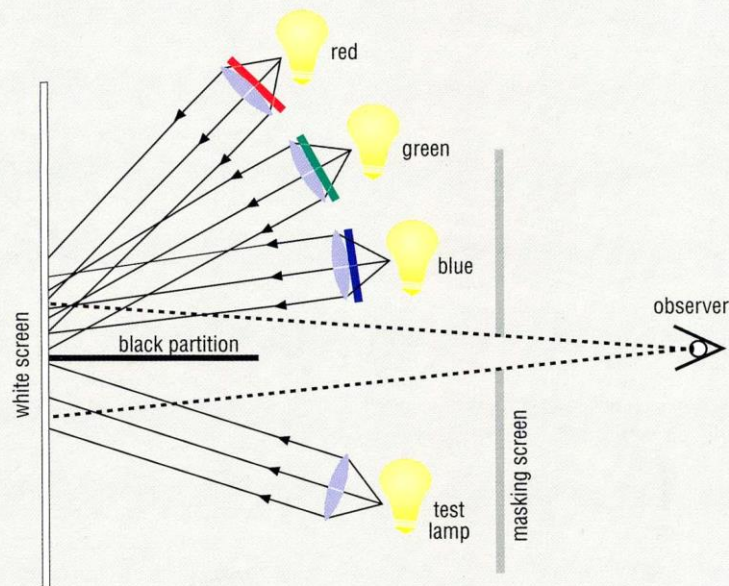
και αργότερα το 1964 έναν δεύτερο συμπληρωματικό πρότυπο παρατηρητή. Επίσης καθιέρωσε τα "πρότυπα χαρακτηριστικού φάσματος" (standard illuminants) με καθορισμένη ισχύ φάσματος. Επομένως, είναι η οργάνωση που ασχολείται με τον καθορισμό βασικών προτύπων και διαδικασιών μέτρησης και τις τριχρωματικές τιμές που είναι απαραίτητες ώστε να αποτελέσει η χρωματομετρία χρήσιμο εργαλείο για την επιστήμη και την τεχνολογία.

Τα δεδομένα τοποθετούνται σε ένα τριαξονικό σύστημα, το τριχρωματικό διάγραμμα. Οι αριθμοί που αντιπροσωπεύουν το ανθρώπινο ερέθισμα σε κάποιο χρώμα ονομάζονται *τριχρωματικές τιμές* (tristimulus values). Πρόκειται για έναν τρισδιάστατο χώρο όπου κάθε σημείο του αντιπροσωπεύει ένα χρώμα. Ονομάζεται τριχρωματικό διότι τρία βασικά χρώματα συνδυάζονται καταλλήλως κάθε φορά ώστε να δώσουν άλλα δευτερεύοντα (color matching). Αυτά τα κύρια χρώματα είναι το κόκκινο ($R - 0,56 \mu m$), το πράσινο ($G - 0,53 \mu m$) και το μπλέ ($B - 0,42 \mu m$) και επιλέχθηκαν λόγω του μήκους κύματός τους και της αντιστοιχίας τους στις ευαίσθητες περιοχές των αισθητήριων οργάνων της ανθρώπινης όρασης – πρωταρχικά ερεθίσματα (primary stimuli). Το παρακάτω σχήμα (Εικ. 3) αναπαριστά τις τρεις κύριες χρωματικές πηγές RGB.

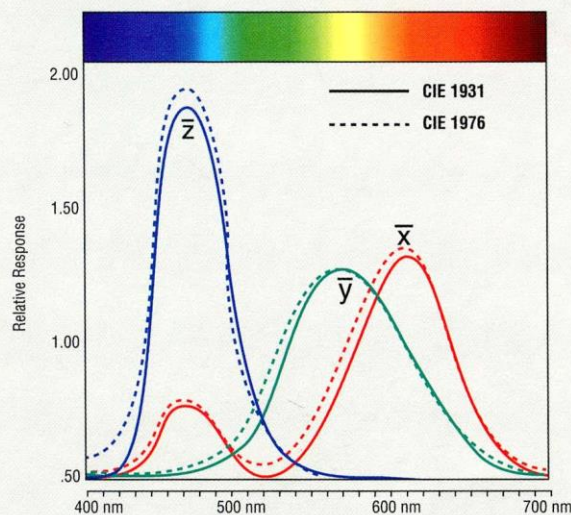
Η υποκειμενικότητα της αντίληψης του χρώματος είναι αδιαμφισβήτητη και εξαρτάται από βασικούς παράγοντες όπως:

- α) οι συνθήκες παρατήρησης: το χρώμα δεν παραμένει σταθερό υπό διαφορετική γωνία παρατήρησης.
- β) προηγούμενη έκθεση του παρατηρητή στο φως: μετά από έκθεση και προσαρμογή σε υπερβολικά λαμπερό φωτισμό το ερέθισμα που θα ληφθεί θα διαστρεβλωθεί.
- γ) διαφορετικοί παρατηρητές: το 95% του ανθρώπινου πληθυσμού κατέχει την κανονική τριχρωματική όραση, ενώ εξαίρεση αποτελούν οι μονοχρωματικοί (monochromats), διχρωματικοί (dichromats) και οι ανώμαλα τριχρωματικοί (anomalus trichromats).

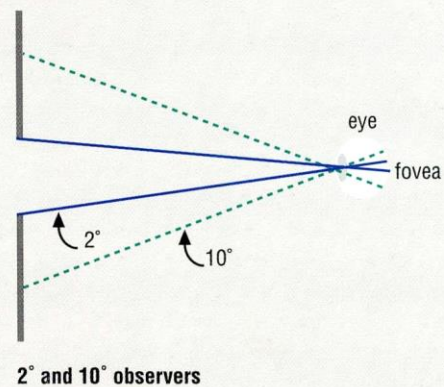
Quantifying Observers



CIE standard observer experiment



standard observer responses

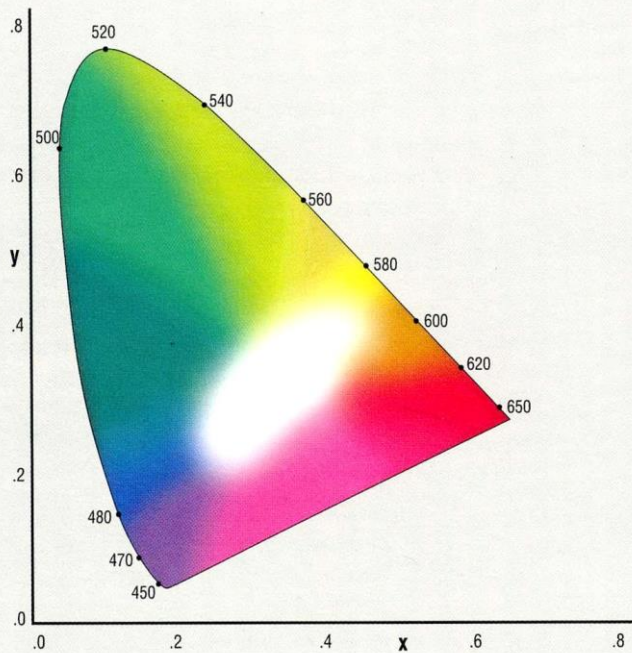


2° and 10° observers

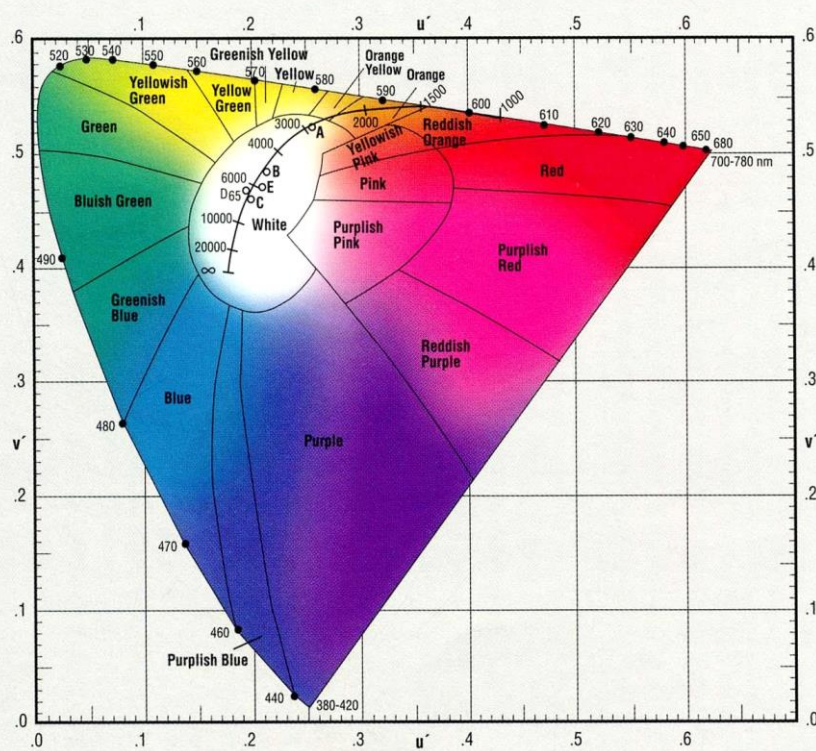
Εικόνα 3. Φασματικές κατανομές των τριών βασικών χρωμάτων στις 2° και 10°.

Οι τριχρωματικές τιμές X Y Z και οι χρωματικές συντεταγμένες x y μετρούνται απευθείας από το όργανο με την τιμή Y να αντιπροσωπεύει την φωτεινότητα (lightness) και τις συντεταγμένες x y την χρωματικότητα (chromaticity).

Color Spaces



CIE 1931 x, y chromaticity diagram



CIE 1976 U.C.S. chromaticity diagram

Εικόνα 4. Τριχρωματικός χώρος CIE 1931 και 1976.

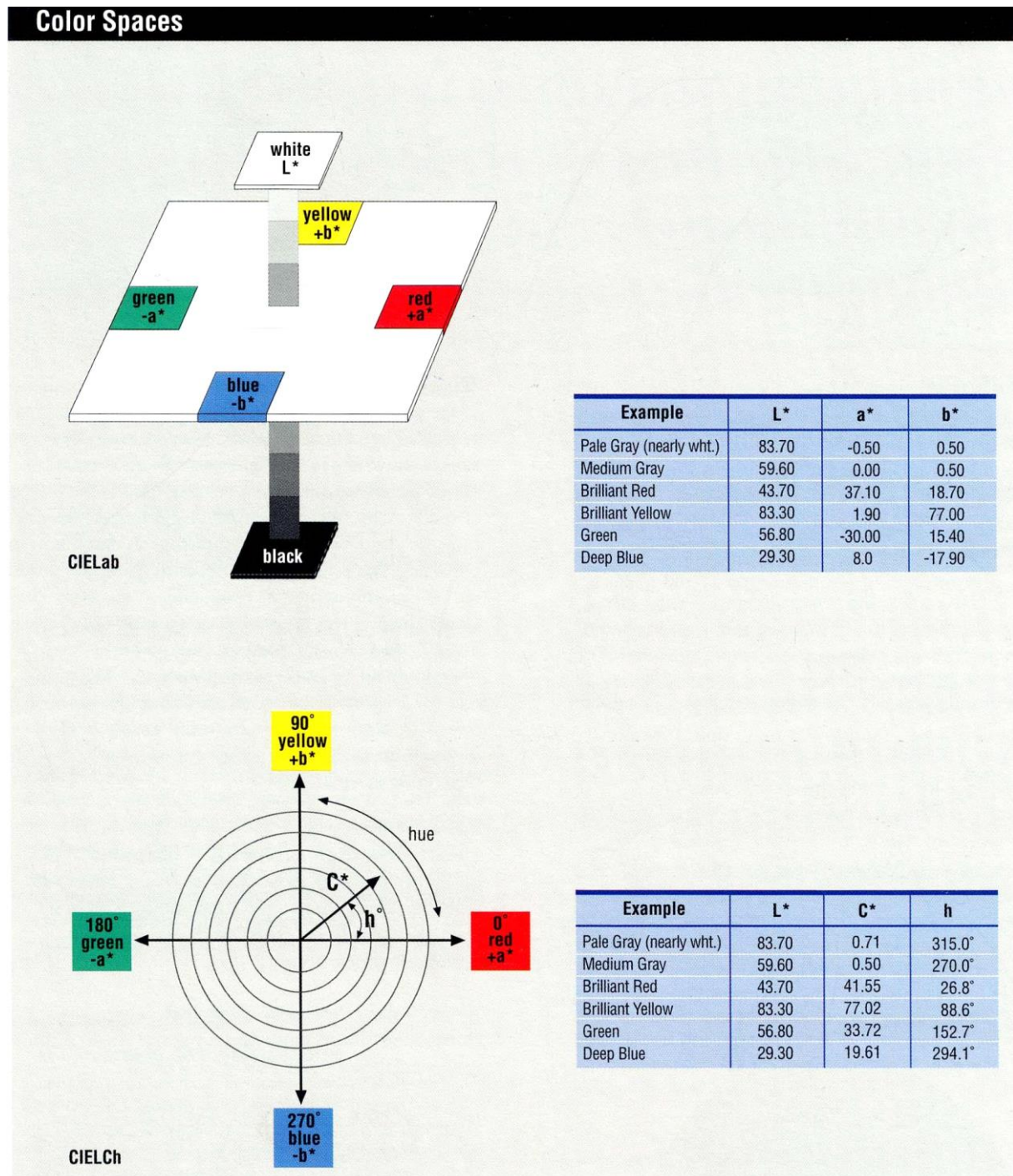
Αφού μετρηθούν οι τιμές X Y Z , τότε οι τιμές x y μπορούν να υπολογιστούν. Ανάλογα με τα αποτελέσματα των x y τιμών, καθορίζεται η θέση του μετρήσιμου χρώματος στο διάγραμμα χρωματικότητας (Εικ. 4) όπως επίσης γίνεται γνωστή και η χροιά (hue) και ο κορεσμός (saturation). Η μορφή γλώσσας στην καμπύλη του διαγράμματος υποδηλώνει το φασματικό τόπο, ο οποίος αναπαριστά τα φάσματα όλων των χρωμάτων από το κόκκινο έως το ιώδες. Στο κέντρο της καμπύλης βρίσκεται η περιοχή του λευκού. Η αλλαγή του κορεσμού του χρώματος διαφαίνεται πηγαίνοντας από το κέντρο προς τις άκρες, από τα πιο αχνά και σκιάδη στα πιο έντονα και βαθιά. Η φωτεινότητα (lightness) Y αντιπροσωπεύει την ανακλαστικότητα.

2.1. Τιμές L^* a^* b^*

Παρόλο που οι CIE συντεταγμένες χρώματος μπορούν να προσδιορίσουν ένα χρώμα με ακρίβεια, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν διότι στο CIE διάγραμμα χρωματικότητας η χωρική κατανομή της απόστασης μεταξύ των σημείων δεν αντιστοιχεί στην διαφορά που έχουν τα χρώματα οπτικά και δεν μπορεί να αντιπροσωπεύσει τη διαφορά μεταξύ δυο χρωμάτων με ακρίβεια.

Η CIE συνέστησε έναν ομοιόμορφο χρωματικό χώρο LAB που αντιπροσωπεύεται από τις τιμές L^* a^* b^* . Το τρισδιάστατο αυτό σύστημα χρησιμοποιεί τις τιμές αυτές για να εκφράσει το χρώμα, με τις τρεις τιμές να αποτελούν τους τρεις άξονες που είναι κάθετοι μεταξύ τους. Η αρχή των αξόνων τοποθετείται στο κέντρο του L^* όπως φαίνεται και στην εικόνα 5. Το L εξαρτάται από το Y που όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω αντιπροσωπεύει τη φωτεινότητα, επομένως το L αντιπροσωπεύει τη φωτεινότητα. Για ένα μαύρο σώμα που απορροφά τελείως το φως, η τιμή L^* είναι μηδέν. Για ένα ολόλευκο σώμα που αντανακλά εξολοκλήρου το φως, η τιμή L^* είναι 100. Αυτό επιτρέπει να χρησιμοποιηθεί μια κλίμακα από το 0 έως το 100 ώστε να ποσοτικοποιηθεί ο βαθμός της φωτεινότητας ενός χρώματος ή ο βαθμός της σκοτεινότητας του. Οι a^* και b^* είναι οι χρωματικοί δείκτες που αντιπροσωπεύουν τις χρωματομετρικές συντεταγμένες στον τρισδιάστατο χώρο χρώματος. Οι a^* και b^* δείχνουν τις διαφορετικές κατευθύνσεις των χρωμάτων, η a^* αντιπροσωπεύει την κατεύθυνση από το κόκκινο στο πράσινο, ενώ η b^* αντιπροσωπεύει την κατεύθυνση από το κίτρινο στο μπλε.

Η θετική τιμή του a^* δείχνει την ροπή του χρώματος προς το κόκκινο ενώ η αρνητική προς το πράσινο. Αντίστοιχα η θετική τιμή του b^* δείχνει την ροπή του χρώματος στο κίτρινο ενώ η αρνητική προς το μπλε (Εικ. 5).



Εικόνα 5. Ομοιόμορφος χρωματικός χώρος $L^*a^*b^*$.

Για παράδειγμα οι τιμές των μετρήσεων χρώματος ενός αντικειμένου είναι $L^* = 39.66$, $a^* = -32.59$, $b^* = 16.37$, το σημείο τομής A των δεικτών a^* και b^* είναι η χρωματικότητα αυτού του αντικειμένου. Όταν εκφράζεται με μια λέξη, αυτό το χρώμα είναι ένα κιτρινωπό-πράσινο.

2.2. Χρώμα C, απόχρωση H και λευκότητα R457

Σύμφωνα με την CIE του 1976 ο χρωματικός χώρος Lab υποδεικνύει σε αριθμητική μορφή το βαθμό κορεσμού των χρωμάτων (γνωστή και ως χρωματική καθαρότητα) ενός σημείου του τρισδιάστατου χώρου a^*b^* που αναφέρθηκε νωρίτερα. Ένας κυκλικός δακτύλιος 360° χρησιμοποιείται για να δείξει την γωνία της απόχρωσης στο εν λόγω χρωματικό χώρο. Η φύση των χρωμάτων μπορεί να εκφραστεί από την γωνία της απόχρωσης του δείγματος. Η γωνία της τιμής H μαζί με την τιμή της φωτεινότητας αντιπροσωπεύουν μια ολοκληρωμένη περιγραφή της ποιότητας του χρώματος ενός δείγματος. Τέλος η τιμή R457 αντιπροσωπεύει την λευκότητα όπως ορίστηκε από την επιτροπή ISO TC6.

Συνοψίζοντας στον πίνακα1 δίνονται οι βασικοί ορισμοί του χρώματος που χρησιμοποιήθηκαν:

Πίνακας 1: Βασικοί ορισμοί του χρώματος.

Φως	Φως είναι το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που είναι ορατό από το ανθρώπινο μάτι.
Χρώμα-color	Χρώμα ονομάζεται η οπτική αντίληψη μέσω της οποίας ένας παρατηρητής διακρίνει διαφορές μεταξύ δύο αντικειμένων ίδιου μεγέθους και σχήματος οι οποίες μπορεί να προκληθούν από διαφορές του μήκους κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που δέχεται ο παρατηρητής. <i>Συναφές χρώμα</i> είναι εκείνο που θεωρείται ότι ανήκει σε μια κατηγορία χρωμάτων παρόμοιας φύσης <i>Χρωματικό</i> ονομάζεται το χρώμα που κατέχει χροιά. <i>Αχρωματικό</i> καλείται το χρώμα που στερείται χροιάς
Χροιά	Χροιά ονομάζεται η ιδιότητα που έχουν τα χρώματα να συμβολίζονται (δευτερευόντως) με το χαρακτηρισμό μπλε, πράσινο, κίτρινο, κόκκινο, μοβ κ.ο.κ.
Μοναδικές χροιές	Μοναδικές ονομάζονται οι χροιές που δεν μπορούν να χαρακτηριστούν παρά μόνο με τη δική τους ονομασία. Υπάρχουν τέσσερις μοναδικές χροιές και δεν έχουν κανένα κοινό μεταξύ τους. Κόκκινο, πράσινο, κίτρινο και μπλε. Συνδυασμός δύο μοναδικών χροιών δίνει τα δυαδικά χρώματα όπως το πορτοκαλί είναι κιτρινωπό κόκκινο είτε κοκκινωπό κίτρινο.

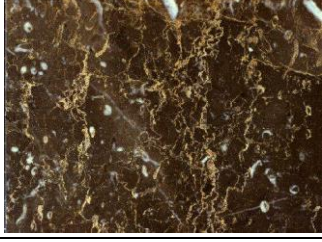
Λαμπρότητα	Λαμπρότητα είναι η αίσθηση όταν ένα οπτικό ερέθισμα φαίνεται να είναι είτε πολύ είτε λίγο έντονο. Η περιοχή που θα παρθεί το οπτικό ερέθισμα παίζει ρόλο στο αν εκπέμπεται περισσότερο ή λιγότερο φως. Η λαμπρότητα κυμαίνεται μεταξύ του λαμπρού και σκοτεινού.
Φωτεινότητα	Φωτεινότητα είναι η ιδιότητα που έχει η επιφάνεια από την οποία λήφθηκε το οπτικό ερέθισμα να εκπέμπει πολύ ή λίγο φως ανάλογα με μια άλλη επιφάνεια της οποίας το ερέθισμα λαμβάνεται ως λευκό αν εκτεθούν στην ίδια εκπομπή ακτινοβολίας. Γενικά, η φωτεινότητα μπορεί να χαρακτηριστεί και ως σχετική λαμπρότητα. Η φωτεινότητα παίρνει τιμές μεταξύ του φωτεινού και του σκοτεινού.
Χρωματικότητα	Χρωματικότητα αναφέρεται ως η ιδιότητα μιας περιοχής να είναι πολύ ή λίγο χρωματική.
Χρώμα-chroma	Χρώμα ονομάζεται η ιδιότητα του οπτικού ερεθίσματος που κρίνει τον βαθμό στον οποίο ένα χρωματικό ερέθισμα διαφέρει από ένα αχρωματικό της ίδιας λαμπρότητας.
Κορεσμός	Κορεσμός ονομάζεται η ιδιότητα του οπτικού ερεθίσματος που κρίνει τον βαθμό στον οποίο ένα χρωματικό ερέθισμα διαφέρει από ένα αχρωματικό ανεξάρτητα της λαμπρότητας.

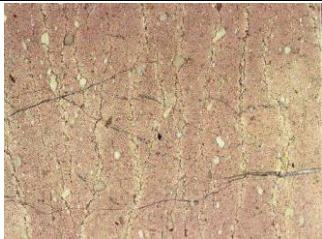
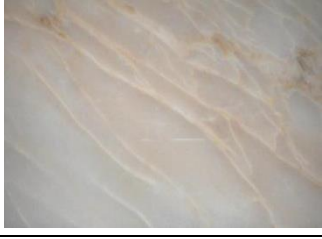
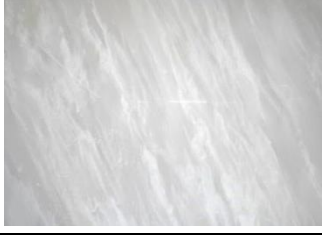
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Υλικά και μέθοδοι έρευνας

3.1. Δειγματοληψία

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία συγκεντρώθηκαν ορισμένα δείγματα εμπορικών διακοσμητικών πετρωμάτων που ήταν διαθέσιμα στον Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας και για πρώτη φορά έγινε μέτρηση των χρωματικών τους παραμέτρων. Στον Πίν. 2 δίνονται οι ονομασίες των εξεταζόμενων πετρωμάτων, καθώς και η μακροσκοπική τους εικόνα, όπως αυτή φωτογραφήθηκε.

Πίνακας 2. Δείγματα διακοσμητικών πετρωμάτων που εξετάστηκαν.

α/α	Κωδικός δείγματος	Εμπορική ονομασία δείγματος	Μακροσκοπική εικόνα
1	1	Τεφρόλευκο Ελαφοχωρίου Καβάλας	
2	2	Λευκό Πεντέλης	
3	4	Καστανό Χίου	
4	6	No1 Δωδώνης Ιωαννίνων	

5	9	Άρτας	
6	11	Ξηροπόταμος Δράμας	
7	13	No4 Μελί Μεσολογγίου	
8	14	Μπέζ Ιωαννίνων	
9	15	Τραβερτίνης Κοκάλι Αριδαίας	
10	18	Ρόζ Λαύκου Πηλίου	
11	19	Ροζ Πτελεού Βόλου	

12	20	Madonna Limestone Πρέβεζας	
13	21	Limestone Fiore Levante Ζακύνθου	
14	22	Zante Bronzeto Limestone Ζάκυνθος	

Τα δείγματα που επιλέχθηκαν έχουν μια ευρεία διακύμανση στο χρώμα τους προκειμένου να είναι δυνατός ο συσχετισμός των χρωματικών παραμέτρων με τη χημική τους σύσταση. Έτσι, επιλέχθηκαν δείγματα λευκά-λευκορόδινα-λευκοπράσινα, αλλά και σε αποχρώσεις του μπεζ, του τεφρού, του καστανού και του πράσινου. Τα δείγματα κονιοποιήθηκαν και διατηρήθηκαν σε μορφή αναφούς σκόνης σε αεροστεγή σακουλάκια. Το μακροσκοπικό χρώμα του κονιοποιημένου δείγματος μπορεί να είναι όμοιο με το αρχικό, είτε να διαφέρει, και μπορεί να δώσει κάποιες πληροφορίες για τις προσμίξεις και τα συνοδά ορυκτά που περιέχονται στο πέτρωμα, δικαιολογώντας μετέπειτα τις διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Ο χρόνος στον οποίο παραμένει ένα δείγμα για κονιοποίηση επιδρά στο μέγεθος του κόκκου. Λόγω της διαφορετικής σκληρότητας των ορυκτών (π.χ. στην κλίμακα Mohs η σκληρότητα του ασβεστίτη είναι 3, ενώ του χαλαζία 7), μεγαλύτερη σκληρότητα συνεπάγεται και περισσότερο χρόνο επεξεργασίας κατά την κονιοποίηση. Όσο πιο λεπτόκοκκο είναι ένα δείγμα, τόσο αντιπροσωπευτικότερη είναι η μέτρηση του των χρωματικών του παραμέτρων.

Για την μέτρηση των εξεταζόμενων δειγμάτων πάρθηκαν από κάθε δείγμα 100g υλικού που τοποθετήθηκαν για 15' σε μηχανικό γουδί αχάτη (εικ. 6). Η συσκευή ανήκει στον Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας.



Εικόνα 6. Μηχανικό γουδί με εξοπλισμό αχάτη της εταιρίας Retsch.

3.2. Όργανο μέτρησης

Το όργανο που χρησιμοποιείται για τις μετρήσεις των δειγμάτων λειτουργεί σύμφωνα με τις εγκεκριμένες μεθόδους της CIE δηλαδή ποσοτικοποιεί και ψηφιοποιεί την εκτίμηση που αντιστοιχεί στο χρώμα που θα αντιλαμβανόταν το ανθρώπινο μάτι. Πρόκειται για τη συσκευή Brightness & Color Meter Model No. 68-50-00-0001 της TMI (εικ. 7) το οποίο χρησιμοποιεί καθορισμένα χαρακτηριστικά συνθηκών παρατήρησης που περιγράφονται παρακάτω. Η συσκευή ανήκει στον Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας.

Σύμφωνα με το σχήμα 1.3 ο παρατηρητής λαμβάνει την πληροφορία κατόπιν επιλογής είτε στις 2° (C) είτε στις 10° (D65). Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν λήφθηκαν αποτελέσματα με την D65 μέθοδο των 10°.



Εικόνα 7. Συσκευή μέτρησης παραμέτρων χρώματος.

3.3. Διαδικασία μέτρησης χρώματος

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το μέσο που χρησιμοποιήθηκε είναι το TMI Brightness and Colour Meter (εικ. 7) και είναι κατασκευασμένο να μετρά τις χρωματικές παραμέτρους χρώματος μιας επιφάνειας ενός αντικειμένου σύμφωνα με τις προδιαγραφές της CIE και τα ISO τεχνικά πρότυπα.

Για κάθε δείγμα ακολουθήθηκε η ίδια τακτική:

- κονιοποιημένο υλικό τοποθετείται στον δακτύλιο όπου στη βάση έχει αφαιρούμενο τζάμι και κάτω βιδωτή βάση



- πάνω από το υλικό τοποθετείται μεταλλικός δίσκος και πιέζεται με την πρέσα



- αφού πακτωθεί το δείγμα αφαιρείται η πρέσα και ο δίσκος και στη θέση του δίσκου τοποθετείται βιδωτό μεταλλικό καπάκι



- απομακρύνεται η βάση και αφαιρείται το τζάμι. Η επιφάνεια υλικού που αποκαλύπτεται είναι η επιθυμητή για τη μέτρηση



3.4. Χημικές αναλύσεις

Η μέθοδος φθορισμού ακτίνων-X (XRF) χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία για την εύρεση της χημικής σύστασης των κύριων στοιχείων σε δείγματα ολικού πετρώματος. Για το σκοπό αυτό κονιοποιήθηκαν τα εξεταζόμενα δείγματα και κατασκευάστηκαν υαλοποιημένα δισκία με αναλογία δείγματος : υλικό τήξης 1 : 8 και σε θερμοκρασία 1200 °C. Ως υλικό τήξης χρησιμοποιήθηκε μίγμα μεταβορικού λιθίου (LiBO_2) 66% και τετραβορικού λιθίου ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$) 34%. Η υαλοποίηση έγινε σε συσκευή τήξης τύπου Vulcan (FLUXANA, Deutschland).

Η ανάλυση έγινε σε φασματόμετρο τύπου S4-Pioneer (Bruker-AMS, Deutschland) που διαθέτει το Διατμηματικό Εργαστήριο Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας του Α.Π.Θ. (εικ. 8). Το φασματόμετρο χρησιμοποιεί λυχνία Rh, σύστημα 5 κρυστάλλων: LIF200, LIF220, LIF420, XS-55 και PET και δύο ανιχνευτές: έναν ανιχνευτή ροής αερίου (gas-flow counter) και έναν ανιχνευτή σπινθήρων. Ο ανιχνευτής αερίου χρησιμοποιεί αέριο P10 που είναι μίγμα 90% αργό και 10% μεθάνιο. Τα κύρια στοιχεία αναλύθηκαν στα υαλοποιημένα δισκία σε συνθήκες λειτουργίας 60kV και 45mA. Για τη βαθμονόμηση του φασματόμετρου χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω πρότυπα: GSN (γρανίτης), MAN (γρανίτης), JG-2 (γρανίτης), RGM-1 (ρυόλιθος), JR-1 (ρυόλιθος), JG-3 (γρανοδιορίτης), ACE (γρανίτης), G2 (γρανίτης).



Εικόνα 8. Συσκευή μέτρησης κύριων στοιχείων S4 Pioneer (Bruker-AMS, Deutschland).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Αποτελέσματα και συζήτηση

Στον πίνακα 3 δίνονται τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης επιλεγμένων κύριων στοιχείων.

Πίνακας 3. Χημική ανάλυση (% κ.β.) επιλεγμένων κύριων στοιχείων των εξεταζόμενων δειγμάτων.

α/α	Κωδικός δείγματος	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O _{3t}	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	L.O.I	Σύνολο
1	1	53,85	0,21	0,13	0,05	0,15	0,01	0,01	42,47	96,86
2	2	53,46	0,44	0,17	0,08	0,13	0,00	0,01	42,35	96,64
3	4	51,62	0,40	0,37	0,14	0,27	0,05	0,01	40,88	93,75
4	6	52,36	0,43	0,54	0,15	0,23	0,04	0,01	41,47	95,22
5	9	52,19	0,05	0,64	0,17	0,30	0,06	0,01	41,04	94,45
6	11	53,17	0,22	0,18	0,10	0,19	0,03	0,01	41,95	95,84
7	13	53,01	0,36	0,42	0,13	0,20	0,02	0,01	41,93	96,08
8	14	54,32	0,06	0,34	0,12	0,21	0,03	0,01	42,73	97,82
9	15	53,49	0,05	0,09	0,08	0,13	0,01	0,01	42,06	95,92
10	18	53,92	0,19	0,03	0,06	0,11	0,00	0,01	42,52	96,84
11	19	53,82	0,30	0,19	0,12	0,24	0,01	0,01	42,52	97,20
12	20	55,14	0,01	0,03	0,07	0,12	0,00	0,01	43,33	98,71
13	21	54,33	0,39	0,41	0,09	0,21	0,02	0,01	43,00	98,46
14	22	54,60	0,36	0,12	0,07	0,15	0,01	0,01	43,18	98,48

Όπως προκύπτει από τον παραπάνω πίνακα, τα εξεταζόμενα δείγματα είναι υψηλής περιεκτικότητας σε CaO (>50%) και χαρακτηρίζονται ως ανθρακικά πετρώματα. Συγκεκριμένα, το CaO κυμαίνεται μεταξύ 51,62 (κωδικός δείγματος 4) και 55,14% κ.β. (κωδικός δείγματος 20), ενώ το MgO κυμαίνεται μεταξύ 0,01 (κωδικός δείγματος 20) και 0,44% κ.β. (κωδικός δείγματος 2). Το SiO₂ κυμαίνεται μεταξύ 0,03 (κωδικοί δειγμάτων 18 & 20) και 0,64% κ.β. (κωδικός δείγματος 9), ενώ το Al₂O₃ μεταξύ 0,12 (κωδικός δείγματος 20) και 0,30% κ.β. (κωδικός δείγματος 9). Τέλος, το Fe₂O_{3t} που λειτουργεί και ως χρωστική στα ανθρακικά πετρώματα, κυμαίνεται μεταξύ 0,05 (κωδικός δείγματος 1) και 0,17% κ.β. (κωδικός δείγματος 9), ενώ τα οξείδια των αλκαλίων K και Na μετρήθηκαν σε πολύ μικρά ποσοστά, < 0,06% κ.β.

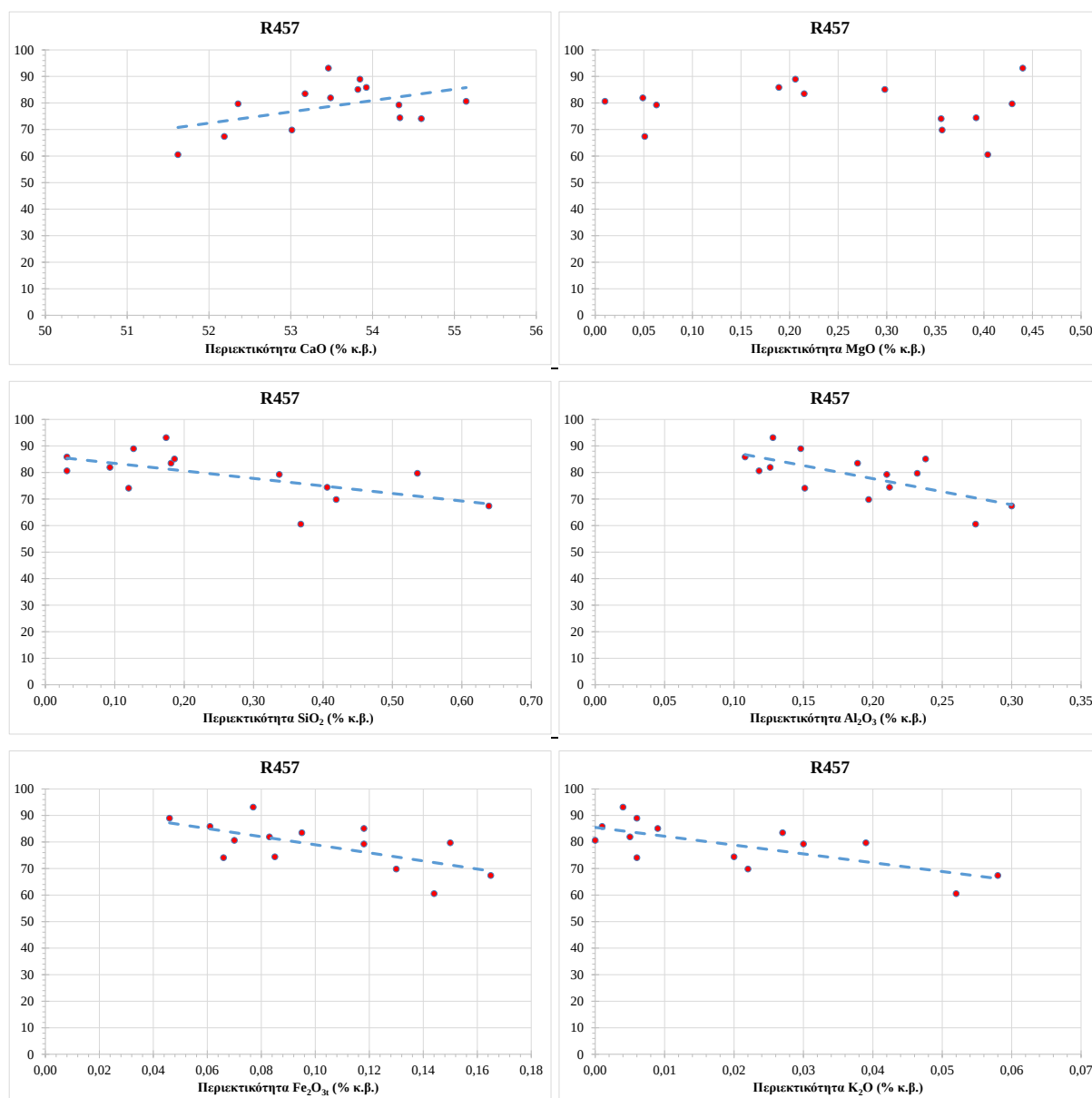
Στον πίνακα 4 δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των χρωματικών δεικτών των εξεταζόμενων ανθρακικών δειγμάτων.

Πίνακας 4. Χρωματικοί δείκτες των εξεταζόμενων ανθρακικών πετρωμάτων.

α/α	Κωδικός δείγματος	R457	Y	L*	a*	b*
1	1	88,97	89,30	95,75	-0,36	0,44
2	2	93,14	94,52	97,84	-0,44	1,06
3	4	60,55	64,95	64,95	0,44	4,23
4	6	79,70	81,86	81,86	-0,51	1,63
5	9	67,39	72,28	74,46	0,83	4,79
6	11	83,49	84,89	93,78	-1,52	1,24
7	13	69,82	75,29	75,29	-0,32	4,88
8	14	79,25	83,01	92,97	-0,78	3,25
9	15	81,93	84,50	93,61	-0,70	2,86
10	18	85,87	87,12	94,73	-1,02	1,16
11	19	85,09	86,37	94,41	-1,15	1,29
12	20	80,63	83,70	93,27	-0,89	2,75
13	21	74,41	79,60	91,45	-0,53	4,61
14	22	74,10	79,23	91,28	-0,52	4,59

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, τα δείγματα στην τιμή R457 παρουσιάζουν άνω του μετρίου ανακλαστικότητα με τις τιμές του Y να κυμαίνονται μεταξύ 64,95 (κωδικός δείγματος 4) και 94,52 (κωδικός δείγματος 2). Ο δείκτης L*, της φωτεινότητας, με τιμές μεγαλύτερες ή ίσες με εκείνες του Y, έχει μέγιστο 97,84 (κωδικός δείγματος 2) και ελάχιστο 64,95 (κωδικός δείγματος 4). Οι παράμετρος του a* κυμαίνεται από 0,83 (κωδικός δείγματος 9) έως -1,52 (κωδικός δείγματος 11) και αυτές του b* από 4,88 (κωδικός δείγματος 13) έως 0,44 (κωδικός δείγματος 1). Κανένα δείγμα δεν έχει αρνητικές τιμές b*, δηλαδή δεν παρατηρείται μπλε απόχρωση.

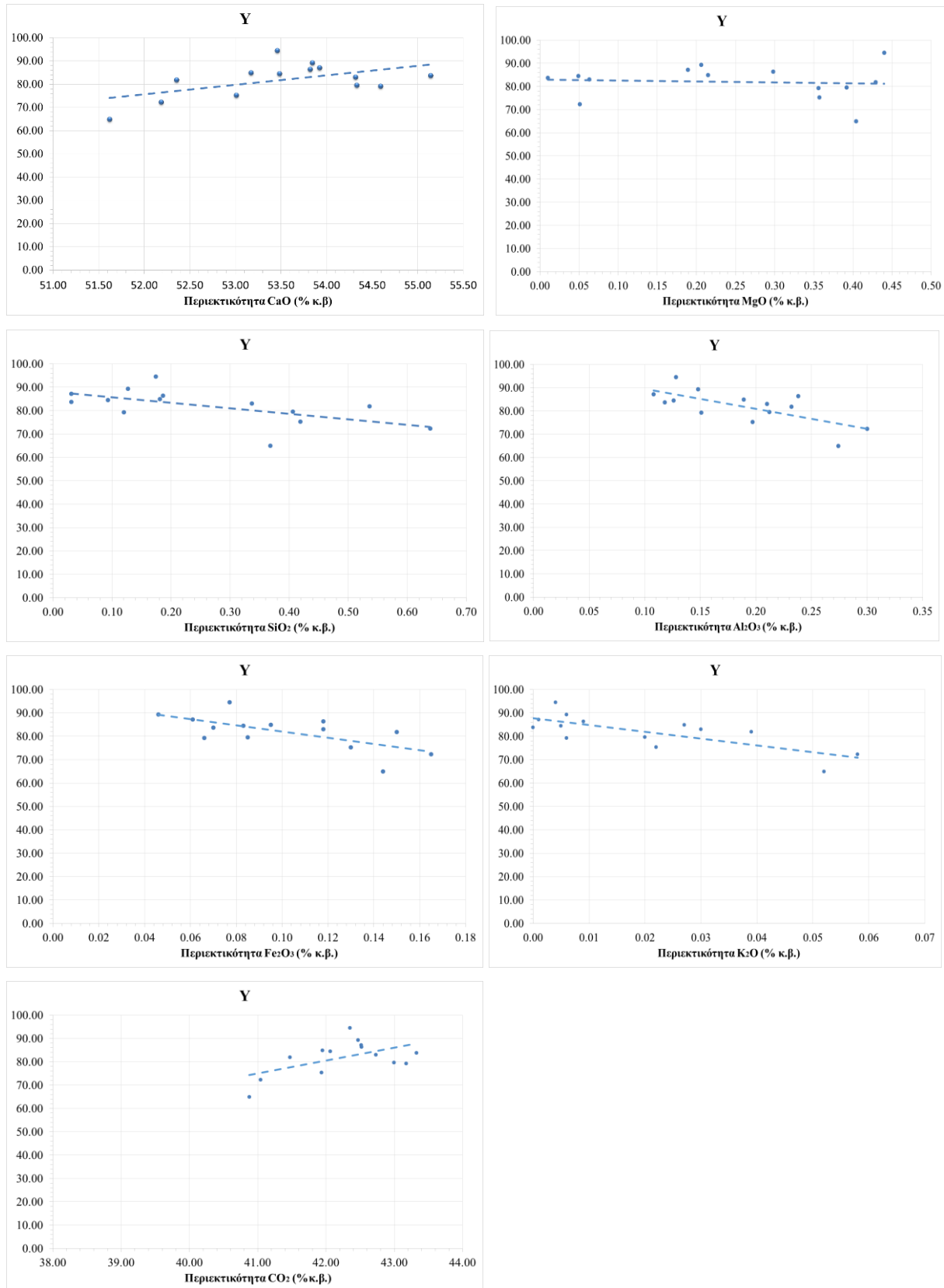
Στις εικόνες 9 έως 13 δίνονται οι συσχετίσεις μεταξύ των χρωματικών δεικτών και των χημικών στοιχείων που μετρήθηκαν.



Εικόνα 9. Συσχέτιση χρωματικής παραμέτρου R457 και των οξειδίων των στοιχείων που μετρήθηκαν.

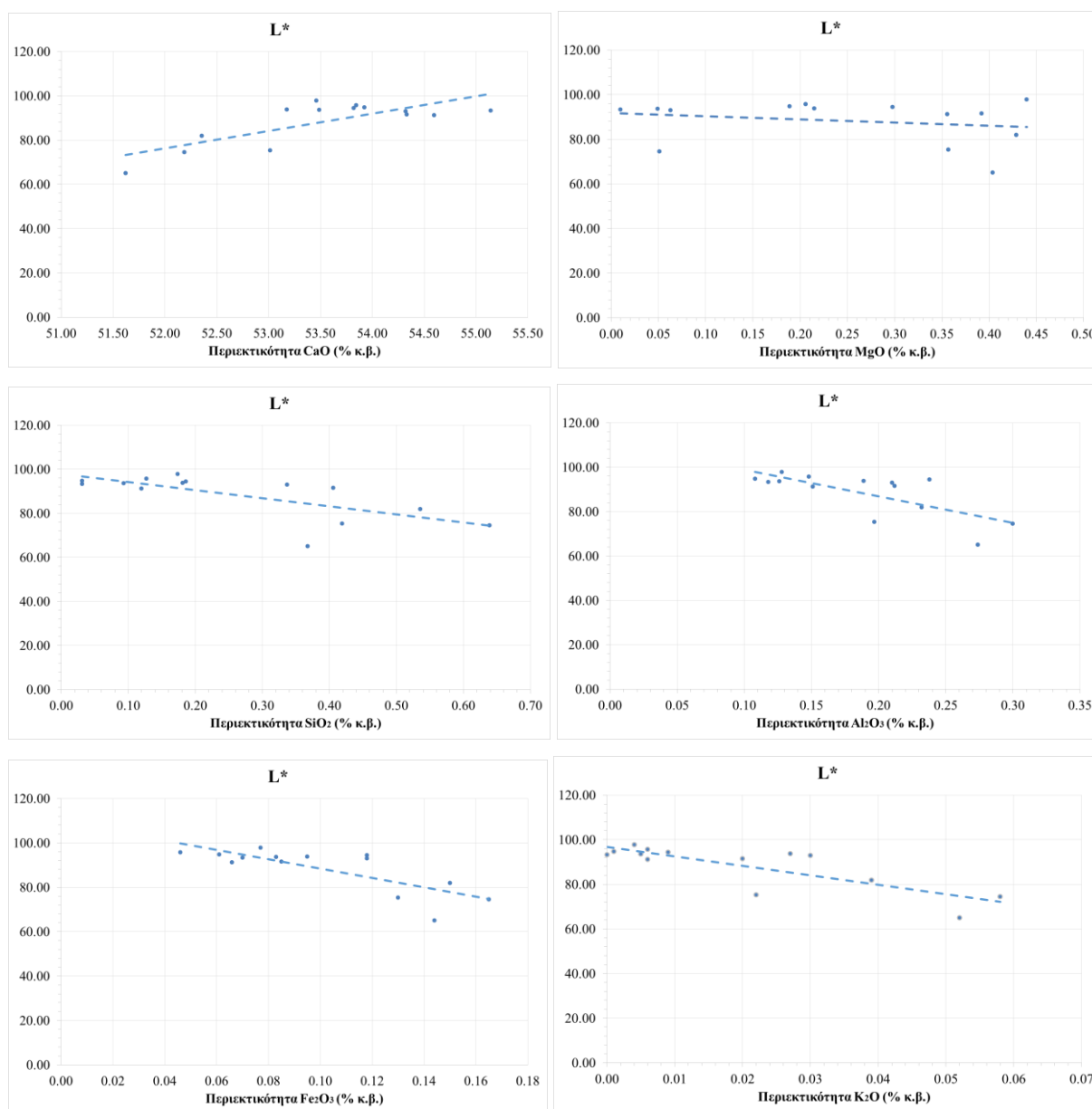
Από τα παραπάνω διαγράμματα των εικόνων 9 προκύπτει ότι υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ της παραμέτρου R457 και του CaO, παρατήρηση που αντανακλά την καθαρότητα των πετρωμάτων. Όσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητα ενός πετρώματος σε CaO, τόσο καθαρότερο είναι αυτό και τόσο υψηλότερη είναι η τιμή της χρωματικής παραμέτρου R457. Αντίθετα, τα οξείδια SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ και K₂O δείχνουν μία τάση να επηρεάζουν αρνητικά τη χρωματική παράμετρο R457. Τέλος, δεν παρατηρείται

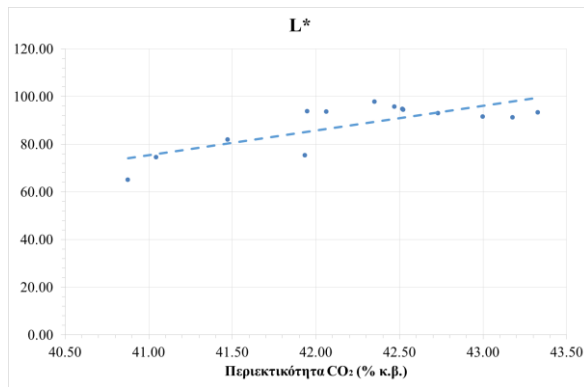
καμία τάση μεταξύ των τιμών R457 και MgO, δείχνοντας ότι η παρουσία τους στα ανθρακικά πετρώματα πιθανόν δεν επηρεάζει τις χρωματικές τους ιδιότητες.



Εικόνα 10. Συσχέτιση χρωματικής παραμέτρου Y και των οξειδίων των στοιχείων που μετρήθηκαν.

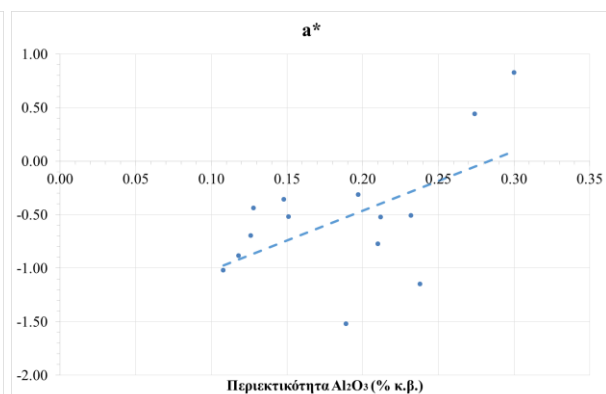
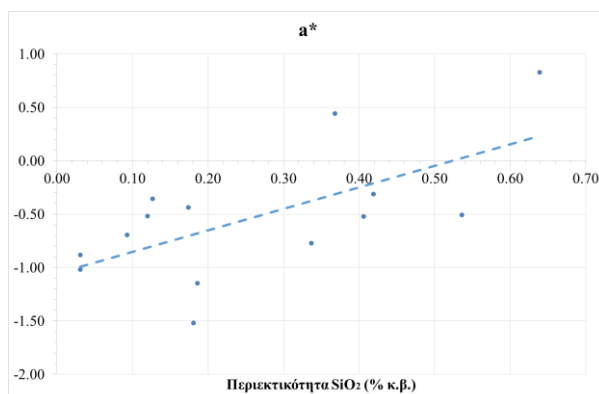
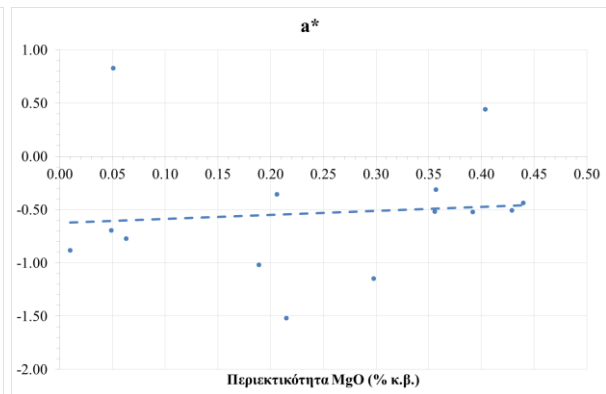
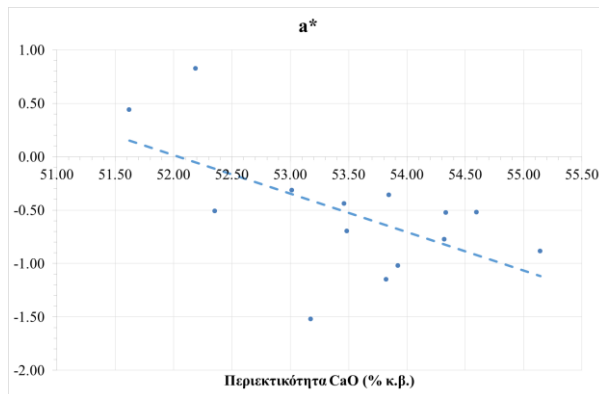
Από τα διαγράμματα για την παράμετρο Y προκύπτει θετική συσχέτιση για τα CaO και CO_2 συμπεραίνοντας πως όσο αυξάνεται η ποσότητα των οξειδίων αυτών στο πέτρωμα, τόσο φωτεινότερο είναι, με αντίστοιχα μεγαλύτερη τιμή της παραμέτρου Y . Τα στοιχεία SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 και K_2O εμφανίζουν αρνητική τάση, γεγονός που υποδεικνύει αρνητική επίδραση στην φωτεινότητα του πετρώματος. Τέλος, δεν παρατηρείται καμία τάση μεταξύ των τιμών Y και MgO , δείχνοντας ότι η παρουσία τους στα ανθρακικά πετρώματα πιθανόν δεν επηρεάζει τις χρωματικές τους ιδιότητες.

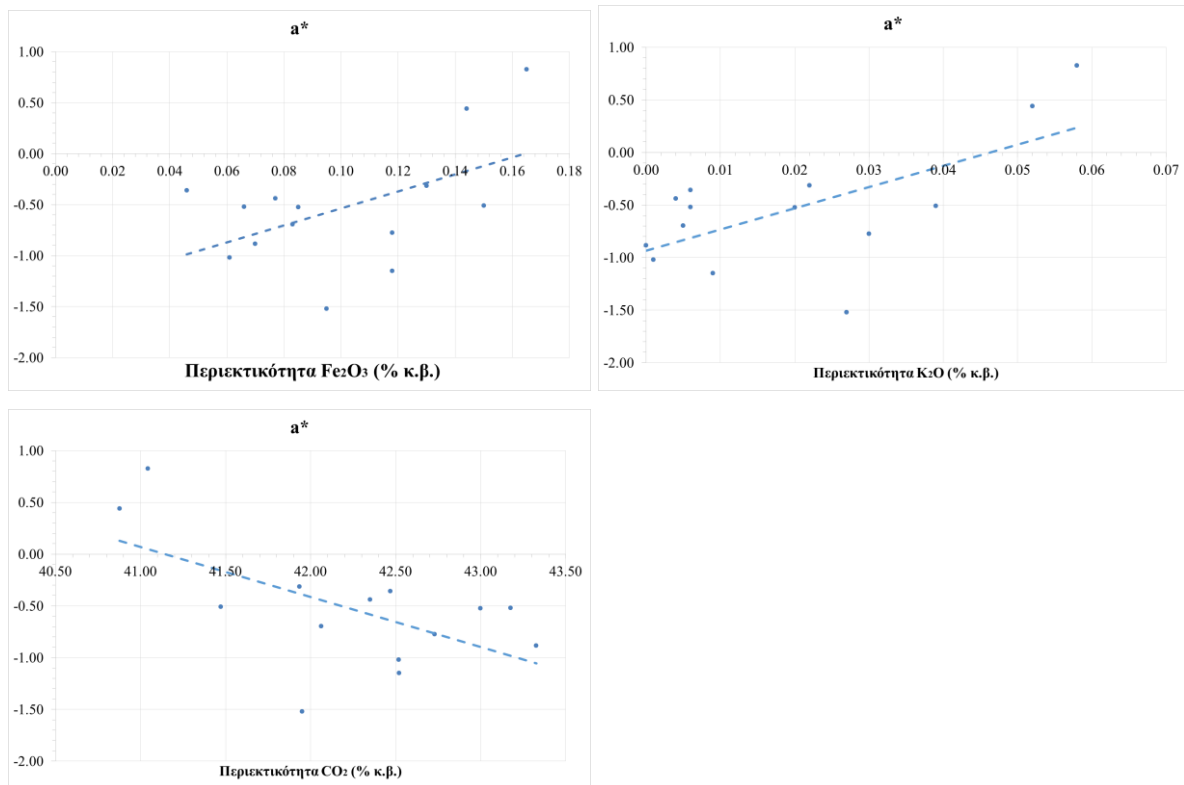




Εικόνα 11. Συσχέτιση παραμέτρων L^* και των οξειδίων των στοιχείων που μετρήθηκαν.

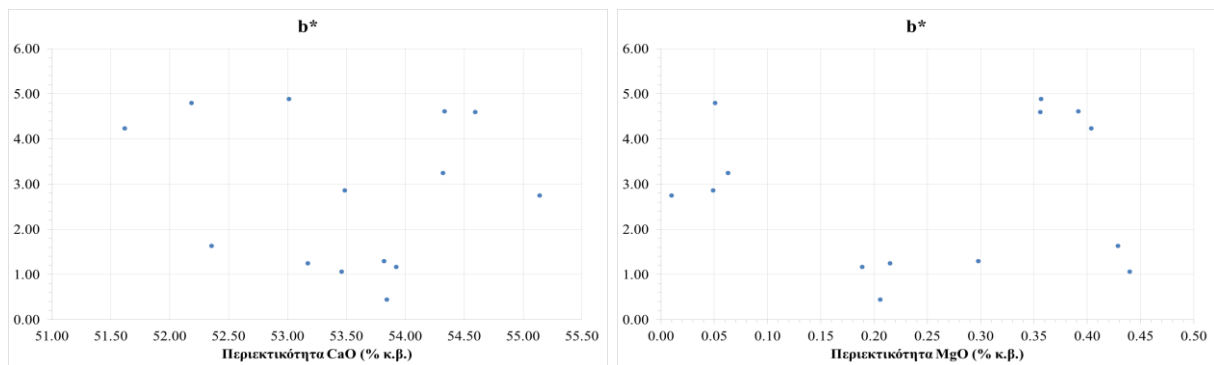
Η παράμετρος L^* παρουσιάζει όμοια στοιχεία με την τιμή Y από την οποία και εξαρτάται. Παρατηρείται θετική συσχέτιση για τα CaO και CO_2 με συνέπεια καθώς αυξάνεται η ποσότητα των οξειδίων αυτών στο πέτρωμα, τόσο λευκότερο είναι, με αντίστοιχα μεγαλύτερη τιμή της παραμέτρου L^* . Τα στοιχεία SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 και K_2O εμφανίζουν αρνητική τάση, γεγονός που υποδεικνύει αρνητική επίδραση στην λευκότητα του πετρώματος. Τέλος, δεν παρατηρείται καμία τάση μεταξύ των τιμών Y και MgO , δείχνοντας ότι η παρουσία τους στα ανθρακικά πετρώματα δεν επηρεάζει τις χρωματικές τους ιδιότητες.

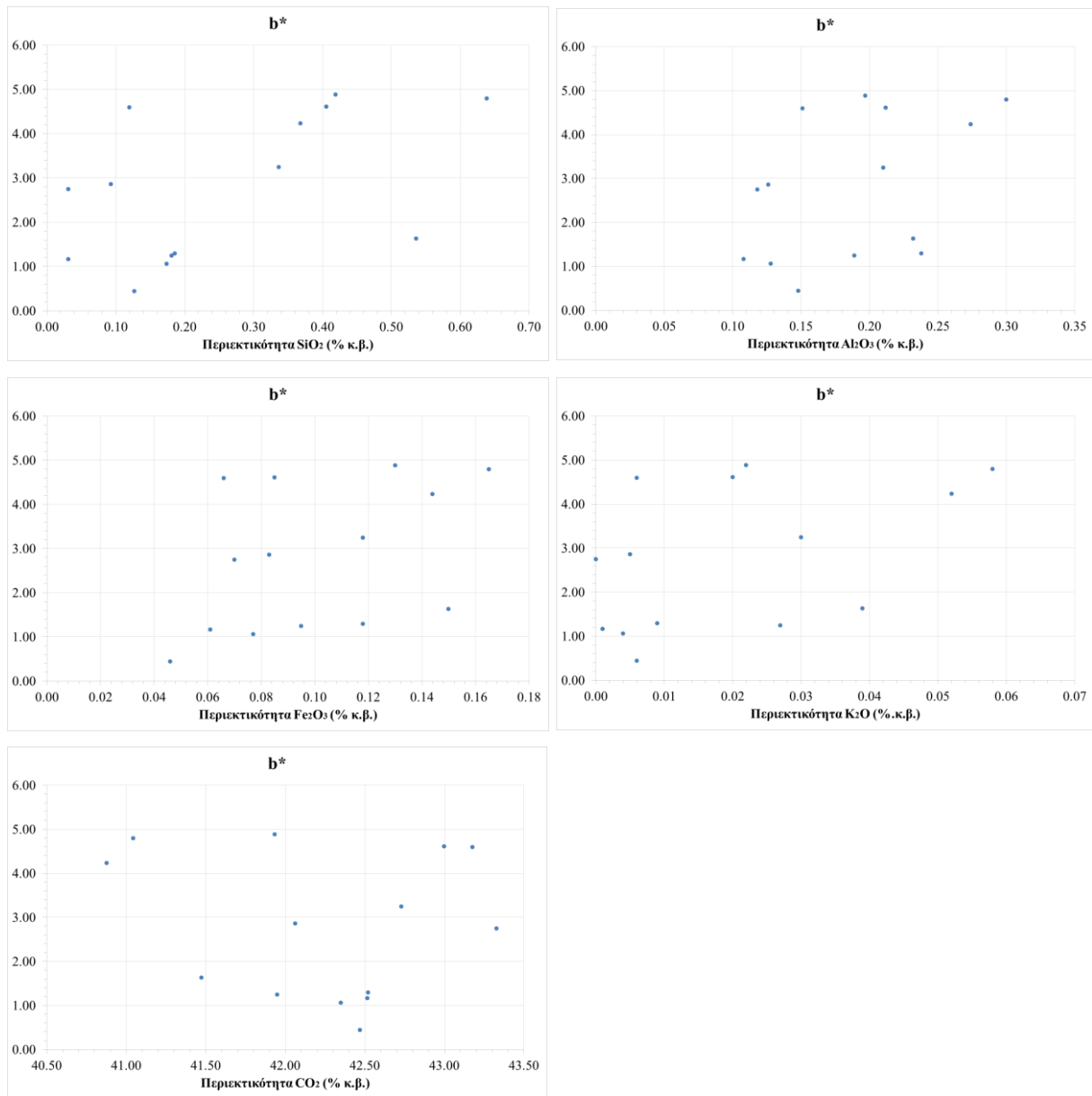




Εικόνα 12. Συσχέτιση παραμέτρων a^* και των οξειδίων των στοιχείων που μετρήθηκαν.

Για την παράμετρο a^* παρατηρείται μεγάλη διασπορά των στοιχείων παρόλα αυτά όμως σχηματίζουν μια αισθητή τάση. Το CaO και το CO_2 με την αύξηση της περιεκτικότητάς τους προσδίδουν πράσινο χρώμα στο πέτρωμα σύμφωνα με την φθίνουσα τάση των διαγραμμάτων τους. Τα στοιχεία SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 και K_2O ενώ σε μικρές ποσότητες δίνουν πράσινο χρώμα στο πέτρωμα, αν αυξηθούν τείνουν προς το μηδέν, δηλαδή το λευκό και με μικρή ακόμη αύξηση μπαίνουν στον θετικό άξονα δίνοντας κοκκινωπό χρώμα. Το MgO δεν φαίνεται να επηρεάζει την συμπεριφορά της παραμέτρου αυτής.





Εικόνα 13. Συσχέτιση παραμέτρων b^* και των οξειδίων των στοιχείων που μετρήθηκαν.

Από τα διαγράμματα της παραμέτρου b^* προκύπτει πως δεν παρουσιάζουν κανέναν συσχετισμό με τα οξείδια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα

Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των χρωματικών παραμέτρων των εξεταζόμενων ανθρακικών παραμέτρων, προέκυψε ότι:

1. Μεγαλύτερες περιεκτικότητες CaO προσφέρουν υψηλότερη καθαρότητα, λευκότητα και φωτεινότητα στο πέτρωμα (R457, Y και L^* , αντίστοιχα). Επίσης, υψηλές τιμές CaO προκαλούν μια απόχρωση στην πράσινη περιοχή του a^* .
2. Το CO_2 (LOI) συμβάλλει επίσης θετικά στην λευκότητα των πετρωμάτων. Όσο αυξάνεται η περιεκτικότητά του στο πέτρωμα, τόσο λευκότερο φαίνεται. Ομοίως με το CaO δίνει μία απόχρωση στην πράσινη περιοχή του a^* .
3. Τα SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 και K_2O μειώνουν την καθαρότητα, φωτεινότητα και λευκότητα των πετρωμάτων που περιέχονται, προσδίδοντας με μικρή αύξηση της κόκκινης απόχρωσης.
4. Το MgO δεν φαίνεται να επηρεάζει κάποια χρωματική παράμετρο.
5. Το πιο καθαρό και λευκό δείγμα είναι το Λευκό μάρμαρο Πεντέλης (κωδικός δείγματος 2) και αυτό με τους χαμηλότερους χρωματικούς δείκτες είναι το Καστανό Χίου (κωδικός δείγματος 4).
6. Το δείγμα με τον μεγαλύτερο θετικό συντελεστή a^* (κόκκινη περιοχή) που περιέχει και το περισσότερο Fe_2O_3 , Al_2O_3 και SiO_2 είναι της Άρτας με εμφανή την κόκκινη απόχρωση, ενώ το δείγμα με τον μικρότερο συντελεστή a^* (πράσινη περιοχή) είναι του Ξηροπόταμου Δράμας με εμφανή την πράσινη απόχρωση.

Βιβλιογραφία

- CIE, 1931. *Commission internationale de l'Eclairage proceedings*, Cambridge, Cambridge University Press.
- CIE, 1964. *Commission internationale de l'Eclairage proceedings*. Vienna Session, Committee Report E-1.4.1, Bureau Central de la CIE, Paris.
- CIE 1976. *Commission internationale de l'Eclairage*, Recommendations on Uniform Color Spaces, Color-Difference Equations, Psychometric Color Terms, Supplement No. 2 to CIE Publication No. 15, Colorimetry.
- Harben P.W., 1992. The industrial minerals handybook: a guide to markets, specifications, & prices. Industrial minerals division, London, 148p.
- Hellenic Marble Directory 1997. Hellenic Export Promotion Organization, Athens, Greece.
- ΙΓΜΕ, 1999. Λίθος: εργαστήριο ελέγχου ποιότητας διακοσμητικών πετρωμάτων, Αθήνα.
- Ρεμπούσκου Ε., 2001. Αξιολόγηση ανθρακικών πετρωμάτων Κρήτης για εφαρμογές ως πληρωτικά υλικά στη βιομηχανία. Διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά, 218 σ.
- TMI Brightness and color meter. User instruction manual, pp. 66-73.
- Τσιραμπίδης Α., 2008. Ιζηματογενή πετρώματα. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, 171-176.
- Wyszecki G. and Stiles W.S., 2000. Color science: concepts and methods, quantitative data and formulae, 2nd edition. J. Willey & Sons, New York, 968 p.