



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



ΜΑΡΚΟΣ Χ. ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος Α.Π.Θ.

ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ ΟΡΥΚΤΕΣ ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ:
ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΑ, ΧΗΜΙΚΑ ΚΑΙ
ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
‘ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ’
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ‘ΟΡΥΚΤΟΙ ΠΟΡΟΙ – ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ’

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2018





ΜΑΡΚΟΣ Χ. ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος Α.Π.Θ.

ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ ΟΡΥΚΤΕΣ ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ:
ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΑ, ΧΗΜΙΚΑ ΚΑΙ
ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος
Σπουδών 'Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία', Κλάδος ειδίκευσης 'Ορυκτοί Πόροι-
Περιβάλλον', Τομέας Ορυκτολογίας – Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας
Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 28-6-2018

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Καντηράνης Νικόλαος, Επίκουρος Καθηγητής, Επιβλέπων
Φιλιππίδης Ανέστης, Καθηγητής, Μέλος
Βαβελίδης Μιχαήλ, Καθηγητής, Μέλος



© Μάρκος Χ. Ιωαννίδης, Γεωλόγος, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ ΟΡΥΚΤΕΣ ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ: ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΑ, ΧΗΜΙΚΑ ΚΑΙ ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ - *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

© Markos X. Ioannides, Geologist, 2018

NATURAL PIGMENTS OF CYPRUS: MINERALOGICAL, CHEMICAL AND COLOR CHARACTERISTICS – *Master Thesis*

Citation:

Ιωαννίδης Μ.Χ., 2018. – Χρωστικές ορυκτές πρώτες ύλες της Κύπρου: Ορυκτολογικά, χημικά και χρωματικά χαρακτηριστικά. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 90 σελ.

Ioannides M.X., 2018. – Natural pigments of Cyprus: Mineralogical, chemical and color characteristics. Master Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 90 p.

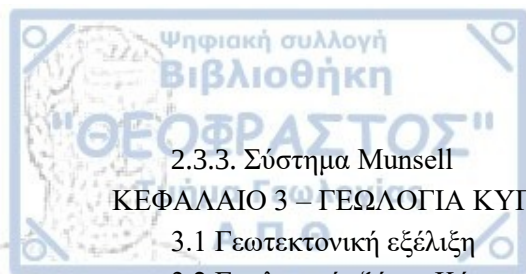
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	v
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	vii
ABSTRACT	ix
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	xi
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	xii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 –ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ	1
1.1 Χρωστικές ουσίες	1
1.2 Ιδιότητες Χρωστικών Ουσιών	1
1.2.1. Χημική σταθερότητα και αδράνεια	1
1.2.2. Χρώμα, ικανότητα χρωματισμού και επικάλυψης	1
1.2.3. Μέγεθος και σχήμα κόκκων	2
1.2.4. Δείκτης διάθλασης	2
1.2.5. Ειδικό βάρος	2
1.2.6. Ικανότητα προσρόφησης οργανικού μέσου	3
1.3 Κατηγοριοποίηση Χρωστικών Ουσιών	3
1.4 Κατηγορίες Χρωμάτων Χρωστικών Ουσιών	3
1.4.1. Ανόργανες χρωστικές ουσίες	3
1.4.1.1. Κόκκινα χρώματα	4
1.4.1.2. Κίτρινα χρώματα	5
1.4.1.3. Μπλε χρώματα	6
1.4.1.4. Πράσινα χρώματα	7
1.4.1.5. Λευκά χρώματα	8
1.4.1.6. Μαύρα χρώματα	9
1.4.2. Οργανικές Χρωστικές ουσίες	10
1.4.2.1. Κόκκινα χρώματα	10
1.4.2.2. Λευκά χρώματα	11
1.4.2.3. Μαύρα χρώματα	11
1.4.3. Τεχνητές χρωστικές ουσίες	12
1.4.3.1. Μπλε χρώματα	12
1.4.3.2. Λευκά χρώματα	13
1.4.3.3. Κόκκινα χρώματα	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 –ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΙΑ	15
2.1 Γενικά στοιχεία για το Χρώμα	15
2.2 Χρωματικοί όροι	16
2.2.1. Λαμπρότητα (Brightness)	16
2.2.2. Χροιά (Hue)	16
2.2.3. Χρωματική πληρότητα (Colorfulness)	17
2.2.4. Χρωματική Πυκνότητα (Saturation)	17
2.2.5. Λευκότητα (Lightness)	17
2.2.6. Χρωματική Αίσθηση (Chroma)	17
2.2.7. Απόχρωση (Nuance)	17
2.3 Χρωματομετρικά συστήματα	18
2.3.1. Συστήματα RGB και CIE/XYZ	18
2.3.2. Σύστημα CIELAB (1976)	21



2.3.3. Σύστημα Munsell	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΥΠΡΟΥ	27
3.1 Γεωτεκτονική εξέλιξη	28
3.2 Γεωλογικές ζώνες Κύπρου	30
3.2.1 Ζώνη Τροόδους	32
3.2.2 Ζώνη αυτοχθόνων ιζηματογενών πετρωμάτων	34
3.2.3 Ζώνη Μαμωνίων	36
3.2.4 Ζώνη Κερύνειας	39
3.3 Χρωστικές ορυκτές πρώτες ύλες Κύπρου	41
3.3.1 Ωχρες	41
3.3.2. Ούμβρες	42
3.3.3. Κόνδυλοι Μαγγανίου	43
3.3.4. Πράσινη Γη	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ	45
4.1 Δειγματοληψία	45
4.2 Ορυκτολογική μελέτη	48
4.3 Χημικές Αναλύσεις	49
4.4 Χρωματομετρία	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	53
5.1 Αποτελέσματα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ	53
5.2 Χημικές αναλύσεις	61
5.3 Χρωματομετρία	62
5.4 Συσχετισμοί χρωματικών παραμέτρων και σύστασης	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	83
Βιβλιογραφία	87



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι χρωστικές ορυκτές πρώτες ύλες κέντρισαν από την αρχαιότητα το ενδιαφέρον των ανθρώπων, με αποτέλεσμα να γίνεται χρήση τους τόσο για σκοπούς καλλωπισμού, όσο και σε τοιχογραφίες. Μέχρι σήμερα οι χρωστικές εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται για σκοπούς αισθητικής, οικοδομικής, βιοτεχνίας, κεραμικής κ.ά.

Η Κύπρος είναι γνωστό ότι διαθέτει χρωστικές ορυκτές πρώτες ύλες οι οποίες εκμεταλλεύονται από τα πολύ παλιά χρόνια. Πολλοί επιστήμονες που μελέτησαν την εξαιρετικού ενδιαφέροντος γεωλογία της, επισήμαναν την ύπαρξη τους και ανέπτυξαν διάφορες θεωρίες σχετικά με τη γένεση τους.

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία έχει ως στόχο τη μελέτη των ορυκτολογικών, χημικών και χρωματικών χαρακτηριστικών των χρωστικών ορυκτών πρώτων υλών της Κύπρου και να αξιολογηθεί η συσχέτιση του χρώματος με την ορυκτολογική και κυρίως τη χημική τους σύσταση.

Το 1ο Κεφάλαιο αναφέρεται στις Χρωστικές ουσίες. Αρχικά περιγράφονται οι ιδιότητες τους και στη συνέχεια πώς αυτές ταξινομούνται βάση της προέλευσής τους. Στο ίδιο κεφάλαιο αναφέρονται ανά χρώμα οι κυριότερες χρωστικές ουσίες.

Το 2ο Κεφάλαιο αναφέρεται στην Χρωματομετρία, όπου αρχικά περιγράφονται γενικές πληροφορίες για τη χρωματική αντίληψη και στη συνέχεια τα κυριότερα χρωματομετρικά συστήματα.

Το 3ο Κεφάλαιο αναφέρεται στη Γεωλογία της Κύπρου. Γίνεται περιγραφή της γεωτεκτονικής εξέλιξης της Κύπρου, περιγράφονται οι τέσσερις γεωλογικές ζώνες με τους σχηματισμούς που τις αποτελούν και τέλος γίνεται αναφορά στη δημιουργία των χρωστικών ουσιών της Κύπρου.

Στο 4ο Κεφάλαιο περιγράφονται τα υλικά και μέθοδοι έρευνας που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία.

Στο 5ο Κεφάλαιο αναφέρονται τα αποτελέσματα των μεθόδων έρευνας και γίνεται σχετική συζήτηση πάνω σε αυτά. Αναλύεται η ορυκτολογική και χημική σύσταση των χρωστικών ουσιών και αποδίδεται σε απόλυτες και σχετικές τιμές το χρώμα αυτών. Συσχετίζονται οι παράμετροι του χρώματος με τις ορυκτολογικές και χημικές αναλύσεις και εξάγονται συμπεράσματα για την επίδραση που έχουν τα χημικά στοιχεία στο χρώμα των εξεταζόμενων δειγμάτων.

Τέλος, στο 6ο Κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας.



Η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εκπονήθηκε, κατά την περίοδο 2016 – 2018, στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία» στην ειδίκευση «Ορυκτοί Πόροι – Περιβάλλον» του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας.

Την επίβλεψη της διατριβής είχε ο Επίκουρος Καθηγητής του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. κ. Καντηράνης Νικόλαος, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά για την συνεχή στήριξη και καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου. Η συμβολή του στην ολοκλήρωση της διατριβής ήταν απαραίτητη. Επίσης θα ήθελα να εκφράσω ιδιαίτερες ευχαριστίες προς τα άλλα δύο μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. κ. Βαβελίδη Μιχαήλ και τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. κ. Φιλιππίδη Ανέστη για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις που μου έκαναν οι οποίες βελτίωσαν σημαντικά την εργασία μου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να εκφράσω στους Ιωαννίδη Μανώλη Γεωλόγο (MSc), Σαράντη Γεώργιο Γεωλόγο, Στυλιανού Θρασύβουλο Γεωλόγος (MSc) και Ιωαννίδου Σωτηρούλα Γεωπόνο (MSc) για τις πολύτιμες συμβουλές και στήριξη που μου παρείχαν κατά την διάρκεια της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και όλους όσους βοήθησαν με οποιοδήποτε τρόπο την ολοκλήρωση της εργασίας μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Γεωλογικά η Κύπρος χωρίζεται σε 4 γεωλογικές ζώνες: τη ζώνη Τροόδους, τη ζώνη Αυτόχθονων Ιζηματογενών Πετρωμάτων, τη ζώνη ή σύμπλεγμα Μαμωνίων και τη ζώνη Κερύνειας. Οι ορυκτές χρωστικές πρώτες ύλες της Κύπρου εντοπίζονται στη ζώνη του Τροόδους. Στην παρούσα μελέτη συλλέχθηκαν 8 δείγματα από διαφορετικές περιοχές της ζώνης Τροόδους. Τα δείγματα μελετήθηκαν με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό της ορυκτολογικής τους σύστασης. Η χημική σύσταση των κύριων στοιχείων των δειγμάτων μετρήθηκε με τη μέθοδο φθορισμού ακτίνων-X (XRF). Οι χρωματομετρικές παράμετροι μετρήθηκαν σε χρωματόμετρο και μετέπειτα έγινε μετατροπή τους στο Σύστημα Αποχρώσεων Munsell.

Η ανάλυση της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) έδειξε: α) τα καστανοκίτρινα δείγματα είναι ώχρες και αποτελούνται κυρίως από γκαιτίτη σε ποσοστό μέχρι 92%, β) τα σκούρα καστανά δείγματα είναι ούμβρες και αποτελούνται κυρίως από οξείδια-υδροξείδια του μαγγανίου (μαγγανίτης, θοδοροκίτης, γρουτίτης) ενώ περιείχαν γκαιτίτη σε μεγάλο ποσοστό και αργιλικά ορυκτά σε μικρότερο ποσοστό, γ) το μαύρο δείγμα είναι κόνδυλος μαγγανίου και αποτελείται αποκλειστικά από οξείδια-υδροξείδια του μαγγανίου (μαγγανίτη και πυρολουσίτη) και δ) στα κόκκινα δείγματα η χρωστική είναι ο αιματίτης όπου η περιεκτικότητά του φτάνει μέχρι 25%.

Οι χημικές αναλύσεις των κύριων στοιχείων στα 8 δείγματα με τη μέθοδο φθορισμού ακτίνων-X έδειξαν: i) SiO_2 (0,06-91,09% κ.β.), ii) το TiO_2 μετρήθηκε σε 3 δείγματα σε πολύ χαμηλά ποσοστά (0,02-0,07% κ.β.), iii) το Al_2O_3 μετρήθηκε σε 7 δείγματα (0,26-8,12% κ.β.), iv) Fe_2O_{3t} (2,35-82,48% κ.β.), v) το MnO βρέθηκε σε 6 δείγματα (0,03-80,71% κ.β.), vi) το MgO μετρήθηκε σε 5 δείγματα σε χαμηλά ποσοστά (0,24-0,74% κ.β.), vii) το CaO μετρήθηκε σε 5 δείγματα (0,01-8,06% κ.β.), viii) το Na_2O μετρήθηκε σε 4 δείγματα (0,01-0,35% κ.β.), ix) το K_2O μετρήθηκε σε 4 δείγματα σε χαμηλά ποσοστά (0,10-0,19% κ.β.), x) το P_2O_5 μετρήθηκε σε 1 δείγμα (0,09% κ.β.) και τέλος xi) το SO_3 μετρήθηκε σε 1 δείγμα (17.36% κ.β.).

Οι συσχετισμοί μεταξύ της ορυκτολογίας και των κύριων χρωματικών παραμέτρων έδειξαν: α) τα μη μεταλλικά ορυκτά έχουν θετική συσχέτιση με τις χρωματικές παραμέτρους Y και L^* όπου ο χαλαζίας έχει τη σημαντικότερη επίδραση, β) ο γκαιτίτης παρουσιάζει θετική συσχέτιση με όλες κύριες τις χρωματικές παραμέτρους, γ) τα μαγγανιούχα ορυκτά παρουσιάζουν αρνητική συσχέτιση με όλες τις κύριες χρωματικές παραμέτρους.

Οι συσχετισμοί μεταξύ της χημικής σύστασης και των κύριων χρωματικών παραμέτρων έδειξαν: α) οι χρωματικές παράμετρος L^* και Y παρουσιάζουν αντίστοιχες

συσχετίσεις και εμφανίζουν ισχυρή αρνητική συσχέτιση με το MnO , ισχυρή θετική συσχέτιση με το TiO_2 (μόνο το Y), αρκετά ισχυρή θετική συσχέτιση με το K_2O , θετική τάση συσχέτισης με το SiO_2 , β) η χρωματική παράμετρος a^* παρουσιάζει ισχυρή αρνητική συσχέτιση με το MnO , ισχυρή θετική συσχέτιση με το CaO , αρκετά ισχυρή θετική συσχέτιση με το Al_2O_3 και μια τάση θετικής συσχέτισης με το SiO_2 , γ) η χρωματική παράμετρος b^* παρουσιάζει ισχυρή θετική συσχέτιση με το στοιχείο TiO_2 , αρκετά ισχυρή θετική συσχέτιση με το Fe_2O_3 και το K_2O , αρκετά ισχυρή αρνητική συσχέτιση με το MgO και ισχυρή αρνητική συσχέτιση με το MnO .

Τα αποτελέσματα της χρωματομετρίας έδειξαν ότι στο σύστημα αποχρώσεων Munsell τα δείγματα ταξινομούνται ως εξής: δείγμα 1: 8.42YR 5,21/7,34, δείγμα 2: 1,00Y 3,14/3,05, δείγμα 3: 0,35Y 3,44/4,08, δείγμα 4: 0,21GY 2,87/1,06, δείγμα 5: 9,19YR 4,41/6,13, δείγμα 6: 2,93YR 4,64/6,31, δείγμα 7: 3,11YR 4,67/4,79 και δείγμα 8: 6,67YR 5,33/6,25.

ABSTRACT

NATURAL PIGMENTS OF CYPRUS: MINERALOGICAL, CHEMICAL AND COLOR CHARACTERISTICS

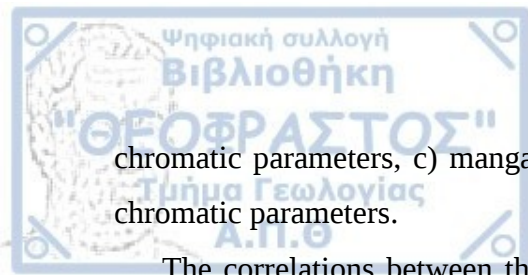
Markos X. Ioannides

Geologically Cyprus is divided into four geological zones: the Troodos zone, the Autochthonous Sedimentary Rocks zone, the Mammonian zone or complex and the Kyrenia zone. The mineral pigment raw materials of Cyprus are located in the Troodos zone. In the present study, eight samples were collected from different areas of the Troodos zone. The samples were investigated by the X-Ray Diffraction (XRD) method, for the qualitative and quantitative determination of their mineralogical composition. The chemical composition of the major elements of the samples was measured by the X-Ray Fluorescence (XRF) method. The colorimetric parameters were measured on a colorimeter and subsequently converted to the Munsell Tint System.

The X-Ray Diffraction (XRD) analysis showed: a) The brownish-yellow samples are ochres and are mainly composed from goethite in percentage up to 92%, b) The dark brown samples are umbers and consist mainly of manganese oxides-hydroxides (manganite, todorokite, groutite), while they contained goethite in a large percentage and clay minerals in a smaller percentage, c) The black sample is manganese nodule and consists exclusively of manganese oxides-hydroxides (manganite and pyrolusite) and d) In the red samples the pigment is hematite, where its content reaches up to 25%.

The chemical analyzes of major elements in the 8 samples, using the X-ray fluorescence method showed: i) SiO_2 (0.06-91.09 wt%), ii) the TiO_2 was measured in 3 samples at very low percentages (0.02-0.07 wt%), iii) the Al_2O_3 was measured in 7 samples (0.26-8.12 wt%), iv) Fe_2O_3 (2.35-82.48 wt%), v) the MnO was measured in 6 samples (0.03-80.71 wt%), vi) the MgO was measured in 5 samples at low percentages (0.24-0.74 wt%), vii) the CaO was measured in 5 samples (0.01-8.06 wt%), viii) the Na_2O was measured in 4 samples at low percentages (0.01-0.35 wt%), ix) the K_2O was measured in 4 samples at low percentages (0.10-0.19 wt%), x) the P_2O_5 was measured in 1 sample (0.09 wt%) xi) the SO_3 was measured in 1 sample (17.36 wt%).

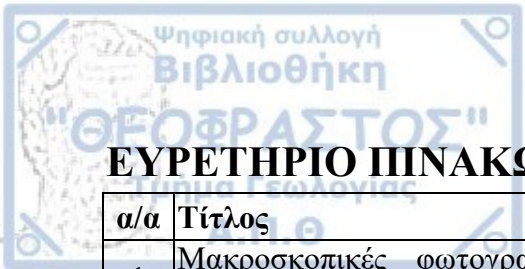
The correlations between mineralogy and the main chromatic parameters showed: a) non-metallic minerals have a positive correlation with the chromatic parameters Y and L^* where quartz has the most significant effect, b) goethite has a positive correlation with all the main



chromatic parameters, c) manganese minerals have a negative correlation with all the main chromatic parameters.

The correlations between the chemical composition and the main chromatic parameters showed: a) the chromatic parameters L^* and Y have strong negative correlation with MnO , strong positive correlation with TiO_2 (only Y parameter), quite strong positive correlation with K_2O , positive correlation trend with SiO_2 , b) the chromatic parameter a^* shows a strong negative correlation with MnO , strong positive correlation with CaO , quite strong positive correlation with Al_2O_3 and positive correlation trend with SiO_2 concentrations, c) the chromatic parameter b^* shows strong positive correlation with the TiO_2 concentration, quite strong positive correlation with Fe_2O_{3t} and K_2O concentrations, quite strong negative correlation with MgO and strong negative correlation with MnO concentrations.

The results of the colorimetry showed that at the Munsell shade system the samples are classified as follows: sample 1: 8.42YR 5.21/7.34, sample 2: 1.00Y 3.14/3.05, sample 3: 0.35Y 3.44/4.08, sample 4: 0.21GY 2.87/1.06, sample 5: 9.19YR 4.41/6.13, sample 6: 2.93YR 4.64/6.31, sample 7: 3.11YR 4.67/4.79 and sample 8: 6.67YR 5.33/6.25.



ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

α/α	Τίτλος	Σελίδα
1	Μακροσκοπικές φωτογραφίες των συλλεχθέντων δειγμάτων και των σχηματισμών από τους οποίους λήφθηκαν κατά την υπαίθρια έρευνα.	46
2	Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) των εξεταζόμενων δειγμάτων.	53
3	Χημική σύσταση (% κ.β.) κύριων στοιχείων των εξεταζόμενων δειγμάτων	61
4	Χρωματικοί δείκτες των εξεταζόμενων δειγμάτων	63
5	Απόδοση των εξεταζόμενων δειγμάτων στην κλίμακα χρώματος Munsell	64

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

α/α	Τίτλος	Σελίδα
1	Κατηγοριοποίηση χρωστικών ουσιών βάση προέλευσης.	3
2	Πράσινη Γη	8
3	Αποξηραμένο φυτό <i>Rubia Tinctorum</i>	11
4	Αιγυπτιακό Μπλε	13
5	Το χρωματικό τρίγωνο του Maxwell	18
6	Φασματικές κατανομές χρωμάτων σε 2° και 10° (CIE 1931, 1964).	20
7	Διάγραμμα χρωματικότητας CIE (1931).	20
8	Ο χρωματικός χώρος CIELAB (1976)	22
9	Διάγραμμα LCh (https://sensing.konicaminolta.us)	23
10	Χρωματικό σύστημα Munsell στην τιμή V =5	25
11	Τοπογραφικός Χάρτης Κύπρου	27
12	Σχηματική απεικόνιση της δημιουργίας του οφιολίθου του Τροόδους (Α) και της γεωλογικής εξέλιξης της Κύπρου (Β-Δ)	29
13	Οι Γεωλογικές Ζώνες της Κύπρου	31
14	Απλοποιημένος Γεωλογικός Χάρτης της Κύπρου	31
15	Ζώνη Τροόδους	33
16	Ζώνη Αυτόχθονων Ιζημάτων	34
17	Σύμπλεγμα Μαμωνίων	37
18	Ζώνη Κερύνειας	40
19	Θέσεις δειγματοληψίας των εξεταζόμενων δειγμάτων.	45
20	Περιθλασίμετρο τύπου PHILIPS PW1710 του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας	49
21	XRF S4 Pioneer Bruker-AMS του Διατμητικού Εργαστηρίου Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας, Α.Π.Θ.	50
22	Συσκευή μέτρησης παραμέτρων χρώματος της εταιρίας TMI που διαθέτει ο Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας.	51
23	Μηχανικό γουδί με εξοπλισμό αχάτη της εταιρίας Retsch που διαθέτει ο Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας.	51
24	Διαδικασία παρασκευής δοκιμίων για τη μέτρηση των χρωματικών παραμέτρων	52
25	Περιθλασιόγραμμα του δείγματος 1	54
26	Περιθλασιόγραμμα του δείγματος 2	55
27	Περιθλασιόγραμμα του δείγματος 3	56
28	Περιθλασιόγραμμα του δείγματος 4	57
29	Περιθλασιόγραμμα του δείγματος 5	58
30	Περιθλασιόγραμμα του δείγματος 6	59
31	Περιθλασιόγραμμα του δείγματος 7	60
32	Περιθλασιόγραμμα του δείγματος 8	61
33	Συσχέτιση του ποσοστού των μη μεταλλικών ορυκτών (% κ.β.) με την παράμετρο Y (%)	66

34	Συσχέτιση του ποσοστού των μη μεταλλικών ορυκτών (% κ.β.) με την παράμετρο L^* (%).	66
35	Συσχέτιση του ποσοστού του χαλαζία (% κ.β.) με την παράμετρο Y (%).	67
36	Συσχέτιση του ποσοστού του χαλαζία (% κ.β.) με τις παράμετρο L^* (%).	67
37	Συσχέτιση του ποσοστού του γκαιίτη (% κ.β.) με την παράμετρο Y (%).	68
38	Συσχέτιση του ποσοστού του γκαιίτη (% κ.β.) με την παράμετρο L^* (%).	68
39	Συσχέτιση της περιεκτικότητας του γκαιίτη (% κ.β.) με την παράμετρο a^* (%).	69
40	Συσχέτιση της περιεκτικότητας του γκαιίτη (% κ.β.) με την παράμετρο b^* (%).	69
41	Συσχέτιση του ποσοστού των Mn-ούχων ορυκτών (% κ.β.) με την παράμετρο Y (%).	70
42	Συσχέτιση του ποσοστού των Mn-ούχων ορυκτών (% κ.β.) με την παράμετρο L^* (%).	71
43	Συσχέτιση του ποσοστού των Mn-ούχων ορυκτών (% κ.β.) με την παράμετρο a^* (%).	71
44	Συσχέτιση του ποσοστού των Mn-ούχων ορυκτών (% κ.β.) με την παράμετρο b^* (%).	72
45	Συσχέτιση της περιεκτικότητας σε MnO (% κ.β.) με την παράμετρο L^* (%).	73
46	Συσχέτιση της περιεκτικότητας σε MnO (% κ.β.) με την παράμετρο Y (%).	73
47	Συσχέτιση της περιεκτικότητας σε TiO_2 (% κ.β.) με την παράμετρο L^* (%).	74
48	Συσχέτιση της περιεκτικότητας σε TiO_2 (% κ.β.) με την παράμετρο Y (%).	74
49	Συσχέτιση της περιεκτικότητας σε K_2O (% κ.β.) με την παράμετρο L^* (%).	75
50	Συσχέτιση της περιεκτικότητας σε K_2O (% κ.β.) με την παράμετρο Y (%).	75
51	Συσχέτιση της περιεκτικότητας σε SiO_2 (% κ.β.) με την παραμέτρους L^* (%).	76
52	Συσχέτιση της περιεκτικότητας σε SiO_2 (% κ.β.) με την παράμετρο Y (%).	76
53	Συσχέτιση της παραμέτρου a^* (%) με την περιεκτικότητα σε MnO (% κ.β.)	77
54	Συσχέτιση της παραμέτρου a^* (%) με την περιεκτικότητα σε CaO (% κ.β.)	78
55	Συσχέτιση της παραμέτρου a^* (%) με την περιεκτικότητα σε Al_2O_3 (% κ.β.)	78
56	Συσχέτιση της παραμέτρου a^* (%) με την περιεκτικότητα σε SiO_2 (% κ.β.)	79
57	Συσχέτιση της παραμέτρου b^* (%) με την περιεκτικότητα σε TiO_2 (% κ.β.)	80
58	Συσχέτιση της παραμέτρου b^* (%) με την περιεκτικότητα σε και Na_2O (% κ.β.)	80
59	Συσχέτιση της παραμέτρου b^* (%) με την περιεκτικότητα σε Fe_2O_3 (% κ.β.).	81
60	Συσχέτιση της παραμέτρου b^* (%) με την περιεκτικότητα σε K_2O (% κ.β.).	81
61	Συσχέτιση της παραμέτρου b^* (%) με την περιεκτικότητα σε MgO (% κ.β.).	82
62	Συσχέτιση της παραμέτρου b^* (%) με την περιεκτικότητα σε MnO (% κ.β.).	82



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 –ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

1.1 Χρωστικές ουσίες

Ως χρωστική, αναφέρουμε ένα χρωματοφόρο λεπτόκοκκο υλικό το οποίο μετά από ανάμειξη με κάποιο συνδετικό μέσο δημιουργεί το χρώμα. Οι χρωστικές παραμένουν αδιάλυτες στον υγρό φορέα, καθώς δεν παρουσιάζουν χημική συνάφεια με το διαλυτικό μέσο, το συνδετικό μέσο και τα υπόλοιπα συστατικά του χρωματικού στρώματος, με αποτέλεσμα να δημιουργούν τη χρωματική εντύπωση στη ζωγραφική επιφάνεια στην οποία γίνεται επίχριση τους. Στη φύση σε αρκετά καθαρή κατάσταση ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς ιδιαίτερη επεξεργασία, βρίσκονται οι ώχρες και οι έγχρωμες γαίες, ενώ κάποια ορυκτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως χρωστικές ουσίες μετά από μία διαδικασία λειοτρίβησης τους με την οποία επιτυγχάνεται το επιθυμητό μέγεθος κόκκων, ενώ παράλληλα απομακρύνονται με επιλεκτική κοσκίνιση οι ανεπιθύμητες προσμίξεις του πετρώματος.

1.2 Ιδιότητες Χρωστικών Ουσιών

Από τα αρχαία χρόνια η κυριότερη εφαρμογή των χρωστικών ουσιών ήταν οι τοιχογραφίες, εκεί όπου η δημιουργία ενός ζωγραφικού έργου απαιτούσε πολύ ιδιαίτερες συνθήκες και το αποτέλεσμα καθοριζόταν από πολλούς παράγοντες. Καθοριστικό ρόλο είχε η ικανότητα του ζωγράφου και η επιλογή της κατάλληλης χρωστικής βάση απαιτούμενων ιδιοτήτων. Οι ιδιότητες των χρωστικών οι οποίες πρέπει να μελετώνται και να λαμβάνονται υπόψη για χρήση τους στη ζωγραφική είναι οι ακόλουθες:

1.2.1. Χημική σταθερότητα και αδράνεια

Μία χρωστική ουσία θα πρέπει να είναι σταθερή χημικά και αδρανής ως προς τα άλλα υλικά που αποτελούν τα στρώματα της τοιχογραφίας. Επίσης, θα πρέπει να είναι ανθεκτική στην επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών και η χημική σύστασή της να παραμένει σταθερή, χωρίς να χάνεται η χρωματική ιδιότητα. Οι χρωστικές που δεν κατέχουν αυτά τα χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνταν σε μίγματα με οργανικούς φορείς, οι οποίοι δημιουργούν ένα προστατευτικό περίβλημα γύρω από κάθε κόκκο χρωστικής.

1.2.2. Χρώμα, ικανότητα χρωματισμού και επικάλυψης

Κάθε χρωστική αποδίδει διαφορετικό χρώμα με αποτέλεσμα αυτή η ικανότητά της, να μεταδίδει δηλαδή το χρώμα της σε άλλα υλικά, να χαρακτηρίζεται ως ικανότητα

χρωματισμού, ενώ η ικανότητα επικάλυψης αφορά το ελάχιστο πάχος χρωματικού στρώματος που απαιτείται για να επικαλυφθούν πλήρως όλα τα στοιχεία του υποκείμενου στρώματος.

1.2.3. Μέγεθος και σχήμα κόκκων

Η ευκολία επίστρωσης του χρωματικού στρώματος και η ομοιομορφία του επηρεάζονται από το μέγεθος και το σχήμα των κόκκων της χρωστικής. Επίσης, ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων δημιουργούνται διαφορετικές χρωματικές αποχρώσεις και μπορούν να σχηματιστούν λείες ή τραχείες επιφάνειες. Το μέγεθος της ανάκλασης του προσπίπτοντος φωτός καθορίζεται από το μέγεθος των σωματιδίων της χρωστικής, όπου πολύ μικρά σωματίδια κάνουν το επίστρωμα αδιαφάνες, ενώ πολύ μεγάλα δημιουργούν στην επιφάνεια πρόβλημα τραχύτητας. Η απόχρωση και η χρωστική δύναμη επηρεάζονται από το σχήμα των σωματιδίων, μικροί κρύσταλλοι παρουσιάζουν μεγαλύτερη χρωστική ικανότητα από μεγαλύτερους.

1.2.4. Δείκτης διάθλασης

Ο δείκτης διάθλασης μιας χρωστικής ύλης καθορίζει την αδιαφάνεια του χρωματικού στρώματος, καθώς είναι η ιδιότητα που καθορίζει πόσο διαπερατή είναι στο φως η χρωστική, την ποσότητα δηλαδή φωτός που ανακλάται ή προσροφάται. Μία μεγάλη τιμή δείκτη διάθλασης της χρωστικής και χαμηλού δείκτη διάθλασης του διαλυτικού μέσου επιτυγχάνει μεγαλύτερη ανάκλαση και εξασφαλίζει υψηλό βαθμό καλυπτικής ικανότητας, έτσι μειώνεται το ελάχιστο πάχος του απαιτούμενου χρωματικού στρώματος για την επιθυμητή αδιαφάνεια. Όσο η διαφορά μεταξύ δείκτη διάθλασης χρωστικής και διαλύτη μειώνεται, μειώνεται η καλυπτική ικανότητα του χρωματικού στρώματος, ενώ η αδιαφάνεια χάνεται όταν ο δείκτης διάθλασης χρωστικής και διαλύτη είναι ο ίδιος.

1.2.5. Ειδικό βάρος

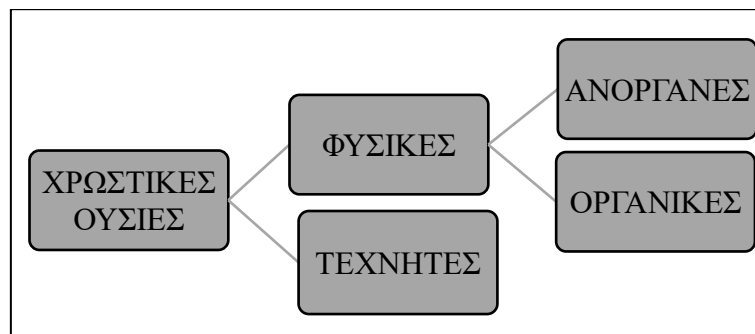
Ως ειδικό βάρος της χρωστικής ορίζεται η ιδιότητα που εκφράζεται από τον λόγο του βάρους της σε γραμμάρια (g) ως προς τον καθαρό όγκο των σωματιδίων της σε κυβικά εκατοστά (cm^3). Η ομοιογένεια των χρωματικών στρωμάτων επηρεάζεται από το ειδικό βάρος των χρωστικών. Για αυτό το λόγο απαιτείται έλεγχος στις χρωστικές που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε ένα χρωματικό στρώμα. Εάν χρησιμοποιηθεί μίγμα βαρέων και ελαφρών χρωστικών, σε συνδυασμό με μεγάλους πάχους χρωματικό στρώμα οριζόντιας εφαρμογής, μπορεί να επέλθει διαχωρισμός των συστατικών.

1.2.6. Ικανότητα προσρόφησης οργανικού μέσου

Ως απορρόφηση ελαίου ορίζουμε την ποσότητα οργανικού μέσου (λινέλαιο) που απαιτείται να απορροφηθεί από μια ποσότητα 100 g χρωστικής, ώστε να μετατραπεί σε μια πολτώδη και εύπλαστη μάζα.

1.3 Κατηγοριοποίηση Χρωστικών Ουσιών

Με βάση την προέλευσή τους οι χρωστικές ταξινομούνται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, στις τεχνητές και στις φυσικές (Εικ. 1). Η κατηγορία των φυσικών χρωστικών κατηγοριοποιείται στη συνέχεια σε *οργανικές* και *ανόργανες*. Οι οργανικές χρωστικές δύναται να έχουν φυτική ή ζωική προέλευση, με την παρουσία τους στις τοιχογραφίες να είναι σπάνια, ενώ οι ανόργανες που εφαρμόζονται ευρέως στις τοιχογραφίες προέρχονται από φυσικούς λίθους και γαίες. Οι τεχνητές χρωστικές παρασκευάζονται από τον άνθρωπο από αρχαιωτάτων χρόνων, καθώς δεν υπάρχουν στη φύση. Η πρώτη τεχνητή χρωστική παρασκευάστηκε την 3^η χιλιετία π.Χ. στην αρχαία Αίγυπτο και αναφέρεται ως «το μπλε της Αιγύπτου» (Pradel et al. 2006).



Εικόνα 1. Κατηγοριοποίηση χρωστικών ουσιών βάσει προέλευσης.

1.4 Κατηγορίες Χρωμάτων Χρωστικών Ουσιών

Πιο κάτω ακολουθεί περιγραφή των χρωμάτων των χρωστικών ουσιών σε σχέση με την κατηγοριοποίησή τους βάσει προέλευσης.

1.4.1. Ανόργανες χρωστικές ουσίες

Η πλειοψηφία των χρωστικών που χρησιμοποιήθηκαν στα ζωγραφικά έργα από την αρχαιότητα ανήκουν στην κατηγορία των ανόργανων. Χρησιμοποιούνται σε μορφή σκόνης έπειτα από λειοτρίβηση φυσικών λίθων και γαιών και παραμένουν αδιάλυτες στο νερό.

1.4.1.1. Κόκκινα χρώματα

Κόκκινη όχρα

Η κόκκινη όχρα είναι γνωστή και ως φυσική γη «natural earth» και αποτελείται από ένα μίγμα οξειδίων του σιδήρου, πυριτικών αλάτων και αργίλου. Ο εντοπισμός κόκκινης όχρας στο σπήλαιο της Αλταμίρα που βρίσκεται στην Κανταβρία της Ισπανίας και χρονολογήθηκε από την παλαιολιθική εποχή την κατατάσσει στις πρώιμες χρωστικές (Hernaz et al. 2012). Οι κόκκινες όχρες είναι δυνατόν να προέρχονται από διάφορες πηγές και να έχουν διάφορες ονομασίες (π.χ. Περσικό κόκκινο, Ισπανικό κόκκινο), αλλά το χρώμα τους αποδίδεται πάντα στην παρουσία αιματίτη (Hradil et al. 2003). Η προέλευσή τους μπορεί να είναι ιζηματογενής ή ηφαιστειογενής, αλλά και από προϊόντα αποσάθρωσης ορυκτών του σιδήρου. Η περιεκτικότητά τους σε αιματίτη και η κοκκομετρία των κυριότερων συστατικών επηρεάζουν τον χρωματικό τόνο, αλλά και την ικανότητα επικάλυψης.

Όπως αναφέρουν οι Mastrotheodoros et al. (2010) ανάμεσα στις χρωστικές των οξειδίων του σιδήρου, οι κόκκινες όχρες αποτελούν τις αρχαιότερες και πιο διαδεδομένες στην παλέτα των ζωγράφων και αποτελούν επίσης αντικείμενο τρεχουσών ερευνών αρχαιολογικού και γεωλογικού ενδιαφέροντος. Κατά τη διάρκεια των ιστορικών χρόνων οι φυσικές όχρες προμήθευαν κατά το ήμισυ την περίφημη παλέτα τεσσάρων χρωμάτων των κυριότερων Ελλήνων ζωγράφων της κλασικής και ελληνιστικής περιόδου.

Οι αναφορές στην επεξεργασία των ωχρών ξεκινούν με τον Θεόφραστο, ο οποίος περιγράφει το 315-312 π.Χ., την παραγωγή ενός υποκατάστατου για το κόκκινο, τον "μίλτο" μέσω πύρωσης φυσικής κίτρινης όχρας. Η ονομασία "μίλτος", χαρακτήριζε όλα τα γαιώδη κόκκινα χρώματα που διαθέτουν χρωστική ιδιότητα. Σύμφωνα με τον Θεόφραστο (Eichholz, 1965), οι μεταβολές στη θερμοκρασία του φούρνου μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα την αλλοίωση της τελικής απόχρωσης της χρωστικής ουσίας και συγκεκριμένα γίνεται περιγραφή τριών αποχρώσεων φυσικού "μίλτου", βαθύ κόκκινο, απαλό κόκκινο και μεσαίο κόκκινο. Οι δύο πρώτες αποχρώσεις απαιτούν προσαρμογή με ανάμειξη, ενώ η τρίτη δεν απαιτεί και ως εκ τούτου, ονομάζεται «αυτάρκης» (Mastrotheodoros et al. 2010).

Κινναβαρίτης

Ο Κινναβαρίτης (HgS) παίρνει το όνομα του από το ινδικό cinnabar (κόκκινη ρητίνη) λόγω του κοκκινωπού του χρώματος. Είναι μια φυσική χρωστική που εντοπίζεται σε φλέβες που σχηματίστηκαν σε χαμηλές θερμοκρασίες κοντά σε νέα ηφαιστειακά πετρώματα, αλλά και θερμές πηγές. Έχει εντοπιστεί επίσης σε ψαμμίτες και χαλαζίτες αντικαθιστώντας το χαλαζία. Μπορεί να συνυπάρξει με μαρκασίτη, σιδηροπυρίτη, αντιμονίτη, χαλαζία

χαλκηδόνιο, οπάλιο, βαρύτη, φθορίτη και ασβεστίτη. Ως ορυκτό έχει κοκκινωπό χρώμα, η κονιοποίησης του ωστόσο δίνει ένα πορτοκαλέρυθρο έως φωτεινό κόκκινο χρώμα. Η αδυναμία παραγωγής του συγκεκριμένου κόκκινου χρώματος από την κόκκινη όχρα, σε συνδυασμό με τη σπανιότητα καθαρών πηγών θειούχου υδράργυρου, κατατάσσει τον Κινναβαρίτη στις ακριβότερες χρωστικές ουσίες και η χρήση της σε τοιχογραφίες προσδίδει πολυτέλεια.

Βασικό μειονέκτημα της χρωστικής αυτής είναι η μετάπτωσή της στην κυβική μορφή και η μεταβολή του χρώματός του σε μαύρο-τεφρό κατά την έκθεσή της σε ανοικτό χώρο. Έτσι, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται σε εσωτερικές τοιχογραφίες όπου η επίδραση του φωτός είναι περιορισμένη. Μια τεχνητή χρωστική, το τεχνητό Vermillion, παρασκευάζεται από τον 8^ο αιώνα μ.Χ. με αντίδραση λειωμένου θείου με υδράργυρο, με τις φυσικές και χημικές ιδιότητες της να είναι ίδιες με αυτές της φυσικής κιννάβαρης.

Κόκκινη σανδαράχη

Ένα άλλο θειούχο ορυκτό που κατατάσσεται στις κόκκινες ανόργανες χρωστικές είναι η κόκκινη σανδαράχη (AsS). Εμφανίζεται μαζί με άργυρο, μόλυβδο, χρυσό, κίτρινη σανδαράχη, αντιμονίτη και με άλλα αρσενικούχα ορυκτά ως χαμηλής θερμοκρασίας ορυκτό των υδροθερμικών φλεβών, ενώ επίσης εντοπίζεται και ως απόθεση θερμών πηγών, αλλά και ως ηφαιστειακό προϊόν στις ατμίδες.

Έπειτα από έκθεση στο φως για μεγάλο χρονικό διάστημα, διασπάται σε κοκκινοκίτρινη σκόνη, που είναι ένα μίγμα κίτρινης σανδαράχης (As_2S_3) και αρσενολίτη (As_2O_3). Αυτή η ιδιότητά της αποτελούσε τα βασικά μειονεκτήματα της κόκκινης σανδαράχης περιορίζοντας τη χρήση της ως χρωστική στην αρχαία ζωγραφική παρά το έντονο χρώμα της.

1.4.1.2. Κίτρινα χρώματα

Κίτρινη όχρα

Μια από τις αρχαιότερες χρωστικές που χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα σε όλες τις τεχνικές ζωγραφικής από την προϊστορική εποχή, είναι η κίτρινη όχρα. Λόγω της αφθονίας της στη φύση είχε χαμηλό κόστος. Ως χρωστική διακρίνεται για την υψηλή ικανότητα επικάλυψης και τη χημική της σταθερότητα. Η χρωστική αυτή αποτελείται από ένυδρα οξειδία του σιδήρου, προϊόντα αποσάθρωσης σιδηρούχων ορυκτών, σε ανάμιξη με αργιλοπυριτικά ορυκτά. Έτσι, εντοπίζεται είτε ως μίγμα υδροξειδίων του σιδήρου και άλλων ορυκτών, είτε ως καθαρό υδροξείδιο του σιδήρου. Η σκόνη της κίτρινης όχρας είναι κίτρινη

ή φαιοκαστανή, ενώ το χρώμα της σε ορυκτή μορφή κυμαίνεται από κίτρινο έως καστανό, φαιοκαστανό ή μαύρο και οφείλεται στα οξειδία και υδροξείδια του σιδήρου. Ο γκαιτίτης και ο λειμωνίτης αποτελούν τα βασικά ένυδρα οξειδία του σιδήρου που περιέχει και περιγράφονται πιο κάτω. Από τον Θεόφραστο αναφέρονται τρία είδη ώχρας: η "αττική" και το "σκυρικόν" που χρησιμοποιούνταν στη ζωγραφική για απόδοση φωτεινών σημείων και η "μαρμάρινη" που χρησιμοποιούνταν στη νωπογραφία (Eichholz, 1965).

Κίτρινη Σανδαράχη

Η κίτρινη Σανδαράχη (As_2S_3) είναι ένα ορυκτό με λαμπερό κίτρινο χρώμα. Είναι χαμηλής θερμοκρασίας ορυκτό που εντοπίζεται σε φλέβες και σε θερμές πηγές ή ως προϊόν αλλοίωσης αρσενικούχων ορυκτών ή της κόκκινης σανδαράχης με την οποία έχει συγγένεια. Τα βασικά της μειονεκτήματα όπως η αστάθεια του χρώματος της, η ασυμβατότητα της με χρωστικές που περιείχαν χαλκό και η μεγάλη τοξικότητά της, είχαν ως αποτέλεσμα να περιορίζεται η χρήση της από το Μεσαίωνα.

1.4.1.3. Μπλε χρώματα

Αζουρίτης

Ο αζουρίτης ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) είναι ένα κυανόχρωμο ορυκτό. Αποτελεί δευτερογενές ορυκτό του χαλκού και εντοπίζεται στο οξειδωμένο τμήμα χαλκούχων φλεβών εκεί όπου σχηματίζεται από τη δράση ανθρακικών διαλυμάτων σε χαλκούχα ορυκτά. Συναντάται με μαλαχίτη, κυπρίτη, χρυσόκολλα, αυτοφυή χαλκό και οξειδία του σιδήρου. Ως ορυκτό χαρακτηρίζεται ασταθές, καθώς αλλοιώνεται σε μαλαχίτη.

Κατά το θρυμματισμό του αζουρίτη για παραγωγή χρώματος, απομακρύνονται οι προσμίξεις και παράγονται τρεις διαβαθμίσεις κόκκων, από τις οποίες προκύπτουν διαφορετικά μπλε από ανοικτό μπλε έως έντονο μπλε. Όσο πιο χονδρόκοκκη είναι η σκόνη τόσο πιο βαθύ είναι το μπλε χρώμα, ενώ όσο πιο πολύ τρίβεται ξεθωριάζει. Αυτό αποτέλεσε βασικό μειονέκτημα του Αζουρίτη καθώς η χονδρόκοκκη σκόνη καθιστούσε δυσκολότερη την εφαρμογή της στα ζωγραφικά έργα και σε συνάρτηση με το γεγονός ότι ο αζουρίτης με την πάροδο του χρόνου αλλοιώνεται σε μαλαχίτη, επέφερε τον περιορισμό της χρήσης της χρωστικής στην αρχαιότητα και την καθιέρωση του Αιγυπτιακού μπλε ως την κύρια μπλε χρωστική.

Γλαυκοφανής

Ο γλαυκοφανής έχει χρησιμοποιηθεί ως χρωστική από το 17^ο π.Χ. αιώνα στις τοιχογραφίες του ακρωτηρίου της Θήρας. Είναι ένα μπλε ορυκτό της ομάδας των αμφιβόλων με χημικό τύπο $\text{Na}_2(\text{Mg,Fe})_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$. Εντοπίζεται σε μεταμορφωμένα πετρώματα και η παρουσία του δηλώνει μεταμορφικές συνθήκες χαμηλής πίεσης και υψηλής θερμοκρασίας. Συνυπάρχει με τα ορυκτά λαουζονίτης, αραγωνίτης και ιαδεΐτης, ενώ αποτελεί κύριο συστατικό στο γλαυκοφανιτικό σχιστόλιθο.

1.4.1.4. Πράσινα χρώματα

Μαλαχίτης

Ο μαλαχίτης ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$) είναι ένα δευτερογενές ορυκτό του χαλκού. Το χρώμα του είναι λαμπρό πράσινο, ανοικτό πράσινο έως σκούρο πράσινο. Εντοπίζεται στο οξειδωμένο τμήμα χαλκούχων φλεβών, όπου σχηματίζεται από τη δράση ανθρακικών διαλυμάτων σε χαλκούχα ορυκτά. Συνυπάρχει με κυπρίτη, χρυσόκολλα, αυτοφυή χαλκό, οξειδία του σιδήρου και αζουρίτη του οποίου αποτελεί αλλοίωση.

Ως χρωστική ο μαλαχίτης είναι ευαίσθητος σε υψηλή θερμοκρασία και σε οξέα, καθώς μεταβάλλεται το χρώμα του από έντονο πράσινο σε σχεδόν λευκό. Το πράσινο χρώμα του στα έργα ζωγραφικής μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου φτάνοντας ως και το ερυθροκαστανό, καθώς λόγω οξείδωσης μετατρέπεται σε κυπρίτη. Επίσης, είναι πιθανό παλιές στρώσεις κυανού αζουρίτη να έχουν μετατραπεί σήμερα σε πράσινο μαλαχίτη. Τα μειονεκτήματα αυτά του μαλαχίτη οδήγησαν τους ζωγράφους στο να αποφεύγουν τη χρήση του.

Πράσινη γη

Οι πράσινες γαίες αποτελούν την κύρια χρωστική που δεν διαθέτει στη σύνθεσή της χαλκό (Goffert, 2007). Αποτελούνται από ένα μίγμα ένυδρων αργιλοπυριτικών πρασινωπών ορυκτών και η σκόνη τους ποικίλει σε αποχρώσεις από σκούρο λαδί, ανοιχτόχρωμο γκρι μέχρι ασθενές πράσινο. Η υφή τους χαρακτηρίζεται σαπωνοειδής. Τα κυριότερα ορυκτά των πράσινων γαιών είναι ο γλαυκονίτης και ο σελαδονίτης. Στη σύστασή τους τα ορυκτά αυτά πέρα από την παρουσία πυριτίου έχουν και αργίλιο, με τον γλαυκονίτη συγκριτικά μεταξύ των δυο να περιέχει περισσότερο ποσοστό αργιλίου. Παρόλο που οι κρυσταλλοχημικές διαφορές και οι ταξινομήσεις τους είναι θέματα προς συζήτηση, ο σελαδονίτης θεωρείται παραδοσιακά πλούσιος σε μαγνήσιο και ο γλαυκονίτης πλούσιος σε σίδηρο διοκταεδρικός αργιλικός μαρμαρυγίας. Γενικά θεωρείται ότι έχουν διαφορετική προέλευση (Hradil et al. 2003). Ο γλαυκονίτης είναι ένα ένυδρο αργιλικό ορυκτό το οποίο μοιάζει με τον ιλλίτη.

Συγκεκριμένα είναι διοκταεδρικό φυλλοπυριτικό πλούσιο σε σίδηρο ορυκτό και εμφανίζεται σε θαλάσσια ιζήματα, η διαθεσιμότητα του είναι μεγαλύτερη από τον σελαδονίτη. Ο σελαδονίτης εντοπίζεται ως δευτερεύον προϊόν εξαλλοίωσης ηφαιστειοκλαστικών υλικών σε μικρές ποσότητες, μαζί με ζεόλιθους. Οι ποιοτικές διαφορές μεταξύ των φυσικών γαιών έχουν αναγνωριστεί από την αρχαιότητα και σύμφωνα με τον Βιτρούβιο (Vitruvius, 1914) βασική πηγή πράσινης γης στην αρχαιότητα ήταν η Σμύρνη.

Ακόμη και άλλα ορυκτά του αργίλου μπορούν να συμπεριληφθούν στις χρωστικές που επισημαίνονται ως πράσινες γαίες, π.χ. μοντμοριλλονίτες, χλωρίτες και καολινίτες, καθώς επίσης και προσμίξεις ελεύθερων οξειδίων τρισθενούς σιδήρου όπως τον κίτρινο γκαιτίτη. (Hradil et al. 2003). Η πιο γνωστή χρήση της πράσινης γης είναι ως υπόστρωμα της σάρκας στη μεσαιωνική ζωγραφική με καβαλέτα στην Ευρώπη.



Εικόνα 2. Πράσινη Γη (<https://www.geodifhs.com/gammaalphaiotaalpha/466>)

1.4.1.5. Λευκά χρώματα

Καολινίτης

Ο καολινίτης είναι γνωστός από την αρχαιότητα ως «Μήλια γη». Ο χαρακτηρισμός αυτός δόθηκε από τον Θεόφραστο, καθώς προερχόταν από την Μήλο. Χρησιμοποιήθηκε από την αρχαιότητα ως χρωστική στις περιοχές όπου αφθονούσε ή που η διαθεσιμότητα του ήταν εύκολη. Από πολλούς αρχαίους συγγραφείς έχει χαρακτηριστεί ως το καλύτερο λευκό και το καταλληλότερο για ζωγραφική, ενώ σύμφωνα με το Θεόφραστο η χρωστική θεωρείτο κατάλληλη για γραφή, καθώς ήταν μετρίως τραχιά, χωρίς λίπος και εύθρυπτη.

Πρόκειται για ένα αργιλοπυριτικό ορυκτό, λευκού ή υποκίτρινου χρώματος. Χαρακτηριστικές ιδιότητες του καολινίτη είναι η λεπτόκοκκη υφή, η αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες και η χημική αδράνεια. Το λευκό χρώμα του ορυκτού σε συνδυασμό με τις παραπάνω ιδιότητες, το καθιστούσε κατάλληλο για ανάμιξη με άλλες χρωστικές.

Εμφανίζεται στις σχηματιζόμενες από αποσάθρωση, αρχικές υπολειμματικές ιζηματογενείς αποθέσεις ή σε χαμηλής θερμοκρασίας υδροθερμικές αλλοιώσεις των αστρίων, του μοσχοβίτη κ.λπ. Στον Ελληνικό χώρο υπάρχουν κοιτάσματα καολινίτη στη Μήλο, την Κίμωλο, την Αίγινα κ.ά. Αποτελεί ένα σπουδαίο βιομηχανικό ορυκτό με εφαρμογές στην παρασκευή ειδικών δομικών υλικών, την κεραμική, σε επιστρώσεις κ.ά.

Ασβεστίτης

Ο ασβεστίτης καταλαμβάνει περίπου το 4% του στερεού φλοιού της γης και αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα ορυκτά του. Είναι πολύ διαδεδομένο ορυκτό στα ιζηματογενή πετρώματα, όπου σε μερικά εξ αυτών αποτελεί το κύριο συστατικό (ασβεστόλιθοι, τραβερτίνης, κιμωλία). Στα πυριγενή πετρώματα απαντά στις υδροθερμικές φλέβες ως επουσιώδες ορυκτό, ενώ απαντά και στα μεταμορφωμένα πετρώματα (κύριο συστατικό μαρμάρων).

Η χρήση του ασβεστίτη δεν περιορίζεται μόνο ως αυτούσια χρωστική, αντιθέτως λόγω της μειωμένης καλυπτικής του ικανότητας (χαμηλός δείκτης διάθλασης) έχει άλλες κυριότερες χρήσεις. Έπειτα από κονιοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αυτούσια χρωστική ουσία, να αναμιχθεί με άλλες χρωστικές για άνοιγμα του χρωματικού τόνου τους, αλλά και στο υπόστρωμα όπου τοποθετείται το χρωματικό στρώμα. Έτσι, στα δείγματα χρωστικών, η ανίχνευση του ασβεστίτη μπορεί να οφείλεται στη χρήση του ως χρωστική ουσία, στην παρουσία του στο κονίαμα ή στην ανάμιξη του με τη μορφή ασβεστόνερου με τις χρωστικές.

1.4.1.6. Μαύρα χρώματα

Οξειδία και υδροξείδια του μαγγανίου

Στην κατηγορία μαύρων χρωμάτων των ανόργανων χρωστικών ουσιών, οι ενώσεις του Μn έχουν ταυτοποιηθεί ως προϊστορικές χρωστικές με τον πυρολουσίτη, ο οποίος είναι γνωστός και ως μαύρο του μαγγανίου, να αποτελεί τη σημαντικότερη χρωστική και να έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως ως μαύρη χρωστική (Goffe, 2007). Γενικότερα, τα οξειδία του μαγγανίου (Mn) παρουσιάζονται με διαφορετικές ορυκτολογικές μορφές στην επιφάνεια της γης, οι οποίες μπορούν να διακριθούν σύμφωνα με την κρυσταλλική δομή τους, τη χημική τους σύσταση και το βαθμό οξειδωσης του μαγγανίου (II, III, IV). Πετρώματα στα οποία εντοπίζονται μεγάλα ποσοστά ενώσεων μαγγανίου είναι οι ούμβρες (umbers) και οι κονδύλοι μαγγανίου.

Ο πυρολουσίτης (MnO_2) είναι δευτερογενές ορυκτό το οποίο προκύπτει από άλλα

μαγγανιούχα ορυκτά σε έντονο οξειδωτικό περιβάλλον, εντοπίζεται σε μαγγανιούχα κοιτάσματα ωκεανών, θαλασσών, λιμνών και βάλτων, ενώ συνυπάρχει με σιδηρούχα και μαγγανιούχα οξείδια και υδροξείδια, καθώς και με ροδοχρωσίτη, ασβεστίτη, σιδηρίτη ροδονίτη κ.ά. Το χρώμα του είναι σιδηρόμαυρο έως χαλυβδότεφρο και έχει μεταλλική λάμψη.

Μια άλλη μαγγανιούχα μαύρη χρωστική είναι ο **Μαγγανίτης $MnO(OH)$** . Βρίσκεται σε σύγκριση με άλλα οξείδια του μαγγανίου σε κοιτάσματα που έχουν σχηματιστεί από τη δράση του μετεωρικού νερού και συχνά αλλοιώνεται σε πυρολουσίτη. Εντοπίζεται επίσης σε υδροθερμικές φλέβες χαμηλής θερμοκρασίας και σχετίζεται με ασβεστίτη ($CaCO_3$), βαρύτη ($BaSO_4$) και σιδηρίτη ($FeCO_3$). Το χρώμα του είναι χαλυβδότεφρο έως σιδηρόμαυρο και η λάμψη του μεταλλική έως ημιμεταλλική.

1.4.2. Οργανικές Χρωστικές ουσίες

Όπως προαναφέρθηκε οι οργανικές χρωστικές έχουν φυτική ή ζωική προέλευση και η παρουσία τους στις τοιχογραφίες είναι σπάνια, καθώς είναι ευαίσθητες και δεν έχουν μεγάλη αντοχή σε βάθος χρόνου.

1.4.2.1. Κόκκινα χρώματα

Κογγυλιακή πορφύρα

Η κογγυλιακή πορφύρα ήταν μια οργανική χρωστική ουσία που εξαγόταν από τα όστρακα των ειδών *Purpura haemostoma*, *Murex trunculus* και *Murex brandaris*. Για τη χρήση της πορφύρας ως χρωστική έπρεπε να ενωθεί με κάποια λευκή γαιώδη βάση, ώστε να σχηματιστεί η λάκκα, ενώ η απόχρωση της καθοριζόταν από το μαλάκιο το οποίο εξάγεται. Η κυριότερη χρήση της ήταν ο χρωματισμός ενδυμάτων. Οι μεγάλες ποσότητες οστράκων που απαιτούνται για την παραγωγή της, την καθιστούσαν μια πολύ δαπανηρή χρωστική.

Ερυθρόδανο (ριζάρι)

Το ερυθρόδανο το βαφικό όπως ονομάζεται, είναι γνωστό από τους αρχαίους χρόνους και αποτελεί μια εκ των σημαντικότερων κόκκινων χρωστικών φυτικής προέλευσης. Το χαρακτηριστικό χρώμα προερχόταν από τις ρίζες του φυτού *Rubia Tinctorum*, φυτό της οικογένειας των Ερυθροδανοειδών (*Rubiaceae*) και οφειλόταν στα κύρια χρωματοφόρα συστατικά του, την αλιζαρίνη και την πουργουρίνη. Η χρωστική θεωρείτο κατάλληλη για τη βαφή νημάτων.



Εικόνα 3. Αποξηραμένο φυτό Rubia Tinctorum (Henriette Kress)

1.4.2.2. Λευκά χρώματα

Λευκό από οστά

Πρόκειται για μια χρωστική που προέρχεται από την θέρμανση και ασβεστοποίηση των οστών. Τόσο η προέλευση των οστών, όσο και το είδος τους δεν αποτελούσαν περιοριστικό παράγοντα. Ως χρωστική έχει ανιχνευτεί έως τώρα μόνο στο θρόνο του τάφου της Ευρυδίκης και δεν αναγράφεται στις αρχαίες πηγές. Για την παραγωγή της χρωστικής αυτής καίγονταν αρχικά τα οστά μέχρι να καταστραφεί όλη η οργανική ύλη, έπειτα ακολουθούσε θλίψη του προϊόντος και μετατροπή του σε ελαφρώς χαλικώδη σκόνη. Το χρώμα της χρωστικής είναι λευκό έως γκριζωπό.

Η σύσταση της χρωστικής αυτής αποτελείται κυρίως από φωσφορικό ασβέστιο σε ποσοστό 85-90% και ανθρακικό ασβέστιο σε ποσοστό 9-13%. Το μειονέκτημα της είναι η χαμηλή ικανότητα επικάλυψης και σε σύγκριση με το λευκό του μολύβδου υστερεί ως προς την ένταση της.

1.4.2.3. Μαύρα χρώματα

Μαύρο από οστά-ελεφαντόδοντο

Μια μαύρη χρωστική ουσία με κυανίζοντα τόνο μπορεί να προκύψει από την καύση οστών $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$. Η στήλη της Δημητριάδας είναι η μοναδική ταυτοποίηση με αναλύσεις της συγκεκριμένης χρωστικής ως τώρα. Ιστορική καταγραφή από τον Πλίνιο αναφέρει ότι "Ο Απελλής σκέφτηκε να φτιάξει (μαύρο χρώμα) από καμένο ελεφαντόδοντο και αυτό το αποκαλούν «ελεφάντινον»" (Πλίνιος, 1994).

Μαύρο του άνθρακα (αιθάλη)

Μια από τις χρωστικές που χρησιμοποιούσε ο άνθρωπος από την αρχαιότητα και γίνεται χρήση της μέχρι σήμερα είναι το μαύρο του άνθρακα. Στην αρχαία ζωγραφική

χρησιμοποιήθηκε περισσότερο από κάθε άλλο μαύρο χρώμα, καθώς ήταν εύκολη η προμήθειά του. Τα ακάθαρτα σωματίδια άνθρακα που προκύπτουν από ατελή καύση υδρογονανθράκων, γαιανθράκων, πετρελαίου κ.ά. είναι η αιθάλη. Αυτό το λεπτόκοκκο υλικό αποτελεί πολύ καλή χρωστική για τη σχεδίαση των προσχεδίων. Ο άνθρακας αποτελεί μια από τις πιο σταθερές χρωστικές, καθώς εκτός από τα δυνατά οξειδωτικά μέσα (χρωμικά άλατα, θειικό οξύ) τα οποία τον οξειδώνουν, είναι αδρανής ως προς τα χημικά αντιδραστήρια.

Σύμφωνα με τον Πλίνιο (Pliny, 1857) το μαύρο του άνθρακα μπορούσε να προκύψει έπειτα από καύση οργανικών ουσιών για παράδειγμα πεύκο και κλήμα. Επίσης αναφέρεται παραγωγή αιθάλης από καμένο ρετσίνι και πίσσα. Ο ξηραμένος μούστος ήταν μια άλλη παραγωγή μαύρου χρώματος.

1.4.3. Τεχνητές χρωστικές ουσίες

Στην κατηγορία αυτή, ανήκουν οι χρωστικές ύλες που παράγονται από τον άνθρωπο με κάποια διαδικασία και δεν βρίσκονται στην φύση. Πιο κάτω περιγράφονται μερικές από τις σημαντικότερες.

1.4.3.1. Μπλε χρώματα

Αιγυπτιακό μπλε

Η πρώτη τεχνητή χρωστική, το Αιγυπτιακό μπλε, παρασκευάστηκε στις αρχές της 3^{ης} χιλιετίας π.Χ. στην Αίγυπτο και ακολούθως διαδόθηκε στην Ελλάδα και την Ρωμαϊκή αυτοκρατορία. Η χρωστική αυτή αποτελείται από ένα μίγμα χαλκού, ασβεστίου, πυριτίου και η διαδικασία παραγωγής της έμεινε για πολλούς αιώνες μυστική. Ανάλογα με τα υλικά και τις συνθήκες παρασκευής η απόχρωση του Αιγυπτιακού μπλε ποικίλει. Επίσης, όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος των κόκκων, τόσο πιο σκούρα είναι η απόχρωση της.

Πιο συγκεκριμένα το Αιγυπτιακό μπλε παράγεται έπειτα από διαδοχική θέρμανση σε υψηλή θερμοκρασία 850-1000°C (Tite et al. 1984) ενός μίγματος υλικών που περιέχουν χαλκό (π.χ. μαλαχίτης), ενός συνόλου ασβεστιτικών υλικών (κυρίως κονιοποιημένος ασβεστόλιθος) και χαλαζία υπό μορφή άμμου. Στην υψηλή αυτή θερμοκρασία τήκονται και αλληλεπιδρούν τα ακατέργαστα υλικά, σχηματίζοντας κρυστάλλους ενός χαλκούχου ορυκτού που παράγουν το μπλε χρώμα. Με τη χρήση της μεθόδου περιθλασιμετρίας ακτίνων-X, ταυτοποιήθηκε το αιγυπτιακό μπλε με το ορυκτό κουπρוריβαΐτη, με χημικό τύπο $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ (Hatton et al. 2008).



Εικόνα 4. Αιγυπτιακό Μπλε (ERIC LUBRICK/INDIANAPOLIS MUSEUM OF ART)

1.4.3.2. Λευκά χρώματα

Λευκό του μολύβδου

Μια λευκή χρωστική γνωστή από την αρχαιότητα είναι το λευκό του μολύβδου. Η χρήση της άρχισε κατά την Ελληνιστική και Ρωμαϊκή περίοδο με τους αρχαίους Έλληνες να την ονομάζουν "*Ψιμίθιον*" και τους Ρωμαίους "*Cerussa*". Ο Θεόφραστος, ο Βιτρούβιος και ο Πλίνιος περιγράφουν την παρασκευή του λευκού του μολύβδου με μια πολύ επικίνδυνη μέθοδο για τους παρασκευαστές από μεταλλικό μόλυβδο και ξύδι (Pliny 1857, Eichholz 1965, Vitruvius 1914).

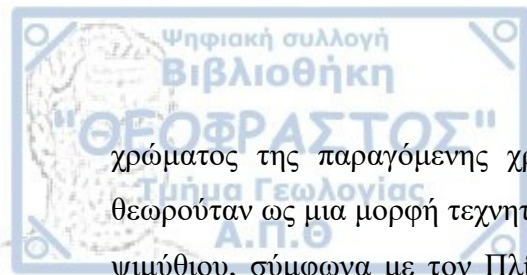
Ως χρωστική, το λευκό του μολύβδου χαρακτηριζόταν από υψηλή ικανότητα επικάλυψης που εξάλειφε τις ατέλειες του υποστρώματος, αδιαφάνεια, μεγάλη πυκνότητα, απαστράπτουσα λευκότητα, καθώς και από εξαιρετική αντοχή στο χρόνο. Παρόλο που το σύνθετο αυτό παράγωγο βρίσκεται στην φύση ως ορυκτό (υδροκερυσσίτης) χρησιμοποιήθηκε εντούτοις σε μεγαλύτερη κλίμακα ως χρωστική και κατά την Ρωμαϊκή εποχή ως καλλυντικό από τις γυναίκες.

Πέρα από αρκετά πλεονεκτήματα, η τεχνητή αυτή χρωστική είχε και σοβαρά μειονεκτήματα. Τα κυριότερα αυτών ήταν η τοξικότητα του μολύβδου, όπου είναι ισχυρά δηλητηριώδης και η αδυναμία της να εφαρμοστεί με την τεχνική της νωπογραφίας, καθώς μαύριζε ή άλλαζε χρώμα με την πάροδο του χρόνου. Έτσι, κατά τον 19^ο αιώνα μ.Χ. άρχισε η αντικατάσταση της από το λευκό του ψευδαργύρου και σήμερα αντικαταστάθηκε πλήρως από μια άλλη τεχνητή χρωστική, το λευκό του τιτανίου.

1.4.3.3. Κόκκινα χρώματα

Κόκκινο του μολύβδου

Κατά την όπτηση του λευκού του μολύβδου προέκυψε μια πορτοκαλέρυθρη χρωστική, το κόκκινο του μολύβδου που ονομάστηκε και "*καυστικό ψιμίθιο*". Λόγω της ομοιότητας του



χρώματος της παραγόμενης χρωστικής με αυτό της σανδαράχης κατά την αρχαιότητα θεωρούταν ως μια μορφή τεχνητής σανδαράχης. Με ανάμειξη κόκκινης ώχρας και καυστικού ψιμύθιου, σύμφωνα με τον Πλίνιο, παραγόταν η λεγόμενη "σάνδυζ", η οποία ανιχνεύτηκε στην Κυρήνη στις γραπτές παραστάσεις ενός Ελληνιστικού τάφου (Pliny, 1857).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 –ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΙΑ

2.1 Γενικά στοιχεία για το Χρώμα

Οι προσπάθειες ερμηνείας του φαινομένου των χρωμάτων άρχισε από τους ιστορικούς τουλάχιστον χρόνους, με την ανάπτυξη διαφόρων ιδεών και φιλοσοφικών θεωριών, κυρίως από τους αρχαίους Έλληνες. Όπως αναφέρει ο Ορφανάκος (2004), η θεωρία του Επίκουρου ήταν ότι πολύ μικρά «κομματάκια» από χρώμα προερχόμενα από το χρώμα του αντικειμένου φεύγουν από αυτό και μπαίνοντας στο μάτι έδιναν τη δυνατότητα ότι το βλέπουμε, ενώ η θεωρία του Πλάτωνα ήταν ότι φωτεινές ακτίνες «ξεκινούσαν» από τα μάτια, «χτυπούσαν» σε ένα αντικείμενο και επιστρέφοντας στα μάτια έδιναν τη δυνατότητα να βλέπουμε τα αντικείμενα και τα χρώματα τους. Παρά το γεγονός ότι αυτές οι αρχικές θεωρίες, αλλά και οι μετέπειτα που αναπτύχθηκαν κατά την Αναγέννηση προερχόμενες από αυτές, δεν αναπτύχθηκαν βάση τεχνολογικών γνώσεων και είναι φιλοσοφικές, δεν απέχουν και πολύ από την σημερινή άποψη περί του χρώματος.

Στην πραγματικότητα ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται το χρώμα διαμέσου της όρασης. Για την εμφάνιση του χρώματος απαιτείται η ύπαρξη μιας φωτεινής πηγής που θα προσφέρει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία ανακλάται στην επιφάνεια και φτάνει στο ανθρώπινο μάτι. Αρχικά το φως φτάνει στον φακό του οφθαλμού και στη συνέχεια πηγαίνει στον αμφιβληστροειδή όπου το φωτεινό ερέθισμα γίνεται χημικό. Χημικές ουσίες στα κύτταρα του αμφιβληστροειδή μεταφέρουν το νευρικό ερέθισμα μέσω του οπτικού νεύρου στην υπεύθυνη για την όραση περιοχή του εγκεφάλου. Έτσι, μεταφράζεται από τον εγκέφαλο και γίνεται αντιστοιχία σε χρώματα.

Η λέξη «χρώμα» μπορεί να οριστεί με διαφορετικούς ορισμούς οι οποίοι είναι μεν ορθοί, δεν μπορούν όμως να θεωρηθούν πλήρεις για να γίνει κατανοητή σε όλη την έκταση η έννοια του χρώματος. Μερικά παραδείγματα είναι (Ορφανάκος 2004):

- «Χρώμα είναι μία από εκείνες τις ιδιότητες των υλικών σωμάτων, αποτέλεσμα της οποίας είναι όταν αυτά φωτίζονται, να ερεθίζουν τα αισθητήρια όργανα της όρασης κατά τέτοιο τρόπο ώστε να βοηθούν στην δημιουργία αυτής της αίσθησης».
- «Χρώμα είναι η αντίληψη, με τη βοήθεια της όρασης, οποιουδήποτε υλικού σώματος, στην οποία όμως αντίληψη δεν περιλαμβάνεται το σχήμα ή το μέγεθος του σώματος αυτού».
- «Χρώμα είναι η οπτική διαφορά δύο αντικειμένων ίσων και εντελώς όμοιου σχήματος, όταν αυτά φωτίζονται ακόμη και με τις ίδιες συνθήκες φωτισμού».

Το χρώμα, δεν γίνεται αντιληπτό μέσα από κάποια λογική διεργασία, αλλά με μία από τις αισθήσεις μας, με αποτέλεσμα να επιδρά στον ψυχισμό του ανθρώπου. Έτσι, ανάλογα με το σημείο του ψυχισμού μας που επιδρά, επιδέχεται ψυχολογικές παρατηρήσεις και χαρακτηρισμούς. Βάση του διαχωρισμού αυτού, τα χρώματα διακρίνονται σε: «ζωντανά» (κόκκινο, πορτοκαλί, κίτρινο), «νεκρά» (μαύρο, λευκό, μπλε), «ξεκούραστα» (μπλε, πράσινο), «καλλιτεχνικά» (βιολέ, κίτρινο), «ψυχοδιεγερτικά» (κόκκινο, βυσσινί), κ.ά.

Οι παραπάνω χαρακτηρισμοί προέρχονται από τον τρόπο που ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται τον χώρο που τον περιβάλλει και την επίδραση που ασκεί σε αυτόν ο χώρος, καθώς και από τον τρόπο σκέψης του ανθρώπου και την φιλοσοφία του. Για παράδειγμα, η πράσινη απόχρωση θεωρείται ξεκούραστη γιατί δεν ερεθίζει το μάτι, αλλά και επειδή το πράσινο είναι παντού στη φύση. Η κόκκινη απόχρωση, που ερεθίζει το μάτι θεωρείται κουραστική, ταυτόχρονα θεωρείται θερμή (σαν τη φωτιά) και αγαπητή (σαν το αίμα). Η μπλε απόχρωση εκτός του ότι δεν ερεθίζει το μάτι, θεωρείται ότι προκαλεί και ψυχική ευχαρίστηση (θάλασσα, ουρανός).

2.2 Χρωματικοί όροι

Ένα χρώμα (απόχρωση) ή η διαφορά δύο χρωμάτων μπορεί να περιγραφεί με τους χρωματομετρικούς δείκτες/παραμέτρους, με τους επικρατέστερους αυτών που έγιναν αποδεκτοί ως βασικές έννοιες να περιγράφονται παρακάτω (Ορφανάκος, 2004).

2.2.1. Λαμπρότητα (Brightness)

Με τον όρο αυτό περιγράφεται πόσο φωτεινό εμφανίζεται ένα χρώμα. Εξαρτάται από την ένταση του φωτός και τη δυνατότητα να ερεθίζει τα φωτοευαίσθητα κύτταρα του ματιού με την είσοδο του σε αυτό.

2.2.2. Χροιά (Hue)

Για να γίνει περιγραφή κατά πόσο έχουμε αίσθηση ότι ταυτίζονται ή διαφέρουν έστω και ελάχιστα μια απόχρωση συγκρινόμενη με κάποια άλλη, χρησιμοποιούμε τον όρο χροιά. Εναλλακτικά μπορεί να γίνει χρήση του όρου «τόνος» ή περιγραφή όπως π.χ. «μπλε με πράσινο τόνο». Αρκετές φορές χρησιμοποιούμε και εκφράσεις όπως για παράδειγμα «κόκκινο της φωτιάς». Η χροιά μιας απόχρωσης όμως είναι δυνατόν να μετρηθεί (σε μοίρες) και βάση «χρωματικού κύκλου» να βρεθεί η ακριβής θέση της. Ο «χρωματικός κύκλος» έχει στις 0° και 360° την περιοχή του κόκκινου, στις 90° περίπου την περιοχή του κίτρινου, στις 180° περίπου την περιοχή του πράσινου και στις 270° περίπου την περιοχή του κυανού. Ως εκ

τούτου στην περιγραφή της χροιάς μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μόνο εκφράσεις που περιλαμβάνουν γειτονικές βασικές αποχρώσεις του χρωματικού κύκλου, για παράδειγμα «πράσινο που κυανίζει» ή «κίτρινο που κοκκινίζει».

2.2.3. Χρωματική πληρότητα (Colorfulness)

Ο όρος αυτός δεν είναι μετρούμενος, αλλά καθορίζεται ως η συνολική συγκέντρωση της χρωματικής εντύπωσης που μας δίνει μια απόχρωση ή ως ο βαθμός της φαινόμενης χροιάς. Η έννοια «Αχρωμία», είναι η αντίθετη της χρωματικής πληρότητας και εκφράζει την απουσία της.

2.2.4. Χρωματική Πυκνότητα (Saturation)

Με τον όρο αυτό εκφράζουμε πόσο έντονη (γεμάτη, πυκνή) είναι μία απόχρωση. Συγκεκριμένα, γίνεται έκφραση της σχέσης μεταξύ φωτεινότητας και εντονότητας/ πυκνότητας της απόχρωσης. Εάν για παράδειγμα συγκρίνουμε δύο ακτίνες μονοχρωματικού φωτός, με διαφορετική ένταση αλλά ίδιο μήκος κύματος, θα εμφανίζουν μια σαφή διαφορά μεταξύ εντονότητας και φωτεινότητας του χρώματος τους, θα εμφανίζουν δηλαδή διαφορετική χρωματική πυκνότητα.

2.2.5. Λευκότητα (Lightness)

Ο όρος αυτός είναι συνάρτηση της φωτεινότητας μιας απόχρωσης και εκφράζει την σχέση της ως προς το απόλυτο λευκό. Είναι μετρούμενος όρος που παίρνει τιμές από 0 στο απόλυτο μαύρο έως 100 στο απόλυτο λευκό. Στις υπόλευκες αποχρώσεις ο παράγοντας αυτός είναι καθοριστικός της ποιότητας τους.

2.2.6. Χρωματική Αίσθηση (Chroma)

Μέσω του όρου αυτού εκφράζεται συνολικά η φωτεινότητα, η καθαρότητα και η χρωματική πυκνότητα μιας απόχρωσης (η απόστασή της δηλαδή από την απόλυτη αχρωμία).

2.2.7. Απόχρωση (Nuance)

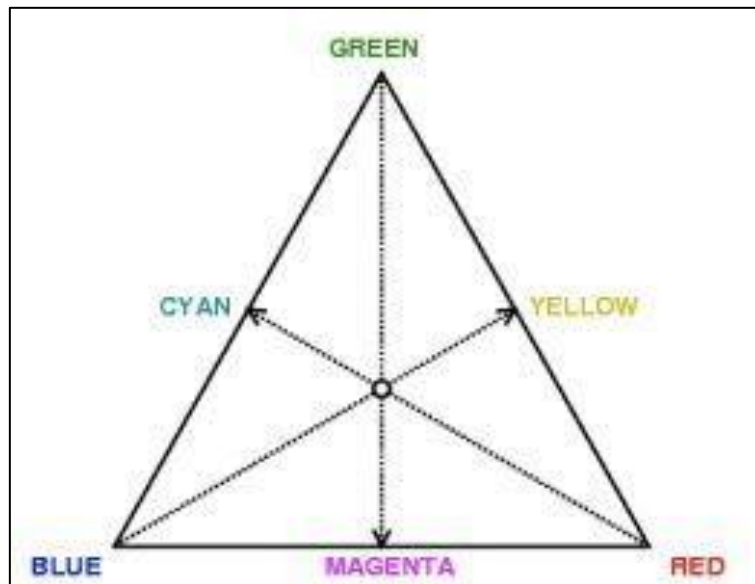
Ο όρος αυτός δεν είναι μετρούμενος αλλά φιλοσοφικός με καθαρά υποκειμενική έκφραση που εξαρτάται από την εμπειρία του παρατηρητή και την ευαισθησία του οφθαλμού. Εκφράζει ταυτόχρονα τη χρωματική αίσθηση και την λευκότητα.

2.3 Χρωματομετρικά συστήματα

Στη σύγχρονη κοινωνία για τη μέτρηση του χρώματος χρησιμοποιούνται ειδικά όργανα, αυτό εκφράζεται με μαθηματικούς όρους και εξισώσεις και γίνεται απόδοση σε συγκεκριμένο χρωματικό σύστημα. Από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα άρχισε μία προσπάθεια αντικατάστασης των γενικών και αόριστων εκφράσεων που χρησιμοποιούνταν στην περιγραφή ενός χρώματος από άλλες οι οποίες είναι καθορισμένες και σταθερές εκφράσεις, υπακούουν δε σε κανόνες και αριθμούς. Η ακρίβεια στο μέγεθος αντίληψης του χρώματος εξαρτάται από την ακρίβεια διέγερσης των φωτοευαίσθητων κυττάρων, τον τρόπο φωτισμού και τις συνθήκες παρατήρησης (Ορφανάκος, 2004).

2.3.1. Συστήματα RGB και CIE/XYZ

Από την ανάμιξη τριών πρωταρχικών βασικών ερεθισμών, όπως έχει αποδειχθεί πειραματικά μπορεί να παραχθεί ένα πλήθος αποχρώσεων. Τα βασικά αυτά ερεθίσματα είναι το μπλε (B) με μήκος κύματος 435,8 nm, το πράσινο (G) με μήκος κύματος 546,1 nm και το κόκκινο (R) με μήκος κύματος 700 nm (Αλεξοπούλου-Αγοράνου & Χρυσουλάκης, 1993) Η χρωματική αυτή ανάμιξη αναπαριστάται στο χρωματικό τρίγωνο του Maxwell (Εικ. 5).



Εικόνα 5. Το χρωματικό τρίγωνο του Maxwell

Στο σύστημα αυτό, οι τρεις άξονες είναι τα διανύσματα που αντιστοιχούν στις τρεις μονοχρωματικές ακτίνες RGB και είναι κάθετοι μεταξύ τους. Στο σημείο τομής των τριών αξόνων όπου οι πρωταρχικοί χρωματικοί ερεθισμοί είναι σε ίσες αναλογίες έχουμε το αληθινό λευκό, ενώ κατά μήκος των πλευρών του ισόπλευρου αυτού τριγώνου, έχουμε

μίγματα μόνο των δυο πρωταρχικών χρωματικών ερεθισμών, σε αναλογία τέτοια που να μεταβαίνει σταδιακά από τον ένα στον άλλο και δεν μετέχει ο τρίτος.

Στο χρωματικό τρίγωνο του Maxwell για να γίνει καθορισμός της θέσης ενός χρώματος, πρέπει να γίνει καθορισμός των αποστάσεων του από τις πλευρές του τριγώνου RGB. Οι αποστάσεις αυτές (r , g , b) ονομάζονται «πραγματικοί χρωματικοί συντελεστές υπολογισμού χρώματος». Η σύνδεση των συντεταγμένων χρωματικότητας (r , g , b) με τους πρωταρχικούς ερεθισμούς R , G , B γίνεται με τις παρακάτω εξισώσεις:

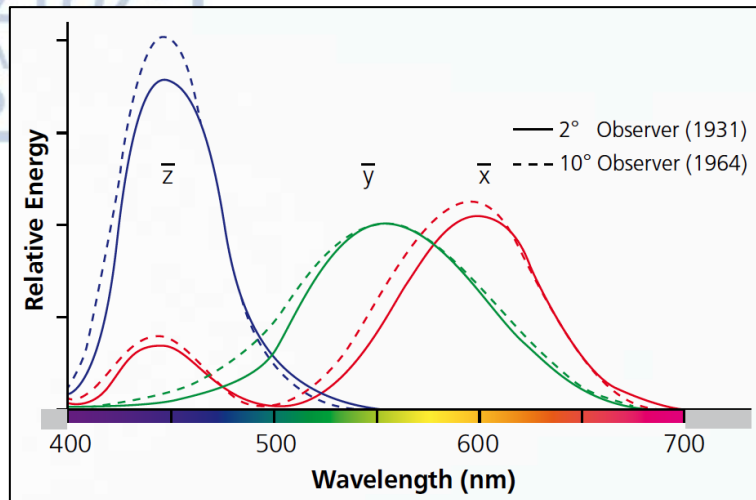
$$r = \frac{R}{R+G+B}, \quad g = \frac{G}{R+G+B} \quad \text{και} \quad b = \frac{B}{R+G+B}$$

έτσι προκύπτει ότι: $r + g + b = 1$, με την σχέση αυτή να μας δείχνει ότι ένα χρωματικό σημείο ενός ερεθισμού μπορεί να οριστεί με τη γνώση δύο εκ των τριών συντεταγμένων χρωματικότητας (Ορφανάκος, 2004).

Το χρωματικό τρίγωνο του Maxwell όμως, παρουσιάζει το σημαντικό μειονέκτημα ότι εκτός των πρωταρχικών ερυθρό, πράσινο μπλε, τα φασματικά χρώματα δεν ανήκουν στο διάγραμμα χρωματικότητας. Πιο συγκεκριμένα, στην προσπάθεια αντιστοιχίας στις πλευρές του τριγώνου, των σημείων όπου βρίσκονται και οι πιο κορεσμένοι (καθαροί) συνδυασμοί των πρωταρχικών ερεθισμών, στις ισοδύναμες καθαρές φασματικές αποχρώσεις (μεταξύ 380-700 nm) παρατηρείται ότι δεν ταιριάζουν στον κορεσμό, παρόλο που ταιριάζουν απόλυτα στην απόχρωση. Για παράδειγμα στο κυανό (μπλε-πράσινο), η αύξηση του κορεσμού του για να συμπίσει με το αντίστοιχο φασματικό, επιτυγχάνεται μόνο αν το τρίτο πρωταρχικό (ερυθρό) αφαιρεθεί. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μετακινείται εκτός των ορίων του τριγώνου. Στις αριθμητικές εφαρμογές, οι αρνητικές τιμές των συντεταγμένων χρωματικότητας αποτελούσαν ιδιαίτερα προβληματικό γεγονός.

Η Commission Internationale de l' Eclairage (CIE) έδωσε τη λύση, καθιερώνοντας το σύστημα XYZ το 1931 και τις συμπληρωματικές συνθήκες το 1964. Στο σύστημα αυτό, οι πραγματικοί χρωματικοί συντελεστές R , G , B με κατάλληλη μαθηματική επεξεργασία μετατρέπονται, ώστε να έχουν μόνο θετικές τιμές. Έτσι, προκύπτει μια αντίστοιχη τριάδα τιμών που παίρνουν τιμές μεταξύ 0-100 σε μήκη κύματος μεταξύ 380 nm και 700nm, η οποία στην πραγματικότητα είναι φανταστική (Ορφανάκος, 2004). Οι δείκτες αυτοί είναι γνωστοί ως τριχρωματικοί δείκτες, συμβολίζονται με τα κεφαλαία γράμματα X Y Z ,

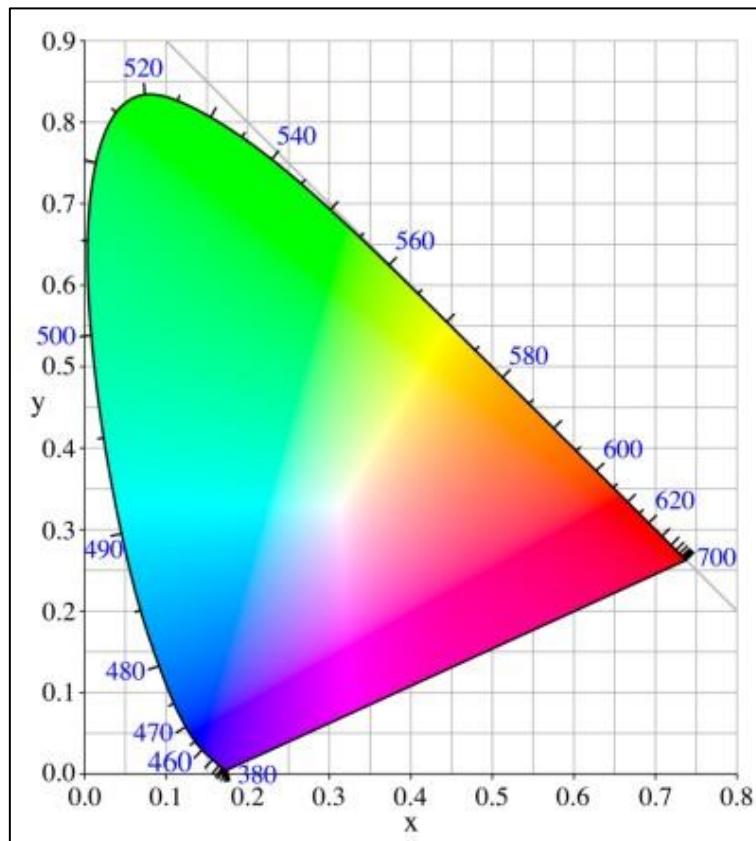
Οι υπολογισμοί κατά CIE (1931) πραγματοποιήθηκαν στις 2° και κατά CIE (1964) προστέθηκαν οι συμπληρωματικές συνθήκες μέτρησης στις 10° , με τον καθορισμό των αντίστοιχων πινάκων των X Y Z στις 2° και 10° (Εικ. 6).



Εικόνα 6. Φασματικές κατανομές χρωμάτων σε 2° και 10° (CIE 1931, 1964).

Στο σύστημα X Y Z η γεωμετρική απεικόνιση μιας απόχρωσης γίνεται κατά τρόπο ανάλογο του συστήματος R G B σε ένα επίπεδο που καλείται «Χρωματικό διάγραμμα» (Εικ. 7), με συντεταγμένες χρωματικότητας τα x y z, που συνδέονται με τις τιμές X Y Z με τις παρακάτω εξισώσεις:

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



Εικόνα 7. Διάγραμμα χρωματικότητας CIE (1931).

Το «διάγραμμα χρωματικότητας» είναι ένας γεωμετρικός χώρος σε σχήμα οπλής αλόγου, στον οποίο έχουμε τη δυνατότητα να παραστήσουμε ένα χρώμα κατά CIE. Η τιμή Y αντιπροσωπεύει την φωτεινότητα και παίρνει τιμές 0-100, με το τέλειο λευκό να παίρνει τιμή $Y=100$. Στο δισδιάστατο αυτό διάγραμμα λαμβάνεται υπόψη η απόχρωση και ο κορεσμός, όχι όμως η χρωματικότητα. Εάν ληφθεί υπόψη και ο άξονας φωτεινότητας (Y) στο χρωματικό διάγραμμα xy θα προκύψει ένας τρισδιάστατος χρωματικός χώρος κατά CIE.

Το χρωματικό διάγραμμα των 2° διαφέρει από το αντίστοιχο των 10° λόγω των διαφορετικών x, y, z . Τα διαγράμματα αυτά έχουν την ίδια χρησιμότητα και μεταξύ τους είναι ομοίου σχήματος και σχεδόν ίσου μεγέθους.

Στην καμπύλη του διαγράμματος εμφανίζονται σε συνεχή σειρά οι τρεις κυρίαρχες αποχρώσεις (μπλε, πράσινη, κόκκινη), η συμπληρωματική αυτών (κίτρινη) και όλες οι ενδιάμεσες, όπου παρουσιάζεται η μεγαλύτερη χρωματική πυκνότητα του αντίστοιχου μήκους κύματος (Ορφανάκος, 2004), με σταδιακή μείωση της έντασης του χρωματισμού προς το εσωτερικό μέχρι το αχρωματικό σημείο, στο οποίο παρατηρείται πλήρης έλλειψη απόχρωσης.

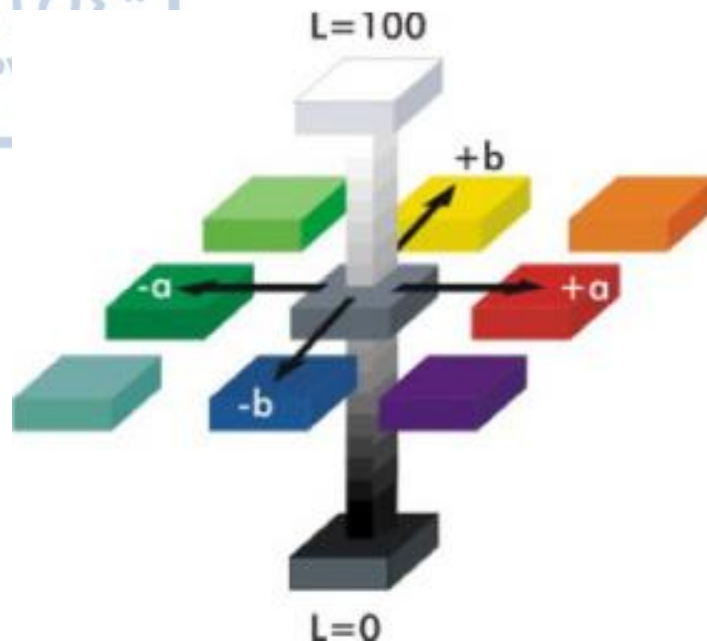
Όπως παρατηρείται στην καμπύλη του διαγράμματος χρωματικότητας, εμφανίζονται σε συνεχή σειρά, με αρχή την μπλε και τέλος την κόκκινη, οι τρεις κυρίαρχες αποχρώσεις (μπλε, πράσινο, κόκκινο), η συμπληρωματική τους (κίτρινη) και όλες οι ενδιάμεσες όπως και στον χρωματικό κύκλο. Τα δύο άκρα της καμπύλης (400nm και 700nm) ενώνονται με μια ευθεία γραμμή, στην οποία εμφανίζονται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί μπλε-κόκκινου και καλείται «Πορφύρα γραμμή» (Purple line).

Η απόσταση μεταξύ δυο σημείων του διαγράμματος χρωματικότητας δεν αντιστοιχείται όμως με την οπτική διαφορά μεταξύ των αντίστοιχων χρωμάτων, καθώς το ανθρώπινο μάτι δεν ανταποκρίνεται σε όλα τα χρώματα το ίδιο. Σε κάποιες περιοχές του χρωματικού διαγράμματος παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία, ενώ σε άλλες οι μικρές χρωματικές διαφορές δεν διακρίνονται εύκολα. Έτσι, το χρωματικό διάγραμμα xy χαρακτηρίζεται από ανομοιογένεια.

2.3.2 Σύστημα CIELAB (1976)

Η ανομοιογένεια του χρωματικού χώρου CIE (1931) οδήγησε στην αναζήτηση ενός νέου χρωματικού χώρου, στον οποίο ίσες αποστάσεις μεταξύ δυο σημείων θα αντιστοιχούν στις ίδιες οπτικά χρωματικές διαφορές.

Η CIE το 1976 πρότεινε ένα νέο χρωματικό σύστημα, το CIELAB (1976) ή $L^* a^* b^*$, το οποίο αντιπροσωπεύεται από τις τιμές $L^* a^* b^*$ (Εικ. 8) στο οποίο δίνεται πλήρης αντίληψη της φωτεινότητας, της χρωματικής πυκνότητας και της χροιάς μιας απόχρωσης.



Εικόνα 8. Ο χρωματικός χώρος CIELAB (1976)

Πρόκειται για ένα τρισδιάστατο σύστημα με άξονες τις τιμές L^* , a^* και b^* και την αρχή των αξόνων να τοποθετείται στο κέντρο του L^* . Το a^* και το b^* είναι οι χρωματικοί δείκτες και στον τρισδιάστατο χώρο CIELAB (1976) αντιπροσωπεύουν τις χρωματομετρικές συντεταγμένες, μπορούν να πάρουν και θετικές και αρνητικές τιμές ανάλογα με εύρος από -100 έως +100 (Ορφανάκος, 2004). Ο άξονας a^* (+a: κόκκινου χρώματος έως -a: πράσινου χρώματος) δείχνει πόσο κόκκινο (θετικές τιμές) ή πόσο πράσινο (αρνητικές τιμές) είναι το χρώμα και χαρακτηρίζεται ως άξονας «κοκκινίσματος». Ο άξονας b^* (+b: κίτρινου χρώματος έως -b: μπλε χρώματος) δείχνει πόσο κίτρινο (θετικές τιμές) ή πόσο μπλε (αρνητικές τιμές) είναι το χρώμα και χαρακτηρίζεται ως άξονας «κιτρινίσματος».

Το L^* στον χρωματικό χώρο CIELAB (1976) αντιπροσωπεύει την φωτεινότητα και μπορεί να πάρει μόνο θετικές τιμές από 0 σε μαύρο σώμα που απορροφά εντελώς το φως έως 100 για ολόλευκο σώμα όπου το φως αντανακλάται εξολοκλήρου. Αντίστοιχα, ο άξονας L^* (λευκού-μαύρου) δείχνει πόσο μαύρο ή πόσο λευκό είναι ένα σώμα και χαρακτηρίζεται ως άξονας «Λευκότητας».

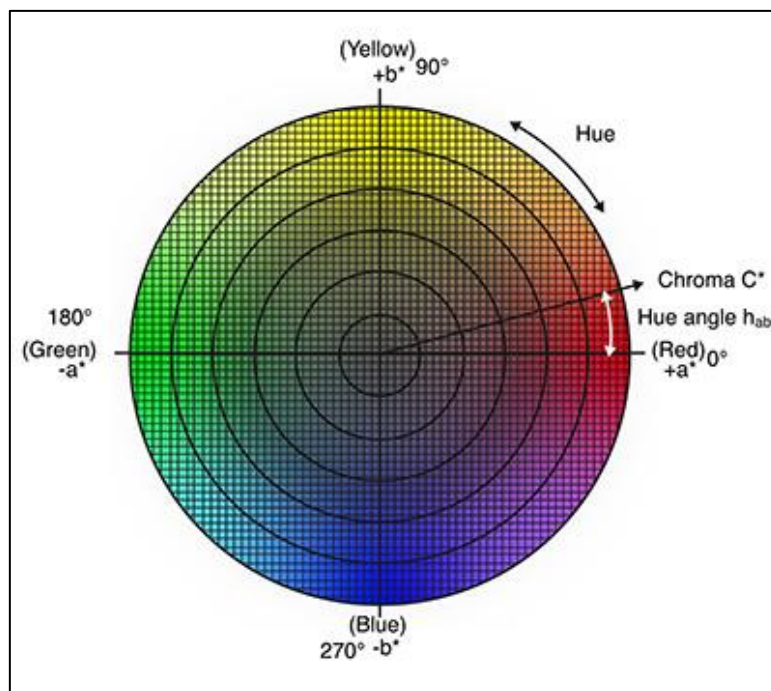
Στο σύστημα CIE (1976) υποδεικνύεται σε αριθμητική μορφή ο βαθμός κορεσμού των χρωμάτων στον χρωματικό χώρο Lab, βάση των χρωματικών παραμέτρων L^* , a^* και b^* . Έτσι, έχουμε:

Φωτεινότητα: L^*

Χρωματική πυκνότητα: $C^* = \sqrt[1/2]{a^{*2} + b^{*2}}$

Γωνία χροιάς: $h^\circ = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} = \arctan \frac{b^*}{a^*}$

Με τη χρήση ενός κυκλικού δακτυλίου 360° (Εικ. 9) βρίσκουμε την απόχρωση. Η χρωματική πυκνότητα ως διανυσματικό μέγεθος έχει αρχή το σημείο τομής των αξόνων a^* και b^* και το μέγεθός της βρίσκεται από τον παραπάνω τύπο. Η γωνία της χροιάς (h°), υποδεικνύει την κατεύθυνση με αρχή το σημείο 0 που αντιστοιχεί στο κόκκινο ($+a^*$), 90° στο κίτρινο ($+b^*$), 180° στο πράσινο ($-a^*$), 270° στο μπλε ($-b^*$) και 360° στο κόκκινο ($+a^*$). Με την τιμή της φωτεινότητας και της γωνίας της χροιάς λαμβάνουμε μια ολοκληρωμένη περιγραφή του χρώματος ενός δείγματος.



Εικόνα 9. Διάγραμμα LCh (<https://sensing.konicaminolta.us>)

2.3.3. Σύστημα Munsell

Μεταξύ των συστημάτων διάταξης αποχρώσεων, το σύστημα Munsell θεωρείται το πλέον ενδιαφέρον τόσο στα μετρούμενα, όσο και στα αυθαίρετα συστήματα. Έτσι, πολλά άλλα συστήματα χρησιμοποιούν τη φιλοσοφία και τη μεθοδολογία του, μάλιστα αναφέρεται συχνά και η αντιστοιχία τους με αυτό.

Στο σύστημα Munsell αρχικά περιλαμβανόταν μια μεγάλη σειρά δοκιμίων καταταγμένα ανά απόχρωση σε ακτινωτή διάσταση πυκνότητας της απόχρωσης. Στη συνέχεια μετατράπηκε σε χρωματικό σύστημα που συμπλήρωνε τα κενά που υπήρχαν, βασισμένο στην αρχική φιλοσοφία διάταξης όλων των αποχρώσεων, σε συνδυασμό με τη θεωρία CIE (1931).

Αντίστοιχα με τα άλλα συστήματα χρωματικών διατάξεων, το σύστημα Munsell έχει τις δικές του ιδιότητες, οι οποίες το καθορίζουν. Οι ιδιότητες αυτές είναι η Χροιά (Hue, H), η

χρωματική ποσότητα (V) και η χρωματική αίσθηση (Chroma, C). Παρά την μεγάλη τους ομοιότητα προς τους αντίστοιχους χρωματομετρικούς όρους, εξαιτίας της αυθαίρετης κλίμακας, διαφέρουν από αυτούς.

Έτσι στο σύστημα Munsell, η Χροιά (Munsell Hue H) είναι μια παρεμφερής έκφραση της αντίστοιχης κατά CIE, που είναι συνάρτηση των x, y, Y, και εδώ σε αυθαίρετη εκατονταβάθμια κλίμακα. περίπου ισοδύναμων βημάτων, προς την οποία όμως μπορεί να συγκριθεί κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες.

Η χρωματική ποσότητα (Munsell Value V) που σε συνήθεις συνθήκες παρατήρησης ισοδυναμεί προς τη φωτεινότητα της απόχρωσης, εκφράζει τον συντελεστή φωτεινότητας Y μιας απόχρωσης, σε εκατονταβάθμια κλίμακα (με υποδιαιρέσεις των 10) περίπου ισοδύναμων βαθμίδων.

Η χρωματική αίσθηση (Munsell Chroma C) είναι μια έκφραση κατά την οποία περιγράφεται ο βαθμός στον οποίο απομακρύνεται μια χρωματική διέγερση από το αχρωματικό σημείο. Η κλίμακα είναι αυθαίρετη και εξαρτώμενη από τη χρωματική ποσότητα, αλλά και τις χρωματικές συντεταγμένες x,y, με βήματα που παρόλο που είναι ισοδύναμα σχεδόν, είναι αυθαίρετα. Κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες παρατήρησης υπάρχει ταύτιση της χρωματικής αίσθησης κατά CIE και της κατά Munsell χρωματικής αίσθησης.

Οι αποχρώσεις στο σύστημα Munsell κωδικοποιούνται αφού βρεθούν οι τρεις αυτές ποσότητες και παρατεθούν ως H, V/C.

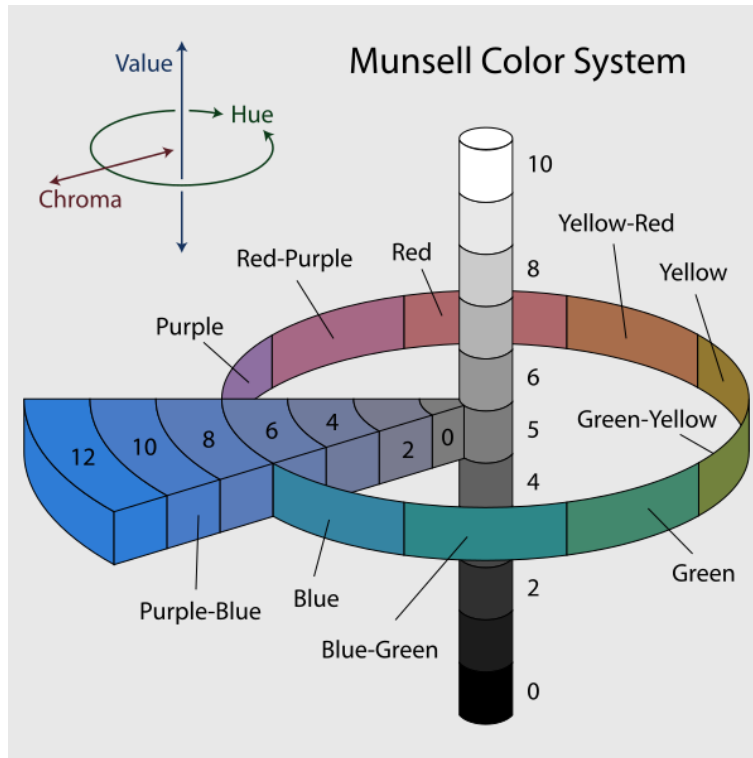
Τα H, V, C που χρησιμοποιούνται στο σύστημα Munsell διαφέρουν από τα H*, V*, C* κατά CIE. Η βαθμονόμηση των παραμέτρων αυτών έγινε με τρόπο ώστε να διαμορφώνεται μια αντιληπτή προοδευτικότητα μεταβολής τους και να εμφανίζεται πάντοτε η ίδια διαφορά απόχρωσης που θα είναι και αντιληπτή, έπειτα από ισοδύναμες μεταβολές οποιουδήποτε από αυτούς.

Βάση του αρχικού τύπου του Priest $V = Y^{1/2}$ και αφού το Y παίρνει τιμές από 0 έως 100, υπολογίζουμε ότι η χρωματική ποσότητα V παίρνει τιμές από 0 έως 10 (Ορφανάκος, 2004). Η χροιά (H) η οποία θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σαν «γωνιακή διάσταση», καθορίζεται βάση της χροιάς της απόχρωσης.

Τα χρωματικά διαγράμματα που χρησιμοποιούνται στα άλλα συστήματα, δεν μπορούν να εφαρμοστούν στο σύστημα Munsell, καθώς η πορφυρή γραμμή δεν είναι πραγματικός γεωμετρικός χώρος απορροφήσεων αλλά νοητή, άρα τα συστήματα αυτά δεν αποτελούν «κλειστούς χώρους». Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί ο χρωματικός κύκλος στον οποίο η αλληλουχία χροιάς αποτελεί κλειστό χώρο των κυρίαρχων αποχρώσεων, των

συμπληρωματικών και των συνδυασμών τους (Ορφανάκος, 2004).

Στο σύστημα Munsell η κωδικοποίηση των αποχρώσεων περιλαμβάνεται εντός ενός «δέντρου» ή «Ατλαντα», 1500 περίπου αποχρώσεων, όπως ήταν και η αρχική του μορφή (Εικ. 10).

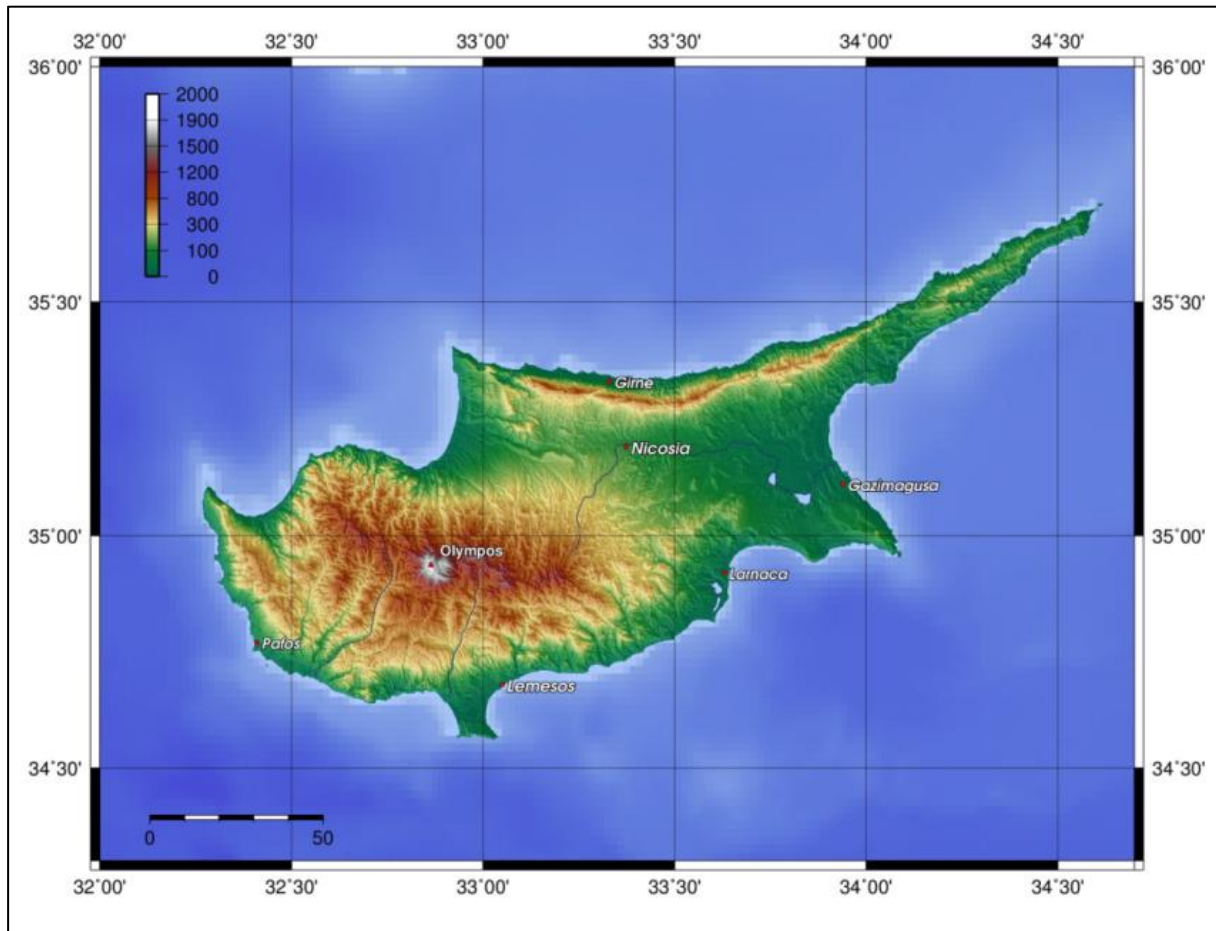


Εικόνα 10. Χρωματικό σύστημα Munsell στην τιμή $V = 5$ (© 2007 Jacob Rus).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΥΠΡΟΥ

Η Κύπρος είναι ένα από τα μεγαλύτερα νησιά της Μεσογείου, η γεωγραφική της θέση είναι στο βορειοανατολικό άκρο της Ανατολικής Μεσογείου σε συντεταγμένες γεωγραφικού μήκους από 32°15' έως 34°37' ανατολικά του μεσημβρινού του Γκρήνουιτς και γεωγραφικού πλάτους από 34°33' έως 35°43' βόρεια του Ισημερινού (Εικ. 11).



Εικόνα 11. Τοπογραφικός Χάρτης Κύπρου (Zamonin - Source: At least one of the following Public Domain data sources ETOPO1 (Resolution 1° = 1,8km) GLOBE (Resolution 30' = 0,9km) SRTM (Resolution 3' = 90m)).

Γεωμορφολογικά η Κύπρος αποτελείται από τρεις μορφολογικές μονάδες κατά την ανάπτυξη της σε διεύθυνση Α-Δ που συνδέονται άμεσα με την πολύπλοκη γεωτεκτονική της εξέλιξη:

Α) Την οροσειρά του Τροόδους που αποτελεί την κύρια γεωμορφολογική μονάδα της Κύπρου. Βρίσκεται στο Κεντρικό-Νότιο τμήμα της νήσου και καταλαμβάνει έκταση περίπου 3200 km². Η υψηλότερη κορφή της οροσειράς είναι ο Όλυμπος με υψόμετρο 1950m.

Β) Την οροσειρά του Πενταδακτύλου, που βρίσκεται στην βόρεια ακτή του νησιού και έχει επίμηκες σχήμα μήκους περίπου 160 km και πλάτους 13 km περίπου. Το μέγιστο υψόμετρο της οροσειράς του Πενταδακτύλου είναι 1024 m.

Γ) Την πεδινή περιοχή της Μεσαορίας που είναι ενδιάμεση στις δύο οροσειρές. Η πεδιάδα της Μεσαορίας εκτείνεται από τον κόλπο της Μόρφου μέχρι και τον κόλπο της Αμμοχώστου.

3.1 Γεωτεκτονική εξέλιξη

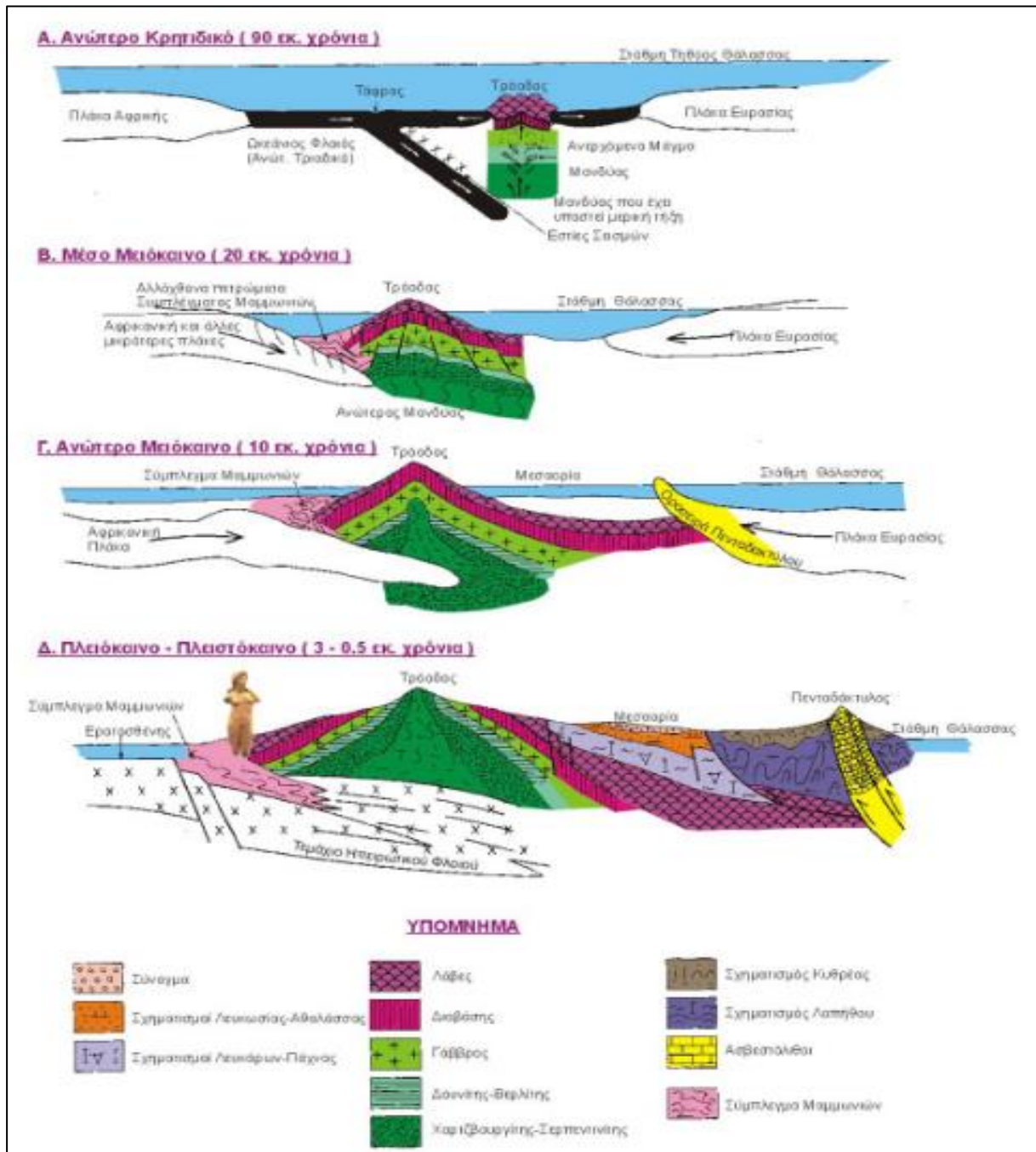
Γεωλογικά η Κύπρος αποτελεί μια αυτοτελή γεωτεκτονική μονάδα, η οποία σχετίζεται έμμεσα με το εξωτερικότερο (νοτιότερο) ιζηματογενές τμήμα του Δυναροταυρικού τόξου (προέκταση του Δυναροταυρικού τόξου). Εν μέρει εντάσσεται στο Αλπικό ορογενετικό σύστημα και εν μέρει στη νεώτερη Μεσογειακή ορογένεση (Μουντράκης, 2010).

Σύμφωνα με τον Μουντράκη (2010), η γεωτεκτονική εξέλιξη της Κύπρου (Εικ. 12) ξεκίνησε στο Τριαδικό με μια ηπειρωτική διάρρηξη στο ηπειρωτικό περιθώριο της Γκοτβάνας, η οποία σταδιακά εξελίχθηκε σε γένεση ωκεανού, με ανάπτυξη τυπικής μεσοωκεάνιας ράχης, ωκεάνιου πυθμένα και φλοιού, δημιούργησε μια ωκεάνια λεκάνη του Νότιου κλάδου της Νεοτηθύος. Στη συνέχεια η ωκεάνια λεκάνη καταστράφηκε, αρχικά με ενδοωκεάνια διάρρηξη και υποβύθιση, που εξελίχθηκε σε υποβύθιση κάτω από το Ευρασιατικό περιθώριο της Ανατολίας, το οποίο είχε συγκροτηθεί νωρίτερα από υποβυθίσεις άλλων ωκεάνιων λεκανών και συγκολλήσεις των αντίστοιχων ηπειρωτικών τεμαχίων της Τηθύος. Οι οφιολίθι της ωκεάνιας λεκάνης (οφιολίθι Τροόδους) επωθήθηκαν με την υποβύθιση αυτή πάνω στην Αφρικανική πλάκα και στα πετρώματα του ηπειρωτικού περιθωρίου, στο οποίο είχε δημιουργηθεί προηγουμένως το αντίστοιχο mélange της ζώνης Μαμωνίων ως αποτέλεσμα της αρχικής ηπειρωτικής διάρρηξης-ταφρογένεσης. Χρονολογικά η διαδικασία της υποβύθισης, της επώθησης των οφιολίθων και της δημιουργίας του αντίστοιχου mélange τοποθετούνται στο Άνω Κρητιδικό (Καμπάνιο-Μαιστρίχτιο).

Άλλες μελέτες, υποστηρίζουν ότι μετά την γένεση τους οι οφιολίθι του Τροόδους υπέστησαν μια οριζόντια αριστερόστροφη περιστροφή 90° (Moores & Vine, 1971; Lauer & Barry, 1976), άποψη που αποδείχθηκε και από τους Clube et al. (1985) που υποστήριξαν ότι η περιστροφή διήρκεσε από το τέλος Κρητιδικού έως την αρχή του Ηωκαίνου. Η άποψη αυτή επιβεβαιώθηκε αργότερα και από άλλους ερευνητές.

Η περίοδος Α. Κρητιδικού-Μ. Μειόκαινου (75-10 Ma) χαρακτηρίζεται περίοδος σχετικής τεκτονικής ηρεμίας με ανθρακική ιζηματογένεση και σταδιακής μείωσης του

βάθους των ιζηματογενών λεκανών (Σχηματισμοί Λευκάρων και Πάχνας). Το κλείσιμο της Τηθύος στο τέλος του Μειοκαίνου (6 Ma) είχε ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό των εβαπορίτων του Σχηματισμού Καλαβασού. Μια νέα φάση ιζηματογένεσης έλαβε χώρα με την επανένωση της Μεσογείου με τον Ατλαντικό και την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας (Σχηματισμοί Λευκωσίας και Αθαλάσσας).



Εικόνα 12. Σχηματική απεικόνιση της δημιουργίας του οφιολιθικού συμπλέγματος του Τροόδους (Α) και της γεωλογικής εξέλιξης της Κύπρου (Β-Δ), (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου).

Σύμφωνα με τον Μουντράκη (2010) κατά το Τριτογενές και Τεταρτογενές δημιουργήθηκε μια διπλή ωκεάνια υποβύθιση κάτω από το ηπειρωτικό περιθώριο της Ευρασιατικής πλάκας. Αρχικά, έγινε υποβύθιση κάτω από την Αλπική ζώνη του Πενταδακτύλου και ακολούθως νότια της Κύπρου κάτω από την μάζα των οφιολίθων του Τροόδους. Βάσει αυτών ερμηνεύει τη «μετανάστευση», από τη θέση του Πενταδακτύλου στη θέση νότια του Τροόδους του Κυπριακού τόξου και την ανύψωση του Τροόδους μέχρι και σήμερα.

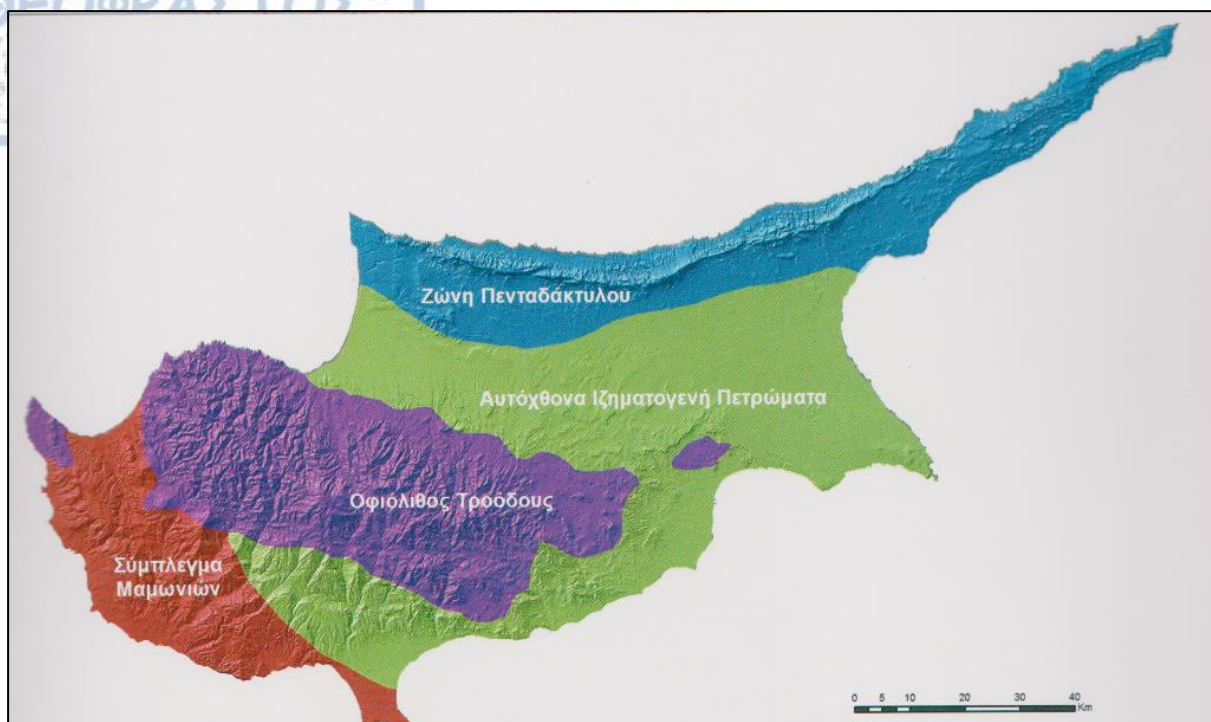
Όπως αναφέρουν οι Robertson (2000) και Schildgen et al. (2012) η σύγκρουση του υποθαλάσσιου υβώματος του Ερατοσθένη με την Κυπριακή τάφρο στα Νότια της Κύπρου θεωρείται πως ήταν σημαντικός μηχανισμός στην ανύψωση της οφιολιθικής μάζας του Τροόδους. Οι Robertson (1990, 1998) και Poole and Robertson (1991) θεώρησαν ως σημαντικό παράγοντα που διευκόλυνε την ανύψωση του δόμου του Τροόδους την σερπαντινίωση στη σφήνα του μανδύα κάτω από την οροσειρά του Τροόδους.

Η ωκεάνια υποβύθιση κατά το Τριτογενές και το Τεταρτογενές αναφέρεται και από τους Clube and Robertson (1986) όπου καταγράφουν δυο φάσεις σημαντικής ανύψωσης. Η πρώτη κατά το μέσο Μειόκαινο και η δεύτερη κατά το Πλειο-Πλειστόκαινο. Η απότομη ανύψωση του χώρου της Κύπρου κατά το Πλειστόκαινο έφερε το Τρόδος και τον Πενταδάκτυλο σε υψόμετρα μεγαλύτερα των σημερινών. Η εκτεταμένη διάβρωση των οροσειρών και η μεταφορά και απόθεση των υλικών της διάβρωσης σχημάτισε τα Πλειστοκαινικά ιζήματα (Κωνσταντίνου & Παναγίδης, 2013).

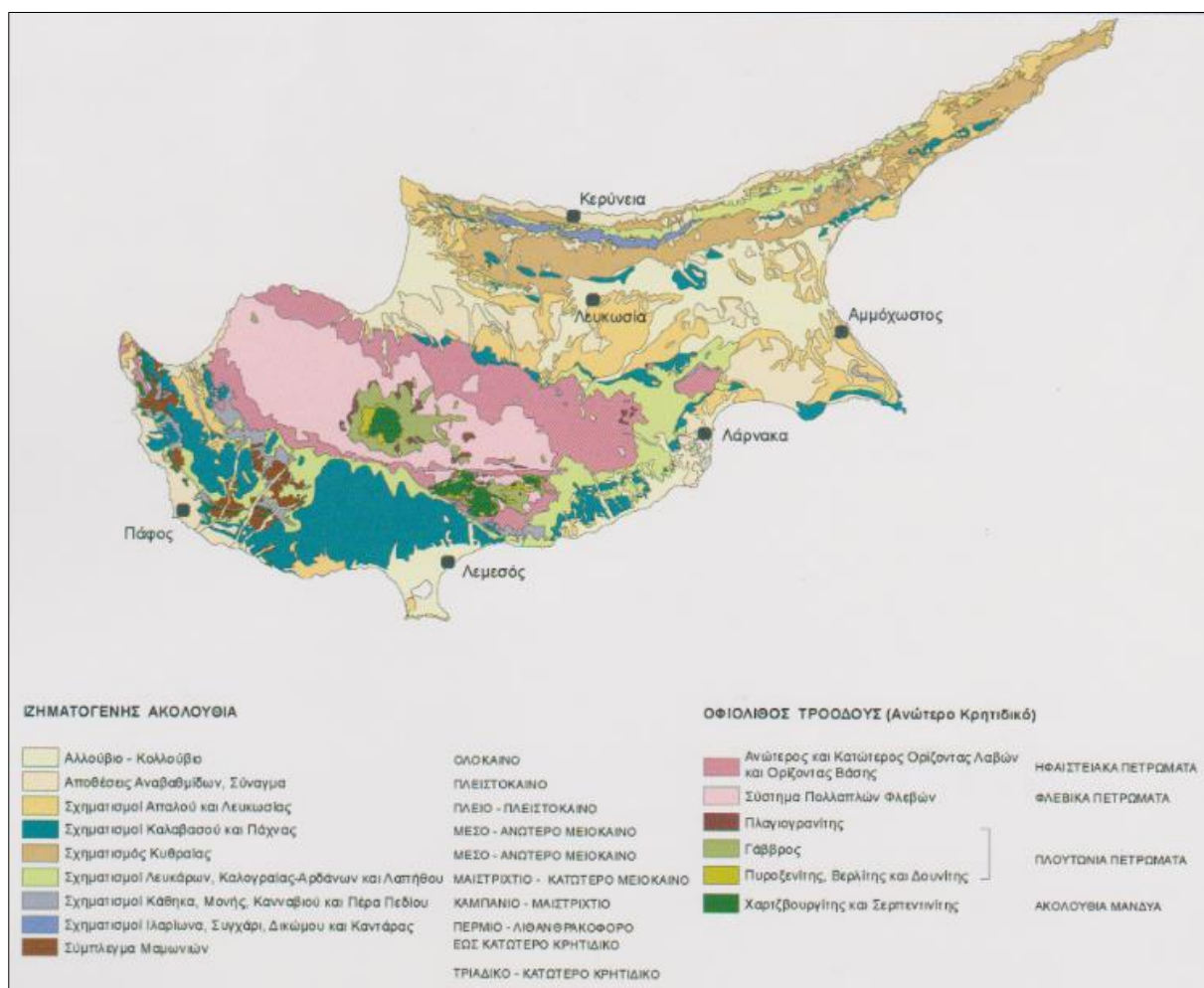
3.2 Γεωλογικές ζώνες Κύπρου

Η Κύπρος διαιρείται σε τέσσερις γεωλογικές ζώνες όπως φαίνεται και στο γεωλογικό της χάρτη (Εικ. 13,14):

- A) Τη ζώνη ή οφιολιθικό σύμπλεγμα του Τροόδους που αποτελεί μια επιμηκυμένη δομή με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ με μικρότερες εμφανίσεις στην περιοχή του Ακάμα και στο χωριό των Τρούλων,
- B) Τη ζώνη αυτοχθόνων ιζηματογενών πετρωμάτων που εκτείνεται στη λεκάνη της Μεσαορίας και νότια της οροσειράς του Τροόδους, αναφέρεται και ως ιζηματογενής ακολουθία Τροόδους,
- Γ) Το σύμπλεγμα ή ζώνη Μαμωνίων που τοποθετείται δυτικά και νοτιοδυτικά της Κύπρου,
- Δ) Τη ζώνη της Κερύνειας ή Πενταδακτύλου που καλύπτει την οροσειρά του Πενταδακτύλου στο Βόρειο άκρο.



Εικόνα 13. Οι Γεωλογικές Ζώνες της Κύπρου (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου).



Εικόνα 14. Απλοποιημένος Γεωλογικός Χάρτης της Κύπρου (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου).

3.2.1 Ζώνη Τροόδους

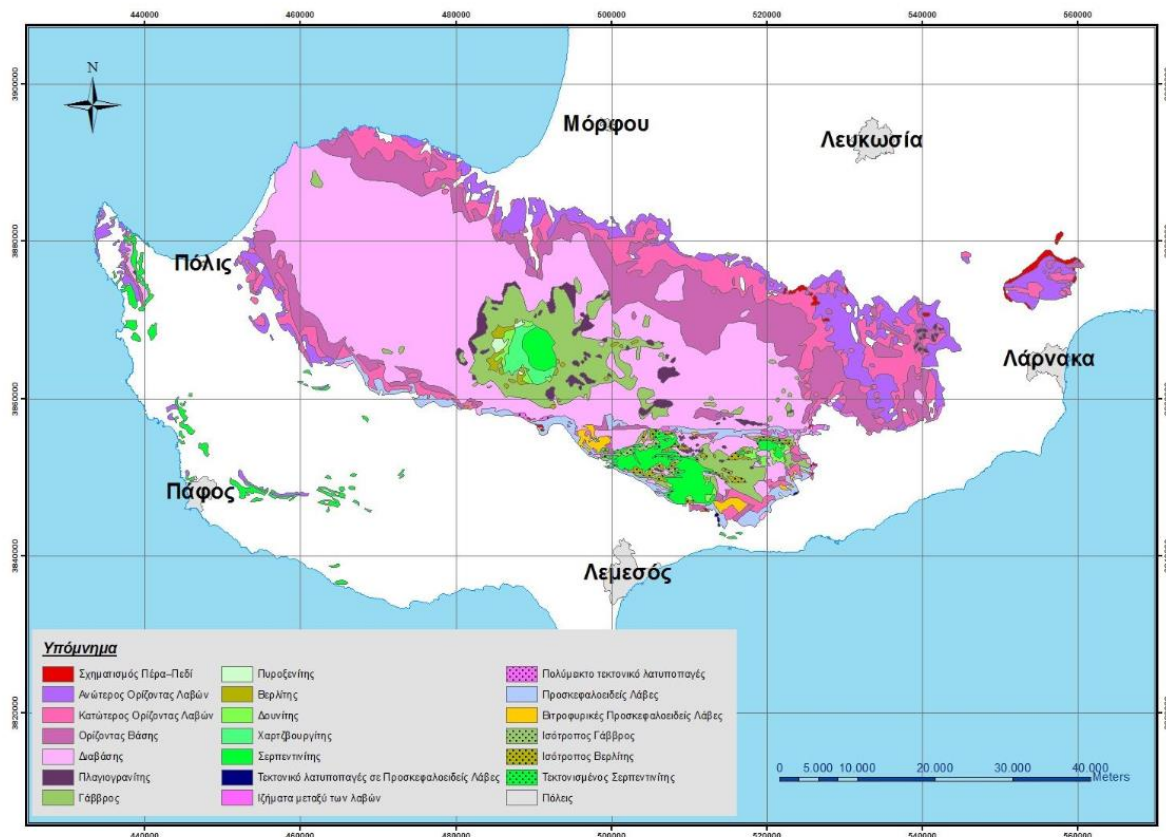
Το οφιολιθικό σύμπλεγμα του Τροόδους (Εικ. 15) είναι ένα πλήρως αναπτυγμένο κομμάτι ωκεάνιου φλοιού, με σειρά πλουτωνικών, φλεβικών, ηφαιστειακών πετρωμάτων και των συνοδών χημικών ιζημάτων και αποτελεί μία από τις σημαντικότερες παγκοσμίως οφιολιθικές ακολουθίες. Η τοποθέτηση μετά τον σχηματισμό τους στο ηπειρωτικό περιθώριο και η μετέπειτα ανύψωσή τους είχε ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό ενός τεκτονικού παράθυρου. Η στρωματογραφία του παρουσιάζει τοπογραφική αναστροφή με αποτέλεσμα, στην κορυφή του Τροόδους να βρίσκονται τα κατώτερα στρωματογραφικά στρώματα και περιφερειακά της κορυφής σε χαμηλότερα υψόμετρα τα ανώτερα στρωματογραφικά τμήματα της οφιολιθικής ακολουθίας. Έτσι, σημαντική έκταση της Κύπρου καλύπτεται από ένα ωκεάνιο φλοιό πάχους 6 km, με μία από τις καλύτερα διατηρημένες στρωματογραφικές διατάξεις στη γη, που δικαιολογημένα έχει προσελκύσει πολλούς γεωεπιστήμονες ανά τον κόσμο για να τον μελετήσουν και αποτέλεσε σημαντικό βοήθημα στη μελέτη του τρόπου σχηματισμού των ωκεάνιων φλοιών, αλλά και τον μεταλλοφοριών που τους συνοδεύουν.

Η οφιολιθική ακολουθία του Τροόδους συνοδεύεται από σημαντικές μεταλλοφορίες. Στη σειρά των pillow λαβών εντοπίζονται αρκετά κοιτάσματα χαλκούχων σιδηροπυριτών, υψηλών συγκεντρώσεων χαλκού, ενώ στα υπερβασικά πετρώματα υπάρχουν κοιτάσματα χρωμίτη και το μεγαλύτερο κοιτάσμα αμιάντου στην Ευρώπη. Στην οφιολιθική σειρά του Τροόδους εμφανίζονται επίσης σημαντικά κοιτάσματα ορυκτών χρωμάτων (ώχρες, ούμβρες), των οποίων ο σχηματισμός αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης για πολλούς ερευνητές.

Η στρωματογραφική ακολουθία του Τροόδους αποτελείται σύμφωνα με τον Μουντράκη (2010) από πάνω προς τα κάτω από:

- Υπερβασικά πετρώματα (χαρσβουργίτες, δουνίτες, βερλίτες, πυροξενίτες) μερικώς σερπεντινωμένα.
- Πλουτωνικά βασικά και όξινα πετρώματα (γάββροι, πλαγιογρανίτες).
- Το σύμπλεγμα των βασικών διαβασικών-βασαλτικών φλεβών, που είναι τυπικές της υποθαλάσσιας ηφαιστειότητας (Sheeted dykes complex).
- Χαρακτηριστικές pillow λάβες με βασαλτική-ανδεσιτική σύσταση.

Σύμφωνα με τον Constantinou (1972) οι pillow λάβες χωρίζονται σε έναν κατώτερο ορίζοντα μέγιστου πάχους 380 m και έναν ανώτερο μέγιστου πάχους 620 m. Μεταξύ του κατώτερου και ανώτερου ορίζοντα εμφανίζονται τοπικά λεπτά στρώματα ιζημάτων ώχρας, των οποίων η ύπαρξη μαρτυρά μια περίοδο παύσης της ηφαιστειότητας.



Εικόνα 15. Ζώνη Τροόδου (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου).

Πάνω από την οφιολιθική ακολουθία τοποθετούνται ιζήματα τα οποία και χρονολογούν την τοποθέτηση της. Χρονολόγηση των πρώτων υπερκείμενων ιζημάτων γίνεται από τον Mantis (1970) που αναφέρει ότι είναι πλούσια σε οξείδια μετάλλων (σύνμβρες) και ραδιολαρίτες, με τους τελευταίους να χρονολογήθηκαν ως Άνω Κρητιδικοί (Καμπάνιο) στην ηλικία.

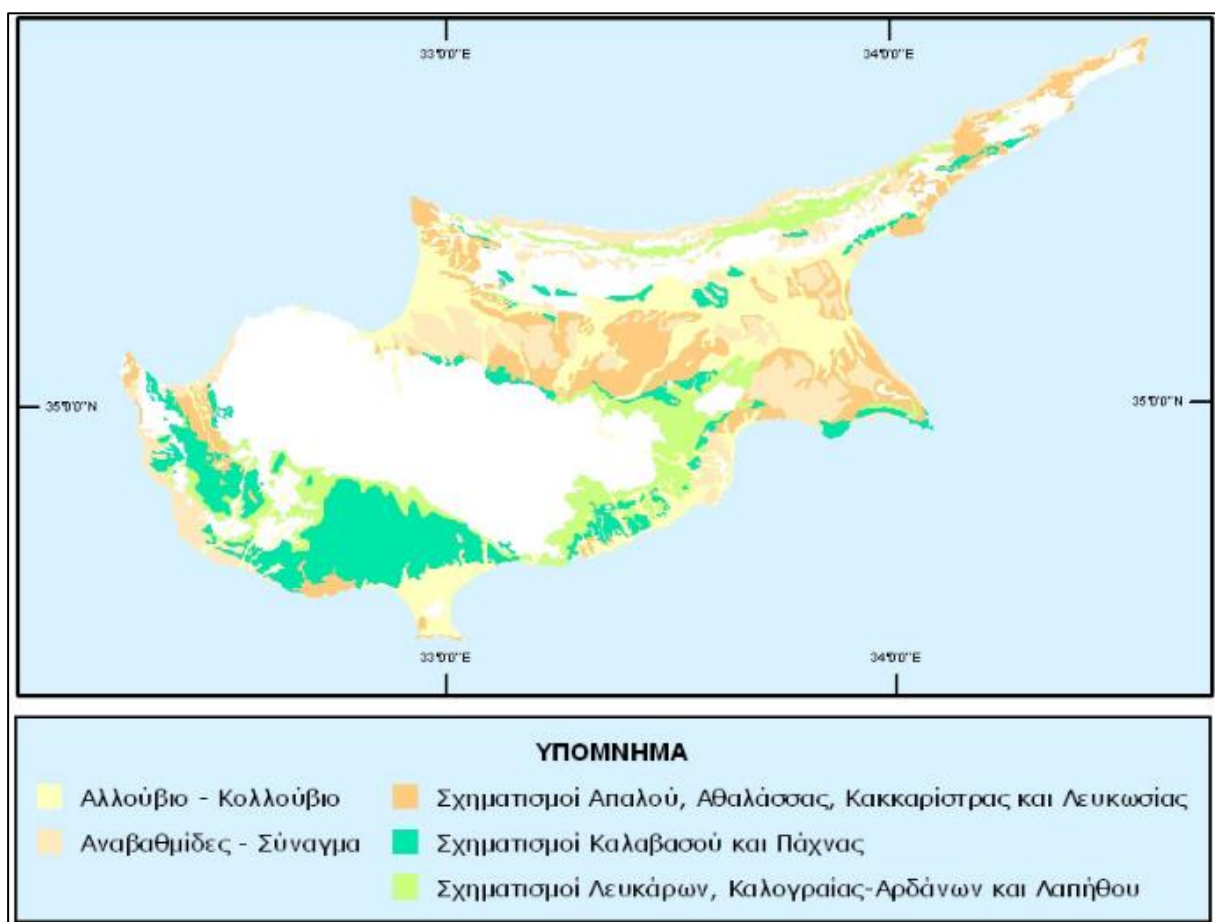
Σχηματισμός Πέρα Πέδι

Ο σχηματισμός Πέρα Πέδι είναι συνδεδεμένος με την οφιολιθική ακολουθία και για αυτό το λόγο περιγράφεται ως μέρος αυτής. Συγκεκριμένα, είναι τα πρώτα ιζήματα, πλούσια σε οξείδια σιδήρου και μαγγανίου, ηλικίας Καμπανίου που αποτέθηκαν πάνω στις ανώτερες pillow λάβες. Αποτελούνται από σύνμβρες (φαιόχωμα), ραδιολαρίτες και ραδιολαριτικούς πηλίτες. Το χρώμα τους είναι καστανό, καφέ ή μαύρο. Σύμφωνα με τον Robertson (1975) οι σύνμβρες προς τα άνω γίνονται πιο αργίλικές και το χρώμα από σκούρο καφέ γίνεται γκρι. Το μέγιστο πάχος των στρωμάτων τους είναι 35 m (Robertson & Hudson, 1974). Σχετικά με την προέλευση τους αναπτύχθηκαν διαφορετικές θεωρίες από αρκετούς επιστήμονες με την επικρατέστερη να τα θεωρεί χημικά ιζήματα που προέκυψαν ως αποτέλεσμα υδροθερμικής

δραστηριότητας (θερμά διαλύματα πλούσια σε Fe και Mn) και ιζηματογένεσης στο θαλάσσιο πυθμένα.

3.2.2 Ζώνη αυτοχθόνων ιζηματογενών πετρωμάτων

Η ζώνη αυτοχθόνων ιζηματογενών πετρωμάτων αποτελείται από μια ιζηματογενή ακολουθία ηλικίας Άνω Κρητιδικού-Τριτογενούς-Τεταρτογενούς (Εικ. 16). Η ζώνη είναι υπερκείμενη των οφιολίθων τους οποίους περιβάλλει από Βόρεια, Ανατολικά και Νότια, ενώ προεκτείνεται και καλύπτει την πεδιάδα της Μεσαορίας. Η ιζηματογενής ακολουθία αποτελείται από:



Εικόνα 16. Ζώνη Αυτόχθονων Ιζημάτων (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου).

Σχηματισμός Κανναβιού

Ο σχηματισμός Κανναβιού αποτελείται κυρίως από ηλικίας Άνω Καμπανίου-Μέσο Μαιστρίχτιου μπεντονιτικούς αργίλους και ραδιολαρίτες (στα κατώτερα στρώματα) που υποδείχνουν αργό ρυθμό απόθεσης, αντιθέτως με τους ανώτερους στρωματογραφικά ασβεστιτικούς μπεντονιτικούς αργίλους, ηφαιστειοκλαστικούς ιλυόλιθους και

ηφαιστειοκλαστικούς ψαμμίτες που υποδεικνύουν μια σαφώς πιο ταχεία απόθεση (Robertson, 1977). Ο σχηματισμός εμφανίζεται στην περιοχή της Πάφου όπου επικάθεται των ανώτερων pillow λάβας και του σχηματισμού Πέρα Πέδι. Σύμφωνα με τον Robertson (1977) οι ηφαιστειοκλαστικοί ψαμμίτες προέρχονται εν μέρει από υποθαλάσσια διάβρωση των υποκείμενων λαβών του Τροόδους, αντίθετα οι ανώτερες αλληλουχίες περιέχουν βασικά έως όξινα ηφαιστειακά και άφθονο υλικό που προέρχεται από περιοχές εκτός της ακολουθίας υπερβασικών πετρωμάτων της νότιας Κύπρου.

Σχηματισμός Κάθηκα

Ο σχηματισμός Κάθηκα έχει ηλικία Μαιστρίχτιο, η δημιουργία του είναι άμεσα συνδεδεμένη με την τοποθέτηση της ζώνης Μαμωνίων της οποίας επικάθεται σε ορισμένες περιοχές. Αποτελείται από κλαστικές αποθέσεις γωνιώδη τεμαχών προερχόμενα κυρίως από πετρώματα του Συμπλέγματος Μαμωνίων, αλλά και από τους Οφιοιλίθους του Τροόδους, ενστρωματωμένα σε αμμούχα και αργιλούχα μάζα.

Σχηματισμός Λευκάρων

Ο σχηματισμός Λευκάρων είναι ηλικίας Παλαιόκαινου - Κάτω Μειοκαίνου (ανθρακική ιζηματογένεση). Σύμφωνα με τον Constantinou (1972) στις περιοχές όπου ο σχηματισμός Πέρα Πέδι απουσιάζει, τα ιζήματα του σχηματισμού Λευκάρων τοποθετούνται ασύμφωνα στις Ανώτερες pillow λάβες.

Ο σχηματισμός Λευκάρων αποτελείται κατά τη στρωματογραφική ακολουθία από τις κατώτερες μάργες (Μαιστρίχτιο-Παλαιόκαινο), κρητίδες με στρώσεις κερατόλιθων (Παλαιόκαινο-Ηώκαινο), συμπαγής κρητίδες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και ασβεστόλιθους με εναλλαγές ψαμμιτών (Κάτω Μειόκαινο).

Σχηματισμός Πάχνας

Πάνω από τον σχηματισμό Λευκάρων τοποθετούνται τα ανθρακικά ιζήματα του Σχηματισμού Πάχνας. Ο Σχηματισμός Πάχνας αποτελείται από υποκίτρινες μάργες, κρητίδες, ασβεστολιθικό ψαμμίτη και υφαλογενείς ασβεστόλιθους, ηλικίας Μειοκαίνου.

Σχηματισμός Καλαβασού

Ο σχηματισμός Καλαβασού τοποθετείται στρωματογραφικά πάνω στον σχηματισμό Πάχνας και είναι ηλικίας Άνω Μειοκαίνου. Σχηματίστηκε από απόθεση εβαπορίτων, ως αποτέλεσμα της αποκοπής της Μεσογείου από τον Ατλαντικό Ωκεανό και την εξάτμιση του

νερού. Ο σχηματισμός αποτελείται από γύψο και γυψούχες μάργες. Η γύψος εμφανίζεται σε 4 τύπους α) το σεληνίτη με μεγάλους διαφανείς κρυστάλλους, β) τον σακχαροειδή (κρυσταλλικός), γ) το αλάβαστρο (συμπαγής, ημιδιαφανής) και δ) τον ελασματοειδή.

Σχηματισμός Λευκωσίας

Κατά το Πλειόκαινο άρχισε ένας νέος κύκλος ιζηματογένεσης με την επανένωση της Μεσογείου με τον Ατλαντικό Ωκεανό. Τα πρώτα ιζήματα που αποτέθηκαν είναι αυτά του σχηματισμού Λευκωσίας που υπέρκειται των παλαιότερων σχηματισμών συνήθως με γωνιώδη ασυνέχεια.

Ο σχηματισμός Λευκωσίας αποτελείται από ασβεστιτικό ψαμμίτη, ιλυόλιθους (γκρίζους, κίτρινους), αμμούχες μάργες, μάργες και κροκαλοπαγή. Η ιζηματογένεση του σχηματισμού Λευκωσίας έγινε κατά το μεγαλύτερο μέρος εντός της λεκάνης της Μεσαορίας και το συνολικό πάχος από στοιχεία γεώτρησης είναι 800 m (Ducloz, 1965). Το ψαμμιτικό υλικό σύμφωνα με τα τρίμματα γεωτρήσεων είναι οφιολιθικής προέλευσης.

Σχηματισμός Αθαλάσσας

Ο σχηματισμός Αθαλάσσας είναι ηλικίας Άνω Πλειοκαίνου- Κάτω Πλειστόκαινου, και σύμφωνα με τον McCallum (1989) υπέρκειται του σχηματισμού Λευκωσίας με μικρής κλίσης γωνιώδη ασυμφωνία. Αποτελείται από απολιθωματοφόρους ασβεστιτικούς ψαμμίτες, κατά θέσεις σε εναλλαγές με κίτρινες μάργες.

Σύναγμα (Πλειστόκαινο)

Το σύναγμα αποτελείται από χαλίκια, άμμο και ιλύ (κροκαλοπαγή) και είναι ηλικίας Πλειστοκαίνου. Ο σχηματισμός του είναι το αποτέλεσμα της μεγάλης διάβρωσης του Τροόδους, λόγω του μεγάλου ρυθμού ανύψωσης της οφιολιθικής ακολουθίας κατά το Πλειστόκαινο.

Αλλούβιο – Κολλούβιο

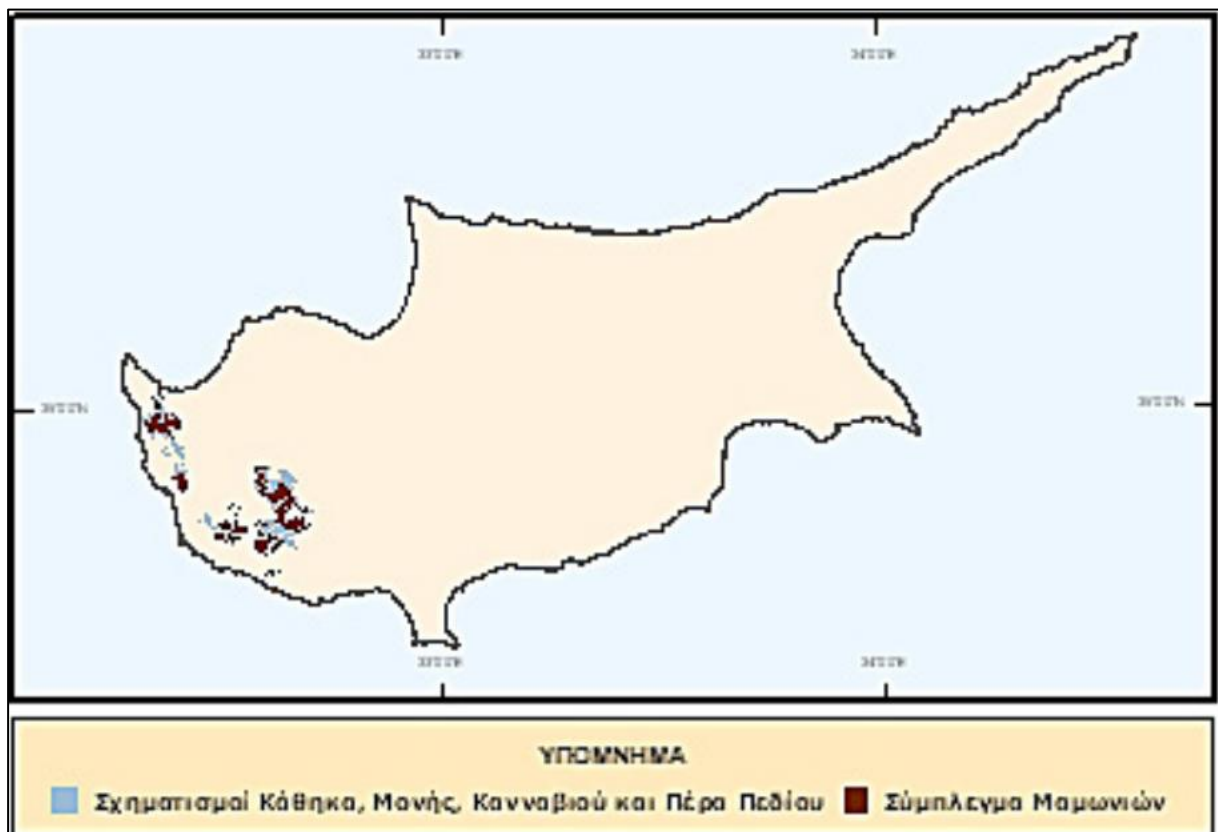
Πρόκειται για τον νεότερο σχηματισμό ηλικίας Ολόκαινου, που αποτελείται από αποθέσεις αλλούβιου και κολλούβιου. Το κολλούβιο αποτελείται από αποθέσεις ριπιδίων, ενώ τα αλλούβια από αποθέσεις κροκάλλων, άμμου, ιλύς και αργίλου σε πλημμυρικές και δελταϊκές περιοχές των χειμάρρων.

3.2.3 Ζώνη Μαμωνίων

Η ζώνη Μαμωνίων (Σύμπλεγμα Μαμωνίων) είναι μια ζώνη οφιολιθικών μιγμάτων

(melanges) που τοποθετείται στη νότια-νοτιοδυτική Κύπρο (Εικ. 17). Τυπικά πετρώματα του συμπλέγματος βρίσκονται στο χωριό Μαμώνια της επαρχίας Πάφου από το οποίο προέρχεται το όνομα του. Σύμφωνα με τον Μουντράκη (2010) αποτελείται από ωκεάνια ιζήματα ηλικίας από Τριαδικό έως Κρητιδικό (πελαγικούς ασβεστόλιθους, κερατόλιθους, αργιλοπυριτικά), τα οποία είναι τεκτονικά αναμεμιγμένα με οφιολιθικά πετρώματα της οφιολιθικής μάζας του Τροόδους (γάββρους, σερπεντινίτες, διαβάσες και pillow λάβες), καθώς και από μεταμορφωμένα πετρώματα (αμφιβολίτες, μάρμαρα, χαλαζίτες, σιπολίνες) που πιθανόν αντιπροσωπεύουν τα πετρώματα του παλιού ηπειρωτικού περιθωρίου της Γκοτβάνας, όπου είχε γίνει στο Τριαδικό η αρχική ηπειρωτική διάρρηξη από όπου προέκυψε η ωκεάνια λεκάνη του Τροόδους. Τα έντονα τεκτονικά γεγονότα από τα οποία προκλήθηκαν τα οφιολιθικά μίγματα τοποθετούνται στο Άνω Κρητιδικό (Μαιστρίχτιο).

Όπως αναφέρουν οι Κωνσταντίνου & Παναγίδης (2013) στο σύμπλεγμα Μαμωνίων παρατηρείται μια τυπική στρωματογραφία, παρά τον έντονο τεκτονισμό των πετρωμάτων, η οποία το χωρίζει σε δύο κύριες ομάδες: α) του Αγίου Φωτίου που έχει κυρίως ιζηματογενή χαρακτήρα και β) του Διάριζου με πυριγενή κυρίως πετρώματα.



Εικόνα 17. Σύμπλεγμα Μαμωνίων (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου).

Ομάδα Αγίου Φωτίου

Η ομάδα του Αγίου Φωτίου αποτελείται από ιζήματα ηλικίας από Άνω Τριαδικό έως Μέσο Κρητιδικό και χωρίζεται σε τρεις γεωλογικούς σχηματισμούς. Στη βάση συναντάται ο Σχηματισμός του Βλάμπουρου, ακολουθεί ο Σχηματισμός της Μαρώνας και τέλος ο σχηματισμός της Επισκοπής. Τεκτονικά η ομάδα Αγίου Φωτίου είναι υπερκείμενη της ομάδας του Διάριζου και το συνολικό πάχος της είναι 235 m.

Ο **Σχηματισμός Βλάμπουρου** που βρίσκεται στη βάση της ομάδας Αγίου Φωτίου έχει ηλικία Άνω Τριαδικού (210 εκ. χρόνια) και πάχος περίπου 50 μέτρα. Αποτελείται κυρίως από λεπτοστρωματώδεις έως παχυστρωματώδεις ψαμμίτες, όπου σε ορισμένες κορυφές του σχηματισμού παρεμβάλλονται μεταξύ των ψαμμιτών πελαγικοί ασβεστόλιθοι και κερατόλιθοι.

Ο **Σχηματισμός της Μαρώνας** βρίσκεται στρωματογραφικά πάνω από τον σχηματισμό του Βλάμπουρου και έχει πάχος 20 μέτρα. Αποτελείται από πελαγικούς ασβεστόλιθους, όπου παρεμβάλλονται στρώματα πηλίων, ιλυόλιθων και αργιλικών σχιστόλιθων. Ενώ και σε αυτό τον σχηματισμό παρεμβάλλονται στους ανώτερους στρωματογραφικά ορίζοντες κερατόλιθοι (κόκκινοι, πράσινοι). Απολιθώματα των ασβεστόλιθων προσδιορίζουν στο σχηματισμό ηλικία Άνω Τριαδικό.

Ο **Σχηματισμός της Επισκοπής** είναι ο ανώτερος στρωματογραφικά στην Ομάδα Αγίου Φωτίου, έχει πάχος 165 μέτρα και η ηλικία του είναι Κάτω Ιουρασικό έως Μέσο Κρητιδικό. Αποτελείται από πηλίτες, ιλυόλιθους, ραδιολαριτικούς κερατόλιθους, αλλά και από ασβεστιτικούς και χαλαζιακούς ψαμμίτες. Η συνύπαρξη και ανάμιξη ιζημάτων ρηχής και βαθείας θάλασσας που παρατηρείται στον σχηματισμό, υποδείχνει την αρχική απόθεση σε ρηχή θάλασσα των ψαμμιτών και ταχεία μεταφορά και απόθεση τους σε βαθιά θάλασσα, όπου σχηματίστηκαν τα ιζήματα βαθείας θάλασσας.

Ομάδα Διάριζου

Η ομάδα Διάριζου χωρίζεται σε τρεις σχηματισμούς: α) το Σχηματισμό της Φασούλας, β) το Σχηματισμό της Πέτρας του Ρωμιού και γ) το Σχηματισμό του Μαυροκόλμπου. Όπως προαναφέρθηκε είναι τεκτονικά κατώτερη της ομάδας Αγίου Φωτίου. Αποτελείται κυρίως από πυριγενή πετρώματα (pillow λάβες, ηφαιστειακά λατυποπαγή), αλλά και από ιζηματογενή (κερατόλιθους, ασβεστόλιθους) σε μορφή φακών παρεμβαλλομένων στρωμάτων και υφάλων.

Ο **Σχηματισμός της Φασούλας** αποτελείται από pillow λάβες με ανδεστική και βασαλτική σύσταση, αλλά και από συμπαγείς ροές λαβών. Τοπικά εμφανίζονται

ηφαιστειοκλαστικά λατυποπαγή και τόφοι. Χαρακτηριστικό των pillow λαβών που τις ξεχωρίζουν από αυτές του Τροόδους είναι ότι παρεμβάλλονται μεταξύ τους ασβεστόλιθοι. Μικροαπολιθώματα στις ασβεστολιθικές αυτές παρεμβολές προσδιορίζουν την ηλικία τους από Άνω Τριαδικό έως Ιουρασικό (200-170 εκ. χρόνια). Η βάση του σχηματισμού δεν εμφανίζεται έτσι δεν μπορεί να προσδιοριστεί το πάχος του.

Ο **Σχηματισμός του Μαυροκόλυμπου** είναι υπερκείμενος του σχηματισμού Φασούλας με στρωματογραφική ασυμφωνία και έχει μέγιστο πάχος περίπου 45 μέτρα. Αποτελείται από κόκκινες αργίλους, ιλύολιθους και πλούσια σε Fe και Mn μεταλλοφόρα ιζήματα. Ένα γκρι στρώμα ηφαιστειακών αργίλων με κομμάτια λαβών παρατηρείται στη βάση του σχηματισμού.

Ο **Σχηματισμός της Πέτρας του Ρωμιού** με βάση παλαιοντολογικούς προσδιορισμούς προσδιορίστηκε ως ηλικίας Άνω Τριαδικού (200 εκ. χρόνια). Αποτελείται λευκούς ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους σε μεγάλους όγκους μεγέθους 5-100 μέτρων (ή και περισσότερα), διάσπαρτους στη ζώνη των Μαμωνίων.

3.2.4 Ζώνη Κερύνειας

Η ζώνη της Κερύνειας (Ζώνη Πενταδακτύλου) έχει επίμηκες σχήμα και καλύπτει το Βόρειο τμήμα της Κύπρου. Αποτελείται από αλλόχθονα πετρώματα που επωθήθηκαν από το βορρά και τους αυτόχθονους σχηματισμούς (Εικ. 18).

Τα **Αλλόχθονα** πετρώματα διαχωρίζονται στους παρακάτω σχηματισμούς:

Μεταμορφωμένα Πετρώματα

Στη ζώνη της επώθησης υπάρχουν ακανόνιστα τεμάχια μεταμορφωμένων πετρωμάτων, που αποτελούνται από χλωριτικούς σχιστόλιθους, χαλαζιακούς-μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, γρανατούχους-μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και επιδοτιτικούς σχιστόλιθους, που η πιθανή ηλικία τους είναι Δεβόνιο (Ducloz, 1964).

Σχηματισμός Καντάρας

Ο σχηματισμός Καντάρας αποτελείται από τους παλαιότερους ιζηματογενείς σχηματισμούς που εκτείνονται κατά μήκος της Ζώνης Κερύνειας και αντιπροσωπεύονται από ιζήματα Πέρμιου-Λιθανθρακοφόρου. Τα ιζήματα αυτά είναι απολιθωματοφόροι συμπαγείς ασβεστόλιθοι, τοπικά ανακρυσταλλωμένοι, που το χρώμα τους ποικίλει από λευκό και γκρι έως ανοικτό και σκούρο καφέ, ηλικίας Δεβονίου. Εμφανίζονται ως μεγάλα τεμάχια και περιγράφονται ως ολισθόλιθοι (Constantinou, 1972).



Εικόνα 18. Ζώνη Κερύνειας (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου).

Σχηματισμός του Δικόμου

Ο σχηματισμός Δικόμου είναι ηλικίας Τριαδικού και αποτελείται από κίτρινα έως λευκά λεπτοστρωματώδη μαρμαρυγιακά μάρμαρα πάχους 18 έως 90 μέτρων.

Σχηματισμός του Συγχαρί

Ο σχηματισμός του Συγχαρί αποτελείται από σκούρου έως ανοικτού γκρι χρώματος δολομιτικούς ασβεστόλιθους. Εμφανίζονται συμπαγείς ή σε παχιά στρώματα πάχους 220 έως 300 μέτρων. Η ηλικία τους είναι Ιουρασική (Ducloz, 1964). Ο βαθμός δολομιτίωσης αυξάνεται από πάνω προς τα κάτω.

Σχηματισμός Αγίου Ιλαρίωνα

Ο σχηματισμός του Αγίου Ιλαρίωνα είναι ηλικίας Κάτω έως Άνω Κρητιδικό. Αποτελείται από ανοικτού έως σκούρου γκρι χρώματος συμπαγή ή παχυστρωματώδη μάρμαρα πάχους περίπου 200 μέτρων (Ducloz, 1965).

Τα **Αυτόχθονα** πετρώματα της ζώνης Κερύνειας διαχωρίζονται στο παρακάτω σχηματισμούς:

Σχηματισμός Λαπήθου

Ο σχηματισμός Λαπήθου είναι ο αρχαιότερος αυτόχθονος σχηματισμός στη ζώνη της Κερύνειας και έχει ηλικία Άνω Κρητιδικό έως Κάτω Μειόκαινο. Αποτελείται από ανοικτόχρωμους λεπτοστρωματώδης ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, τοπικά μαργαϊκούς, με παρεμβολές λεπτών στρωμάτων γκρι κρυσταλλωμένων ελαφρώς πυριτωμένων ασβεστόλιθων. Στο σχηματισμό παρεμβάλλονται βασαλτικές ροές και pillow λάβες. Το πάχος του σχηματισμού είναι περίπου 310 μέτρα (Ducloz, 1964)

Σχηματισμός Κυθραίας

Ο σχηματισμός Κυθρέας είναι υπερκείμενος του σχηματισμού της Λαπήθου (Constantinou, 1972) και τα πετρώματά του εντοπίζονται περιμετρικά της Ζώνης Κερύνειας. Πρόκειται για ένα φλύσχη ηλικίας Μέσο Μειόκαινου, που αποτελείται από εναλλασσόμενα λεπτά στρώματα από λεπτόκοκκους έως μεσόκοκκους γραουβάκες, ιλυόλιθους, μάργες και βασικό κροκαλοπαγές (Ducloz, 1964).

3.3 Χρωστικές ορυκτές πρώτες ύλες Κύπρου

Όπως προαναφέρθηκε στην Κύπρο εμφανίζονται χρωστικές ορυκτές πρώτες ύλες οι οποίες είναι συνδεδεμένες με την Οφιολιθική ακολουθία του Τροόδους. Αρκετοί επιστήμονες μελέτησαν τους πετρώματα αυτά με αποτέλεσμα να αναπτυχθούν διαφορετικές ερμηνείες σχετικά με τον μηχανισμό γένεσής τους.

Τα μεταλλοφόρα ιζήματα διαχωρίζονται σε **Ωχρες** που είναι πλούσια σε Fe και φτωχά σε Mn και **Ούμβρες** που είναι φτωχά σε Fe και πλούσια σε Mn.

3.3.1 Ωχρες

Οι ώχρες ανάλογα με την ορυκτολογική τους σύσταση μπορούν να εμφανιστούν με κίτρινο, καστανό και κόκκινο χρώμα. Συνήθως οι κίτρινες, καστανοκίτρινες και καστανές ώχρες αποτελούνται από γκαιτίτη, σιδηροπυρίτη και πιθανόν χαλαζία, ενώ οι κόκκινες περιέχουν αιματίτη.

Σύμφωνα με τον Constantinou (1972) οι ώχρες είναι υπερκείμενες των κοιτασμάτων σουλφιδίων και προέρχονται από οξείδωση των σουλφιδίων κάτω από υποθαλάσσιες συνθήκες. Θεωρούνται πρωτογενή ιζήματα που σχηματίστηκαν κάτω από οξειδωτικές συνθήκες μετά ή κατά τη διάρκεια του σχηματισμού των υποκείμενων σουλφιδίων, όπου κατά την κύρια διαδικασία οξείδωσης υπήρξε αντικατάσταση του σιδηροπυρίτη από γκαιτίτη και σε μικρότερο βαθμό από μαγκεμίτη. Η αντικατάσταση του σιδηροπυρίτη από γκαιτίτη

φαίνεται να αρχίζει κατά μήκος των διακλάσεων, στα όρια των κόκκων και στις επαφές των ζωνών επαύξησης. Ο μη ζωνώδης σιδηροπυρίτης είναι πιο ανθεκτικός στην αντικατάσταση και υπολείμματα αυτού εντοπίζονται στην όχρα, με την περιεκτικότητα τέτοιου σιδηροπυρίτη να μειώνεται απότομα κατά τη μετάβαση από τη μεταλλοφορία προς την όχρα. Επίσης, το σκούρο καφέ χρώμα που εμφανίζεται σε ζώνες όχρας πάνω από τα κοιτάσματα που δεν περιέχουν μαγγάνιο, οφείλεται στο μέγεθος των κόκκων και στο βαθμό κρυστάλλωσής τους.

Οι κόκκινες όχρες αποτελούνται από καλά κρυσταλλωμένο αιματίτη και μαγκεμίτη που περιέχει απομονωμένες ζώνες γκαιτίτη και χαλαζία. Ο Boyle (1984) αναφέρει ότι τα ιζήματα αυτά των pillow λαβών υπέστησαν υδροθερμική αλλοίωση τόσο χαμηλού, όσο και ψηλού βαθμού. Η υψηλού βαθμού μεταβολή έλαβε χώρα κοντά στις υδροθερμικές πηγές και προκάλεσε την μετατροπή του γκαιτίτη σε αιματίτη.

3.3.2. Ούμβρες

Οι ούμβρες (φαιοχώματα) είναι πλούσια σε Mn και φτωχά σε Fe ιζήματα. Το χρώμα τους ανάλογα με τη σύσταση είναι καστανό έως σκούρο καστανό. Ο περιορισμός των ούμβρων σε θέσεις επαφής με τα υποκείμενα ηφαιστειακά πετρώματα έχει παρατηρηθεί πολύ νωρίς από τους γεωλόγους που εργάστηκαν στην Κύπρο, όμως σχετικά με την δημιουργία τους αναπτύχθηκαν τέσσερις διαφορετικές θεωρίες με σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.

Η πρώτη υπόθεση αναφέρει ότι οι ούμβρες προήλθαν από αποσάθρωση και διάβρωση των pillow λαβών (Constantinou & Govett, 1972) κάτι που απορρίπτουν οι Robertson and Hudson (1973), καθώς η αλλοίωση κρύας λάβας θαλάσσιου πυθμένα είναι αδύνατο να συμβεί τόσο γρήγορα για να δικαιολογήσει το μεγάλο όγκο ιζηματογένεσης ή για να οδηγήσει στο σχηματισμό τόσο λεπτόκοκκου υλικού που θα μπορούσε να μεταφερθεί και να καθιζάνει μακριά από την πηγή. Η δεύτερη υπόθεση αναφέρει ότι οι ούμβρες έχουν υδροθερμική προέλευση και σχετίζονται με τα σουλφίδια (Corliss, 1971). Η τρίτη υπόθεση αναφέρει ότι ο σχηματισμός των ουμβρών είναι αποτέλεσμα της αντίδρασης των θερμών βασαλτών με το θαλασσινό νερό (Elderfield et al. 1972). Τέλος, η τέταρτη υπόθεση είναι ότι οι ούμβρες προήλθαν από υδροθερμικά διαλύματα. Συγκεκριμένα, κατά τα τελικά στάδια εκροής μάγματος η ανύψωση και τοποθέτηση των λαβών επέτρεψε την πρόσβαση σε θαλασσινό νερό δια μέσου ζωνών ρηγμάτων στις θερμές κατώτερες λάβες, όπου μετά από έκπλυση τα θερμά πλούσια σε Fe^{2+} , Mn^{2+} και ιχνοστοιχεία ρευστά ανεβαίνουν μέσα από τις λάβες δημιουργώντας φλέβες. Όταν τα ρευστά ήρθαν σε επαφή με κρύο οξυγονωμένο θαλασσινό νερό, γρήγορη οξειδωση είχε ως αποτέλεσμα την καταβύθιση των σιδηρούχων οξειδίων. Η τέταρτη υπόθεση διαφωνεί με την δεύτερη, καθώς θεωρεί ότι διαχωρίζονται οι σχηματισμοί

των σουλφιδίων από τις σύμβρες από τον ανώτερο ορίζοντα pillow λαβών και θεωρεί ότι έγιναν περισσότερο από ένα στάδια υδροθερμικής δραστηριότητας.

3.3.3. Κόνδυλοι Μαγγανίου

Οι κόνδυλοι μαγγανίου σχηματίζονται σε περιβάλλον βαθιάς θάλασσας, με απουσία ιζηματογένεσης. Η διάμετρος των κονδύλων (1-1,5cm) που βρέθηκαν στην Κύπρο δηλώνει ότι για το σχηματισμό τους χρειάστηκε μία χρονική περίοδο περίπου 5-7,5 εκατομμύριων χρόνων πριν καλυφθούν από τα υπερκείμενα ιζήματα. Σύμφωνα με τους μηχανισμούς γένεσης των κονδύλων πιθανόν να προέρχονται από καταβύθιση Mn από ύδατα υποθαλάσσιων πηγών (δράση υποθαλάσσιας υδροθερμικής/ηφαιστειακής δραστηριότητας).

3.3.4. Πράσινη Γη

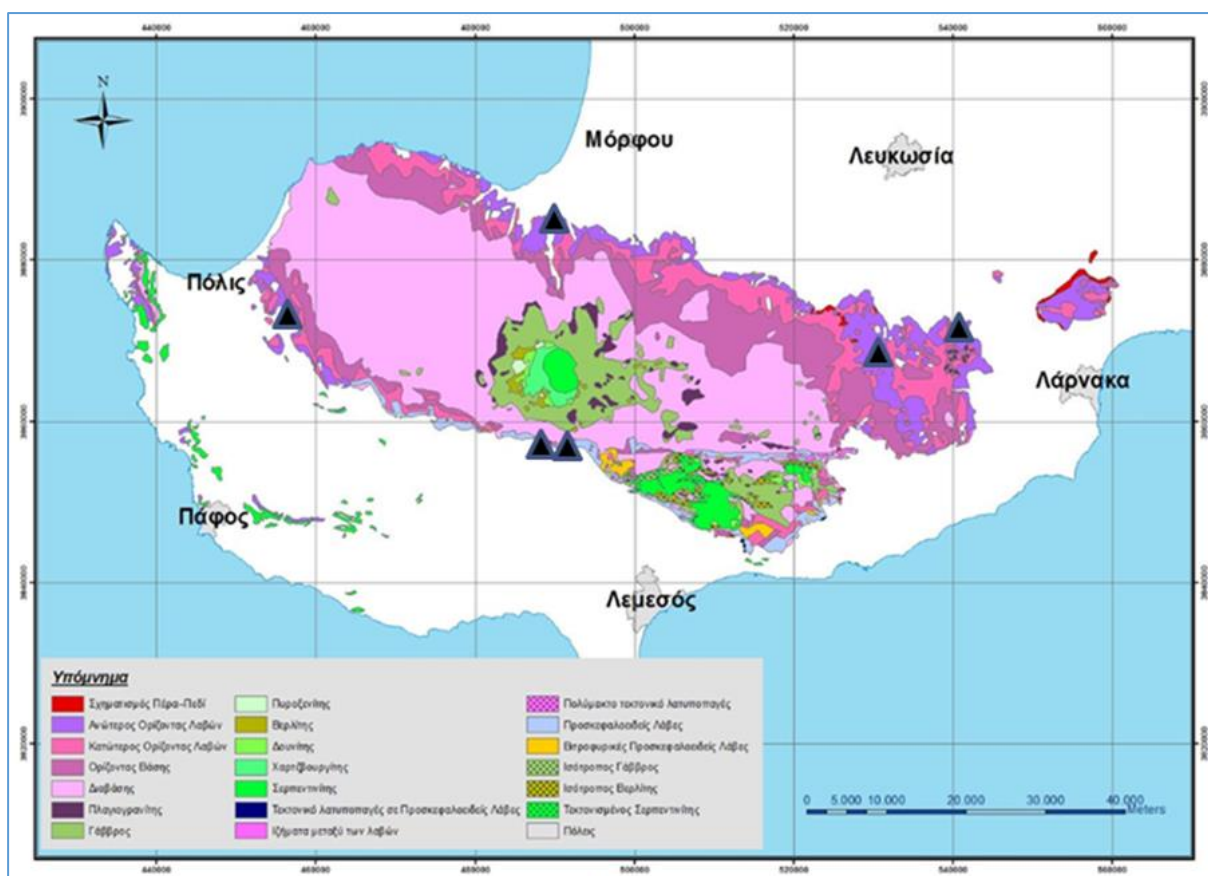
Πράσινη γη σχηματίζεται στον κατώτερο ορίζοντα των pillow λαβών. Σε κενούς χώρους (διακλάσεις και κοιλότητες) αυτών των pillow λαβών διαπιστώθηκε η ύπαρξη κατά θέσεις σημαντικής ποσότητας σελαδονίτη (Constantinou, 1972).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

4.1 Δειγματοληψία

Για τους σκοπούς της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας μελετήθηκε με ιδιαίτερη προσοχή ο γεωλογικός χάρτης της Κύπρου και εντοπίστηκαν οι περιοχές στις οποίες είναι γνωστή η ύπαρξη συμβρών και ωχρών, οι οποίες συνδέονται με τους οφιόλιθους του Τροόδους (Εικ. 19).



Εικόνα 19. Θέσεις δειγματοληψίας των εξεταζόμενων δειγμάτων.

Κατά την υπαίθρια παρατήρηση στην ευρύτερη περιοχή της ζώνης του Τροόδους εντοπίστηκαν δείγματα μαύρης (κόνδυλοι μαγγανίου), καστανόμαυρης, καστανοκίτρινης, κίτρινης και κόκκινης χρωστικής. Αντιπροσωπευτικά δείγματα αυτών των χρωστικών συλλέχθηκαν για περαιτέρω μελέτη από διαφορετικές περιοχές. Φωτογραφίες όλων των δειγμάτων που συλλέχθηκαν κατά την υπαίθρια έρευνα, καθώς και των γεωλογικών σχηματισμών από τους οποίους αποσπάστηκαν παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίν. 1.

Πίνακας 1 Μακροσκοπικές φωτογραφίες των συλλεχθέντων δειγμάτων και των σχηματισμών από τους οποίους λήφθηκαν κατά την υπαίθρια έρευνα.

α/α	Χρώμα	Δείγμα	Σχηματισμός
1	Κίτρινο-καστανό		
2	Καστανόμαυρο		
3	Καστανό		
4	Μαύρο		
5	Καστανοκίτρινο		

6	Κόκκινο		
7	Κόκκινο		
8	Καστανοκόκκινο		

Το δείγμα 1 είναι κίτρινη-καστανή χρωστική (ώχρα) και λήφθηκε από την περιοχή Σκουριώτισσας όπου εμφανίζεται σε λεπτά στρώματα πάνω από το κοίτασμα σουλφιδίων, το οποίο τυγχάνει εκμετάλλευσης από το μεταλλείο Σκουριώτισσας. Τα δείγματα 2 και 3 είναι ούμβρες από τις περιοχές Λυσός Πάφου και Μαθιάτη αντίστοιχα, το χρώμα τους είναι καστανό-καστανόμαυρο όμως μακροσκοπικά είναι εμφανή μία πιο σκούρα χροιά στο δείγμα του Λυσού Πάφου. Πιθανές ορυκτολογικές διαφορές στις οποίες μπορεί να αποδοθεί αυτή η χρωματική διαφοροποίηση θα διερευνηθούν και θα εντοπιστούν κατά την ορυκτολογική τους μελέτη. Το δείγμα 4 είναι μια μαύρη χρωστική, πρόκειται για κονδύλους μαγγανίου διαμέτρου περίπου 1-1,5 cm οι οποίοι εντοπίστηκαν ΝΑ του χωριού Κούκα. Οι κόνδυλοι εντοπίστηκαν σε χαράδρα πλαγιάς απότομου ανάγλυφου, στην επαφή πετρωμάτων της οφιολιθικής ακολουθίας και των υπερκείμενων ιζηματογενών σχηματισμών (Εικ. 19) η διάβρωση των οποίων τους έφερε στην επιφάνεια. Το δείγμα 5 λήφθηκε από το χωριό Πέρα Πέδι, είναι μία καστανοκίτρινη χρωστική με πιο σαφή καστανή χροιά από το δείγμα 1. Το πέτρωμα ήταν έντονα τεκτονισμένο, με πολλές διακλάσεις που πληρώνονταν από μαύρο πιθανόν μαγγανιούχο υλικό. Τα δείγματα 6, 7 και 8 είναι κόκκινες χρωστικές. Λήφθηκαν από

φλέβες δυτικά του χωριού Λύμπια κοντά στο όριο επαφής των πετρωμάτων της ζώνης Τροόδους με τις ιζηματογενείς αποθέσεις. Παρά το γεγονός ότι και τα τρία δείγματα λήφθηκαν από κοντινά σημεία, παρουσιάζουν διαφορετική απόχρωση κόκκινου.

Τα δείγματα των χρωστικών ουσιών της Κύπρου που συλλέχθηκαν μεταφέρθηκαν στα εργαστήρια του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, του Τμήματος Γεωλογίας, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για περαιτέρω έρευνα.

4.2 Ορυκτολογική μελέτη

Για την ορυκτολογική μελέτη των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της περιθλασιμετρίας ακτινών-Χ. Αντιπροσωπευτική ποσότητα των οκτώ δειγμάτων κονιοποιήθηκε και ομογενοποιήθηκε με το χέρι σε αχάτινο γουδί. Προτιμήθηκε η κονιοποίηση με το χέρι σε σύγκριση με τους μηχανικούς κονιοποιητές για να αποφευχθούν φαινόμενα διαστροφής ή/και καταστροφής του πλέγματος ευαίσθητων ορυκτών.

Για την ακτινογραφική εξέταση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο τύπου PHILIPS PW1710 (Εικ. 20) που διαθέτει ο Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας. Το περιθλασίμετρο είναι εξοπλισμένο με μικροεπεξεργαστή PW1710/00, λυχνία Cu και φίλτρο Ni 0,0170mm για την απομόνωση μονοχρωματικής ακτινοβολίας-Χ. Οι συνθήκες λειτουργίας ήταν 35 kV, 25 mA, ταχύτητα σάρωσης 1,2°/sec, και περιοχή σάρωσης γωνίας 2θ 3-63°. Πριν από την ακτινογράφιση των δειγμάτων έγινε έλεγχος της ευαισθησίας και της ακρίβειας του περιθλασιόμετρου με ειδικό πρότυπο καθαρού πυριτίου.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των ορυκτολογικών φάσεων έγινε με βάση τις απαριθμήσεις (counts) συγκεκριμένων ανακλάσεων, οι οποίες δεν επηρεάζονται από καμία άλλη ανάκλαση και λαμβάνοντας υπόψη την πυκνότητα και το συντελεστή απορρόφησης μάζας (CuK_{α}) των ορυκτολογικών φάσεων. Διορθώσεις στα ποσοστά των ορυκτών που αναγνωρίστηκαν, έγιναν με τη χρήση εξωτερικών πρότυπων μιγμάτων των περισσότερων ορυκτών που συμμετέχουν στα εξεταζόμενα δείγματα (Καντηράνης κ.ά. 2004).

Από τη μορφολογική εξέταση του περιθλασιογράμματος μπορούμε να αντιληφθούμε την παρουσία άμορφου υλικού ως μια ή περισσότερες πλατιές ανακλάσεις (αναθόλωση του υποβάθρου) μεταξύ 10-50° 2θ (Guinier 1963), αλλά πιο συχνά ως μια κύρια πλατιά ανάκλαση μεταξύ 10-18° 2θ (Kantiranis et al. 1999). Η ποσοτική εκτίμηση του συνολικού ποσοστού του άμορφου υλικού που περιέχουν τα εξεταζόμενα δείγματα επιτεύχθηκε με τη σύγκριση του εμβαδού κάθε πλατιάς ανάκλασης, που αντιπροσώπευε το άμορφο υλικό σε κάθε δείγμα, με την ανάλογη περιοχή πρότυπων μιγμάτων ορυκτών και διαφορετικών ποσοστών φυσικού άμορφου υλικού (Καντηράνης κ.ά. 2004, Δρακούλης κ.ά. 2005).

Σύμφωνα με τους Καντηράνης κ.ά. (2004) και Kantiranis et al. (2006) το όριο ανίχνευσης της μεθόδου είναι $\pm 1\%$ κ.β. για τα ορυκτά και $\pm 3\%$ κ.β. για το άμορφο υλικό.



Εικόνα 20. Περιθλασίμετρο τύπου PHILIPS PW1710 του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας.

4.3 Χημικές Αναλύσεις

Για την εύρεση της χημικής σύστασης των κύριων στοιχείων στα δείγματα της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος φθορισμού ακτίνων-X (XRF). Τα υπό εξέταση δείγματα κονιοποιήθηκαν και κατασκευάστηκαν με τη χρήση συσκευής τήξης τύπου Vulcan (FLUXANA, Deutschland) υαλοποιημένα δισκία με αναλογία δείγματος:υλικού τήξης 1:8 σε θερμοκρασία 1200°C. Το υλικό τήξης που χρησιμοποιήθηκε ήταν μίγμα τετραβορικού λιθίου ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$) 34% και μεταβορικού λιθίου (LiBO_2) 66%.

Η ανάλυση έγινε σε φασματόμετρο τύπου S4-Pioneer της Bruker-AMS (Εικ. 21) του Διατμητικού Εργαστηρίου Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας του Α.Π.Θ. Το φασματόμετρο είναι εξοπλισμένο με λυχνία Rh, σύστημα 5 κρυστάλλων (PET, XS-55, LIF200, LIF220 και LIF420) και δύο ανιχνευτές, ένα ανιχνευτή σπινθήρων και ένα ανιχνευτή ροής αερίου (gas-flow counter) που χρησιμοποιεί αέριο P10 (μίγμα 90% αργό και 10% μεθάνιο). Οι συνθήκες λειτουργίας κατά την ανάλυση ήταν 60 Kv και 45 mA.

Η βαθμονόμηση του οργάνου έγινε με χρήση των προτύπων πετρωμάτων και μεταλλικών ορυκτών που διαθέτει το εργαστήριο.

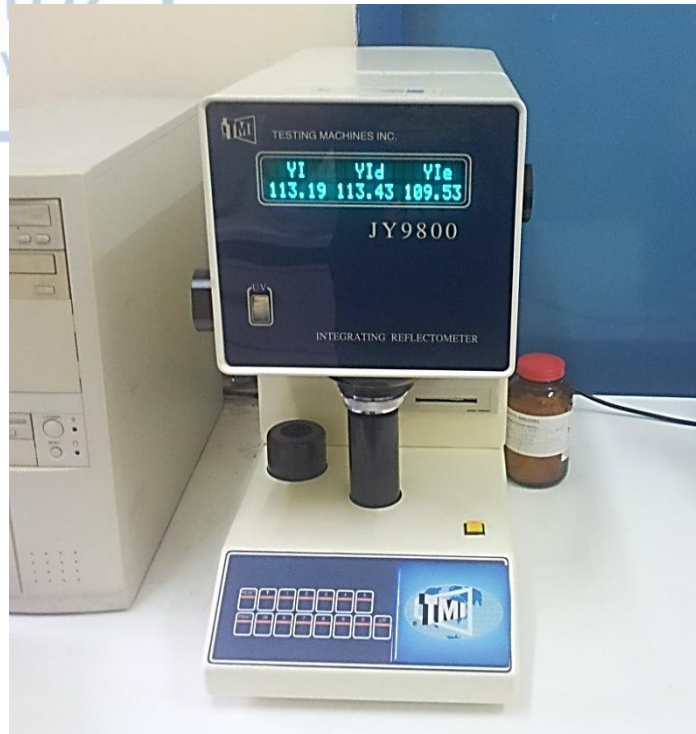


Εικόνα 21. XRF S4 Pioneer Bruker-AMS του Διατμητικού Εργαστηρίου Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας, Α.Π.Θ.

4.4 Χρωματομετρία

Για τη διαδικασία μέτρησης των χρωματικών παραμέτρων των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε συσκευή Brightness & Color Meter Model No. 68-50-00-0001 της εταιρίας TMI (Εικ. 22) του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας. Το όργανο έχει την δυνατότητα να μετρά από κατάλληλη επιφάνεια ενός υλικού τις χρωματικές παραμέτρους, να ποσοτικοποιεί και να ψηφιοποιεί την χρωματική εκτίμηση που θα αντιλαμβανόταν το ανθρώπινο μάτι, σύμφωνα με τις εγκεκριμένες μεθόδους της CIE που έχει καθορίσει τα χρωματομετρικά συστήματα και τα ISO τεχνικά πρότυπα.

Όπως παρουσιάζεται στην Εικ. 6 (Κεφ. 2) είναι δυνατόν να ληφθεί πληροφορία είτε στις 2°(C) είτε στις 10°(D65). Στην παρούσα διατριβή τα αποτελέσματα λήφθηκαν με την μέθοδο των 10° (D65) για CIE (1964) και CIELAB (1976). Η συσκευή ελέγχθηκε για την σωστή λειτουργία της πριν την πραγματοποίηση μετρήσεων των υπό εξέταση δειγμάτων, με πρότυπη σκόνη θεικού βαρίου, αφού πρώτα μηδενίστηκε ως προς το απόλυτο μαύρο με τη χρήση ειδικού προτύπου με το οποίο είναι εφοδιασμένη. Για την δυνατότητα μέτρησης των χρωματικών παραμέτρων των δειγμάτων από την συσκευή, προετοιμάστηκαν κατάλληλα δοκίμια σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία.



Εικόνα 22 Συσκευή μέτρησης παραμέτρων χρώματος της εταιρίας TMI που διαθέτει ο Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας.

Αρχικά, από κάθε δείγμα πάρθηκε ποσότητα 100 g υλικού και κονιοποιήθηκε περίπου για 15 λεπτά μέχρι να ομογενοποιηθεί σε μηχανικό γουδί αχάτη (Εικ. 23), το οποίο ανήκει στον Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας.



Εικόνα 23 Μηχανικό γουδί με εξοπλισμό αχάτη της εταιρίας Retsch που διαθέτει ο Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας.

Η χρονική διάρκεια που παραμένει ένα δείγμα στον κονιοποιητή επιδρά στο μέγεθος των κόκκων του, ωστόσο η σκληρότητα των ορυκτών επηρεάζει τον χρόνο που απαιτείται ώστε τα υλικά να έρθουν στη επιθυμητή μορφή. Τα δείγματα που αποτελούνταν από ορυκτά μεγαλύτερης σκληρότητας απαιτούσαν περισσότερο χρόνο επεξεργασίας κατά την κονιοποίηση. Η μέτρηση των χρωματικών παραμέτρων είναι πιο αντιπροσωπευτική όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το δείγμα.

Στη συνέχεια κονιοποιημένο υλικό κάθε δείγματος τοποθετείτε σε ειδικό δακτύλιο ο οποίος σταδιακά συμπιέζει μηχανικά το δείγμα για την παρασκευή ομοιογενών και επιφανειακά λείων δοκιμίων χωρίς ατέλειες και κενά (Εικ. 24).



Εικόνα 24. Διαδικασία παρασκευής δοκιμίων για τη μέτρηση των χρωματικών παραμέτρων.

Ακολουθώς, αφού το δείγμα έχει πακτωθεί, η λεία επιφάνειά του τοποθετείται στην κατάλληλη θέση στο όργανο μέτρησης του χρώματος και λαμβάνονται οι σχετικές μετρήσεις των χρωματικών παραμέτρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έγιναν στα εξεταζόμενα δείγματα χρωστικών ουσιών της Κύπρου και γίνεται προσπάθεια συσχέτισης μεταξύ των διαφορετικών παραμέτρων, ορυκτολογικών και χημικών, με τις χρωματικές παραμέτρους, προκειμένου να αναδειχθεί η επίδραση της σύστασης των υλικών στο χρώμα αυτών. Παράλληλα, οι χρωματικές παράμετροι που μετρήθηκαν, χρησιμοποιώντας διεθνή βιβλιογραφικά δεδομένα και τεχνικές, μετατράπηκαν στην κλίμακα χρώματος Munsell προκειμένου να είναι άμεση η αξιοποίηση των τιμών αυτών. Πλέον, στη διεθνή βιβλιογραφία οι χρωστικές ουσίες περιγράφονται και συγκρίνονται μεταξύ τους, ως προς τα χρωματικά τους χαρακτηριστικά, με τη χρήση κυρίως της κλίμακας Munsell.

5.1 Αποτελέσματα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται συγκεντρωτικά η ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) των εξεταζόμενων δειγμάτων όπως υπολογίστηκε με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X.

Πίνακας 2 Ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) των εξεταζόμενων δειγμάτων.

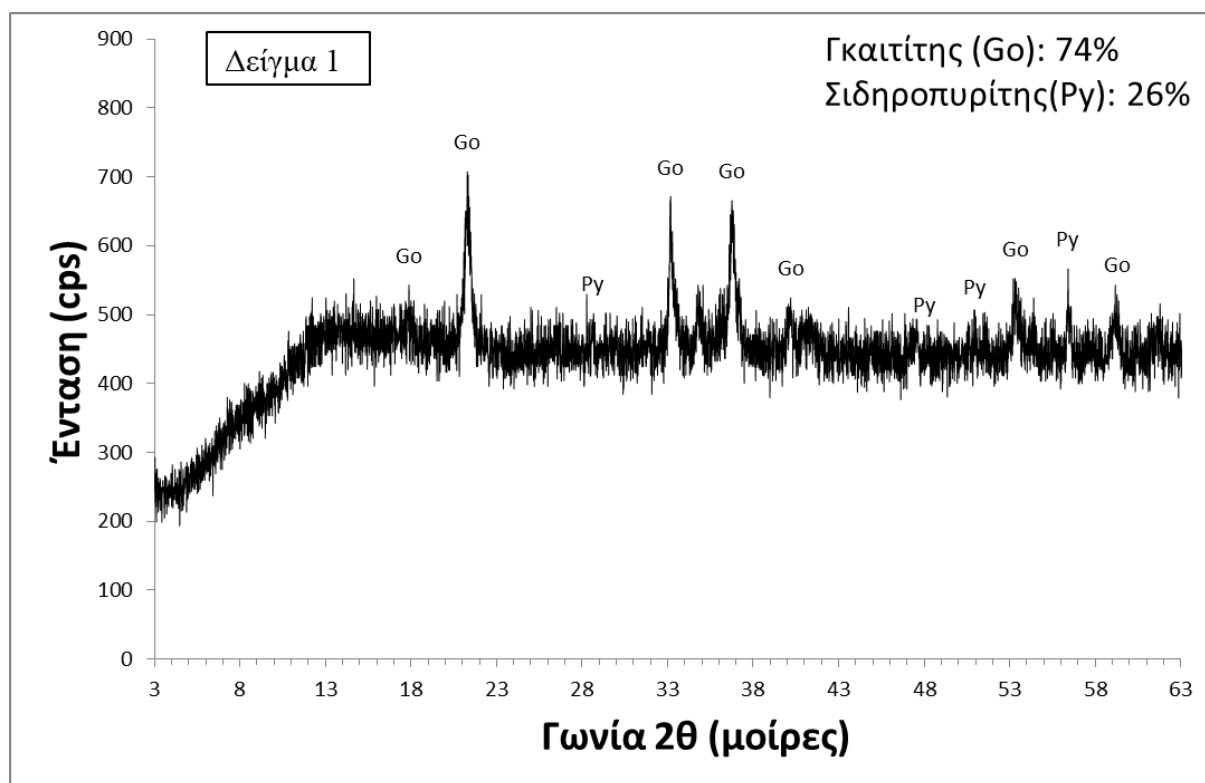
Συστατικό	Δείγμα							
	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7	Δ8
Γκαιτίτης	74	20	35	-	92	-	-	-
Αιματίτης	-	-	-	-	-	25	24	5
Σιδηροπυρίτης	26	-	-	-	-	-	-	-
Μαγγανίτης	-	40	46	52	-	-	-	-
Πυρολουσίτης	-	-	-	23	-	-	-	-
Θοδοροκίτης	-	16	-	-	-	-	-	-
Γρουτίτης	-	3	-	-	-	-	-	-
Βουσίτης	-	-	-	2	-	-	-	-
Χαλαζίας	-	-	-	-	5	42	40	85
Αργιλικά ορυκτά	-	8	8	-	-	1	17	-
Πλαγιόκλαστα	-	-	-	-	3	-	-	-
Μαρμαρυγίες	-	-	-	-	-	1	1	2
Ασβεσίτης	-	-	-	-	-	15	4	-
Άμορφο υλικό	-	13	11	23	-	16	14	8

-: Δεν αναγνωρίστηκε.

Δείγμα 1

Με βάση τα δεδομένα του πίνακα 1 και το περιθλασιόγραμμα του εξεταζόμενου δείγματος (Εικ. 25), το δείγμα 1 αποτελείται από γκαιτίτη (74% κ.β.) και σιδηροπυρίτη (26% κ.β.). Από τις ορυκτολογικές φάσεις που αναγνωρίστηκαν ο γκαιτίτης αποτελεί τη χρωστική που ελέγχει το χρώμα της, ενώ ο σιδηροπυρίτης είναι το αρχικό ορυκτό η οξείδωση του οποίου έδωσε γένεση στον γκαιτίτη.

Η γραμμή σκόνης των δύο ορυκτών που αναγνωρίστηκαν και λειτουργούν ως χρωστικές ουσίες είναι κιτρινίζουσα καστανή για τον γκαιτίτη και πρασινίζουσα μαύρη για τον σιδηροπυρίτη (Deer et al. 1992). Επομένως, το συγκεκριμένο δείγμα στην εμπορική του μορφή, δηλαδή κονιοποιημένο σε μορφή λεπτομερούς σκόνης, θα εμφανίζει κατά βάση κίτρινο-καστανό χρώμα εάν λάβουμε υπόψη τη σχετική αναλογία των χρωμοφόρων ορυκτών που αναγνωρίστηκαν. Η μέτρηση των χρωματικών του παραμέτρων θα αναδείξουν και θα αποτυπώσουν την πραγματική χρωματική του διαβάθμιση και θα το ταξινομήσουν στην κλίμακα χρώματος κατά Munsell.



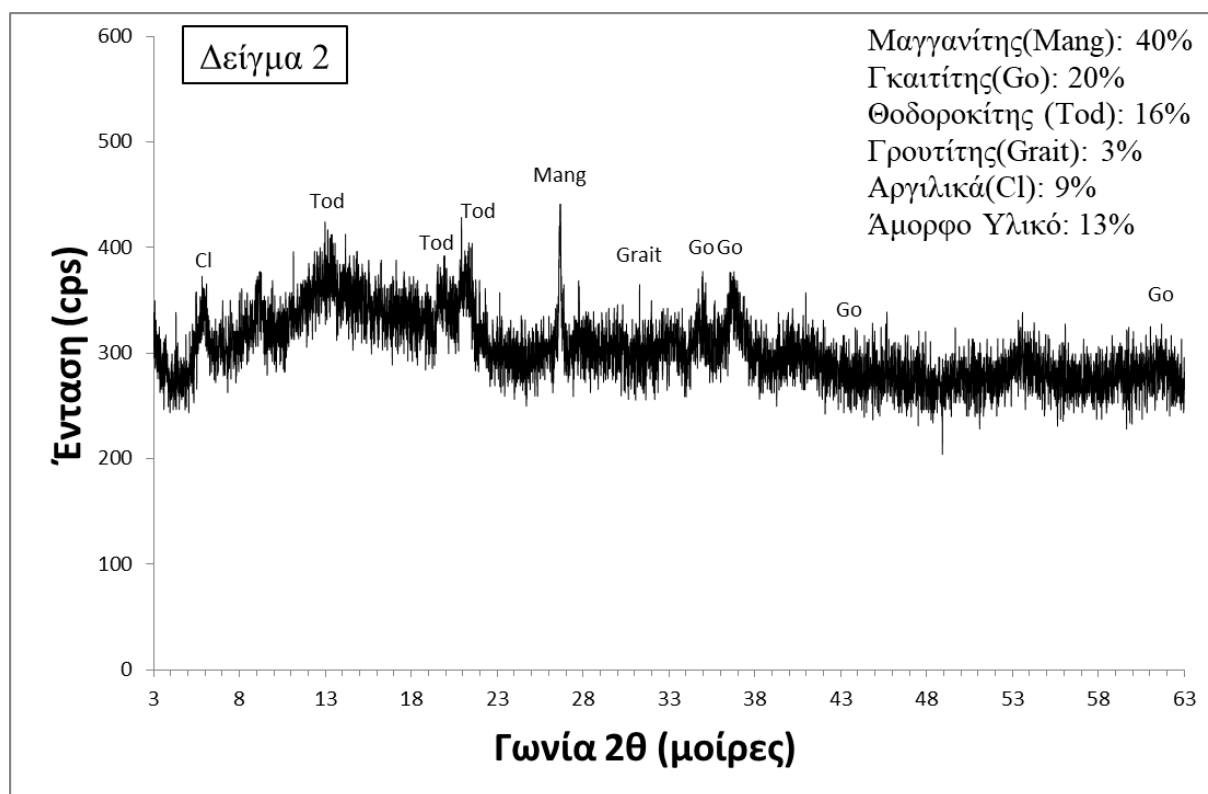
Εικόνα 25 Περιθλασιόγραμμα του δείγματος 1.

Δείγμα 2

Με βάση τα δεδομένα του πίνακα 1 και το περιθλασιόγραμμα του εξεταζόμενου δείγματος (Εικ. 26), το δείγμα 2 αποτελείται από μαγγανίτη (40% κ.β.), γκαιτίτη (20% κ.β.),

θοδοροκίτης (16% κ.β.), γρουτίτη (3% κ.β.), αργιλικά ορυκτά (8% κ.β.) και άμορφο υλικό (13% κ.β.). Από τις ορυκτολογικές φάσεις που αναγνωρίστηκαν, ο μαγγανίτης, ο γκαιτίτης ο θοδοροκίτης και ο γρουτίτης αποτελούν τις χρωστικές του συγκεκριμένου δείγματος.

Η γραμμή σκόνης των τεσσάρων ορυκτών που αναγνωρίστηκαν και λειτουργούν ως χρωστικές ουσίες είναι σκούρη καστανή για τον μαγγανίτη, τον θοδοροκίτη και τον γρουτίτη και κιτρινίζουσα καστανή για τον γκαιτίτη (Deer at al. 1992). Επομένως, το συγκεκριμένο δείγμα στην εμπορική του μορφή, δηλαδή κονιοποιημένο σε μορφή λεπτομερούς σκόνης, θα εμφανίζει κατά βάση σκούρο καστανό-καστανόμαυρο χρώμα εάν λάβουμε υπόψη τη σχετική αναλογία των χρωμοφόρων ορυκτών που αναγνωρίστηκαν. Η μέτρηση των χρωματικών του παραμέτρων θα αναδείξουν και θα αποτυπώσουν την πραγματική χρωματική του διαβάθμιση και θα το ταξινομήσουν στην κλίμακα χρώματος κατά Munsell.

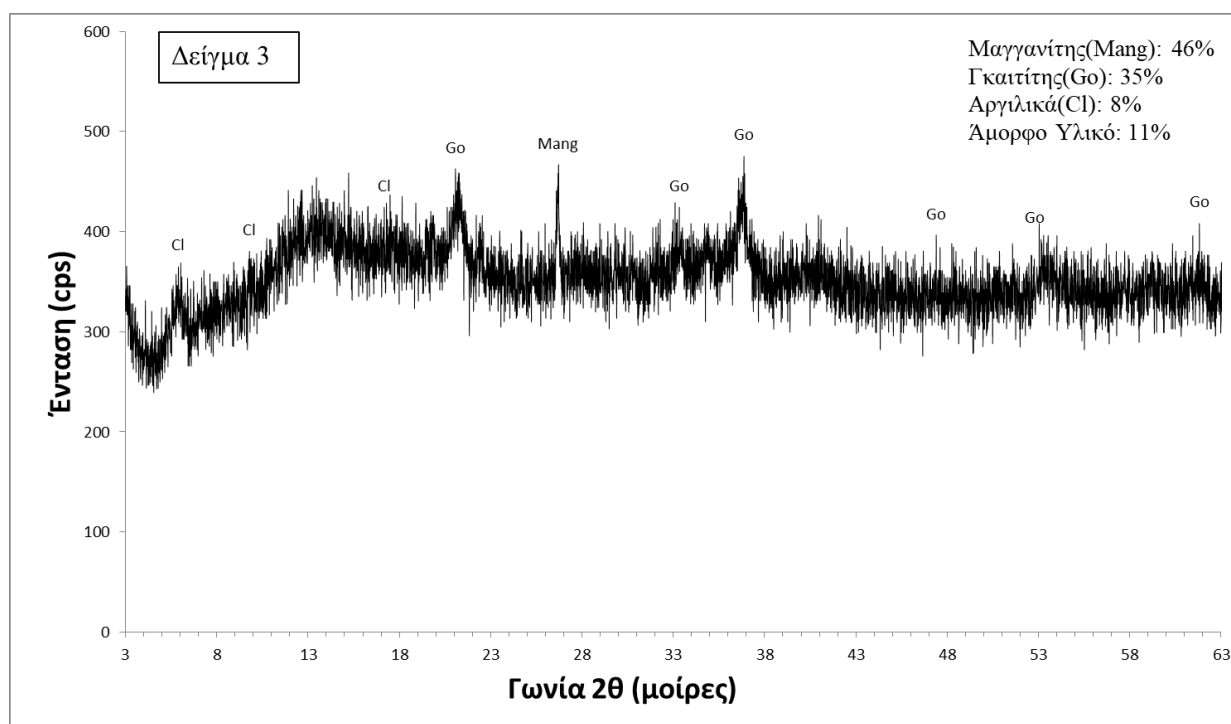


Εικόνα 26. Περιθλασιόγραμμα του δείγματος 2.

Δείγμα 3

Με βάση τα δεδομένα του πίνακα 1 και το περιθλασιόγραμμα του εξεταζόμενου δείγματος (Εικ. 27), το δείγμα 3 αποτελείται από κυρίως από μαγγανίτη (46% κ.β.) και γκαιτίτη (35% κ.β.), ενώ σε μικρότερο ποσοστό συμμετέχουν αργιλικά ορυκτά (8% κ.β.) και άμορφο υλικό (11% κ.β.). Από τις ορυκτολογικές φάσεις που αναγνωρίστηκαν ο μαγγανίτης και ο γκαιτίτης αποτελούν τις χρωστικές του συγκεκριμένου δείγματος.

Η γραμμή σκόνης των δύο ορυκτών που αναγνωρίστηκαν και λειτουργούν ως χρωστικές ουσίες είναι σκούρη καστανή για τον μαγγανίτη και κιτρινίζουσα καστανή για τον γκαιτίτη (Deer et al. 1992). Επομένως, το συγκεκριμένο δείγμα στην εμπορική του μορφή, δηλαδή κονιοποιημένο σε μορφή λεπτομερούς σκόνης, θα εμφανίζει κατά βάση καστανό χρώμα εάν λάβουμε υπόψη τη σχετική αναλογία των χρωμοφόρων ορυκτών που αναγνωρίστηκαν. Η μέτρηση των χρωματικών του παραμέτρων θα αναδείξουν και θα αποτυπώσουν την πραγματική χρωματική του διαβάθμιση και θα το ταξινομήσουν στην κλίμακα χρώματος κατά Munsell.



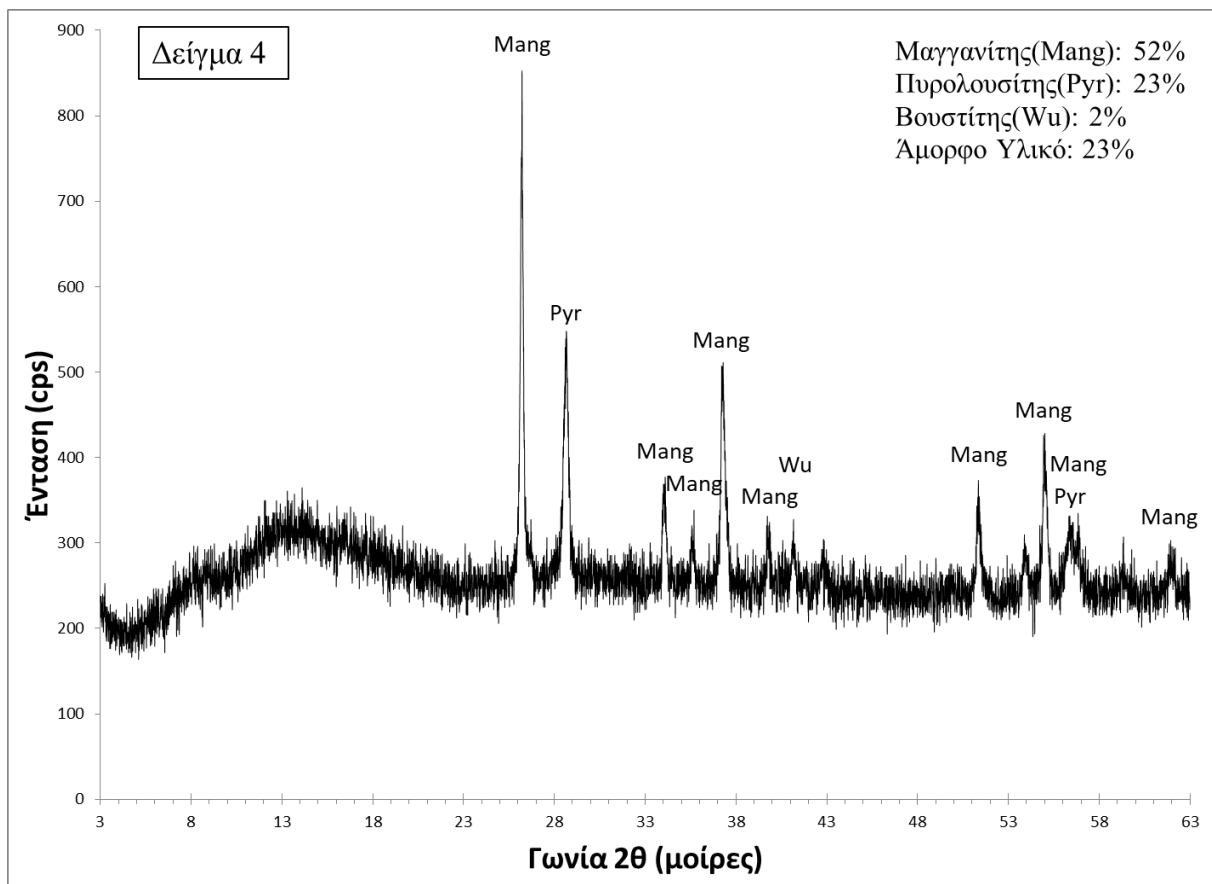
Εικόνα 27. Περιθλασιόγραμμα του δείγματος 3.

Δείγμα 4

Με βάση τα δεδομένα του πίνακα 1 και το περιθλασιόγραμμα του εξεταζόμενου δείγματος (Εικ. 28), το δείγμα 4 αποτελείται από μαγγανίτη (52% κ.β.), πυρολουσίτη (23% κ.β.), βουσίτη (2% κ.β.) και άμορφο υλικό (23% κ.β.). Το άμορφο υλικό μπορεί να είναι κολλοειδή οξείδια/υδροξείδια του μαγγανίου ή/και του σιδήρου. Όλες οι ορυκτολογικές φάσεις που αναγνωρίστηκαν, δηλαδή μαγγανίτης, πυρολουσίτης και βουσίτης, αποτελούν τις χρωστικές του συγκεκριμένου δείγματος.

Η γραμμή σκόνης των τριών ορυκτών που αναγνωρίστηκαν και λειτουργούν ως χρωστικές ουσίες είναι σκούρη καστανή για τον μαγγανίτη, μαύρη για τον πυρολουσίτη και καστανοκόκκινη για τον βουσίτη (Deer et al. 1992). Επομένως, το συγκεκριμένο δείγμα

στην εμπορική του μορφή, δηλαδή κονιοποιημένο σε μορφή λεπτομερούς σκόνης, θα εμφανίζει κατά βάση μαύρο-καστανόμαυρο χρώμα εάν λάβουμε υπόψη τη σχετική αναλογία των χρωμοφόρων ορυκτών που αναγνωρίστηκαν. Η μέτρηση των χρωματικών του παραμέτρων θα αναδείξουν και θα αποτυπώσουν την πραγματική χρωματική του διαβάθμιση και θα το ταξινομήσουν στην κλίμακα χρώματος κατά Munsell.



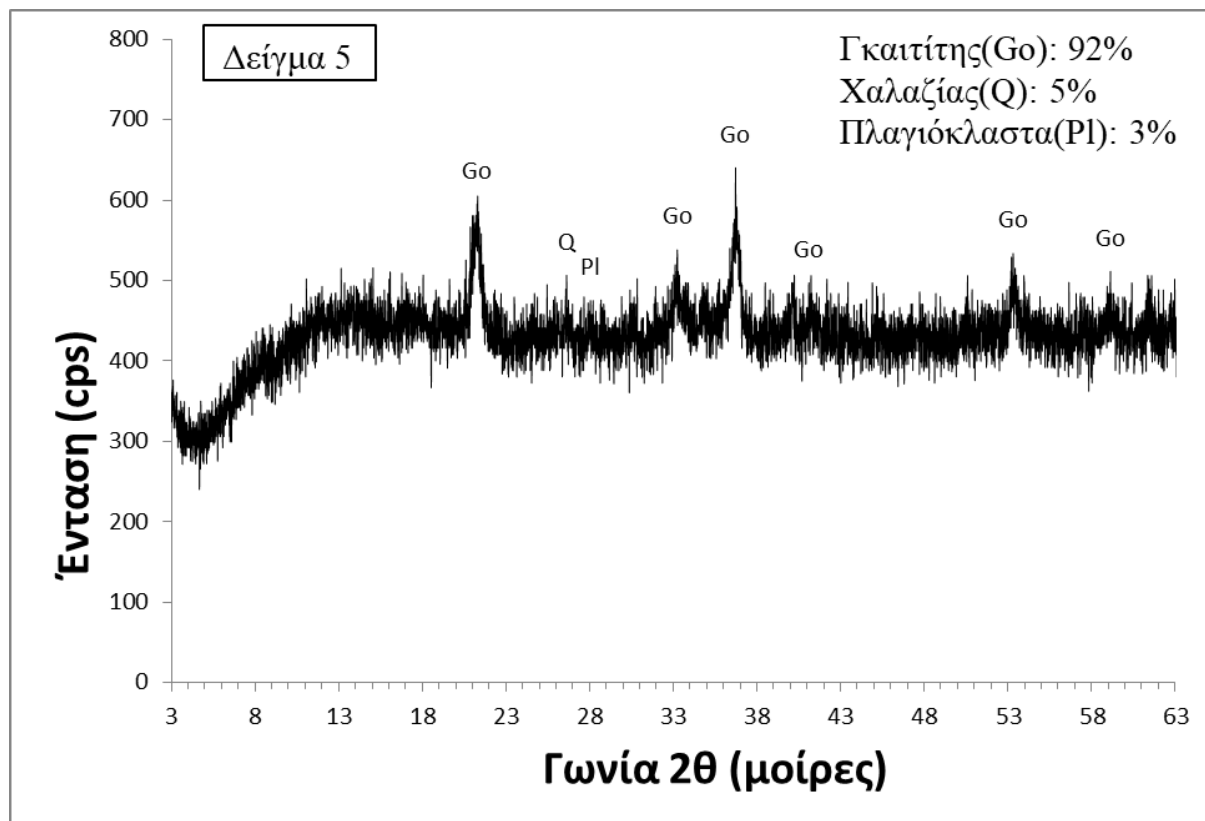
Εικόνα 28. Περιθλασιόγραμμα του δείγματος 4.

Δείγμα 5

Με βάση τα δεδομένα του πίνακα 1 και το περιθλασιόγραμμα του εξεταζόμενου δείγματος (Εικ. 29), το δείγμα 5 αποτελείται κυρίως από γκαιτίτη (92% κ.β.), ενώ σε μικρότερα ποσοστά συμμετέχουν χαλαζίας (5% κ.β.) και πλαγιόκλαστα (3% κ.β.). Από τις ορυκτολογικές φάσεις που αναγνωρίστηκαν ο γκαιτίτης αποτελεί τη χρωστική ουσία του εξεταζόμενου δείγματος.

Η γραμμή σκόνης του γκαιτίτη που αναγνωρίστηκε και λειτουργεί ως χρωστική ουσία είναι κιτρινίζουσα καστανή (Deer et al. 1992). Επομένως, το συγκεκριμένο δείγμα στην εμπορική του μορφή, δηλαδή κονιοποιημένο σε μορφή λεπτομερούς σκόνης, θα εμφανίζει κατά βάση καστανό-κιτρινοκαστανό χρώμα εάν λάβουμε υπόψη το χρωμοφόρο ορυκτό που

αναγνωρίστηκε. Η μέτρηση των χρωματικών του παραμέτρων θα αναδείξουν και θα αποτυπώσουν την πραγματική χρωματική του διαβάθμιση και θα το ταξινομήσουν στην κλίμακα χρώματος κατά Munsell.



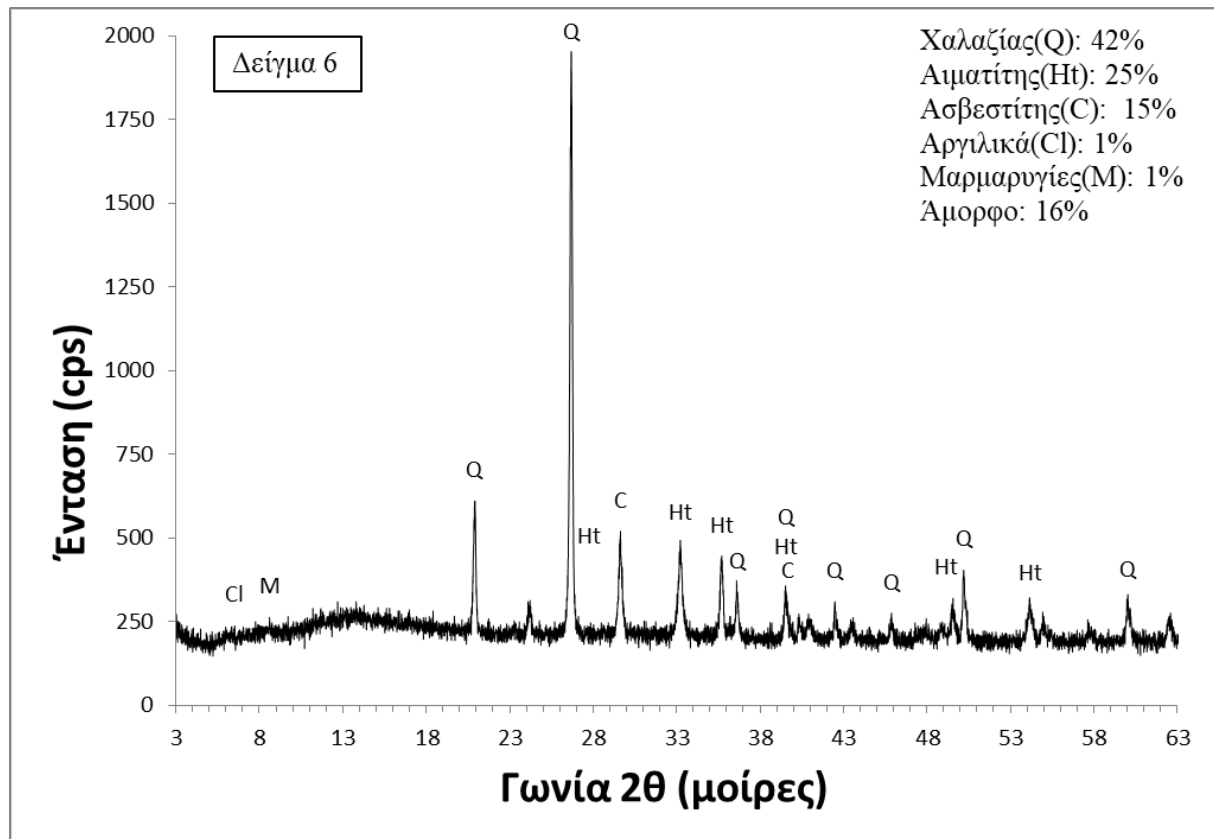
Εικόνα 29. Περιθλασιόγραμμα του δείγματος 5.

Δείγμα 6

Με βάση τα δεδομένα του πίνακα 1 και το περιθλασιόγραμμα του εξεταζόμενου δείγματος (Εικ. 30), το δείγμα 6 αποτελείται από χαλαζία (42% κ.β.), αιματίτη (25% κ.β.), ασβεσίτη (15% κ.β.), μαρμαρυγίες (1% κ.β.), αργιλικά ορυκτά (1% κ.β.) και άμορφο υλικό (16% κ.β.). Το άμορφο υλικό είναι πιθανόν κολλοειδή οξείδια/υδροξείδια του σιδήρου. Από τις ορυκτολογικές φάσεις που αναγνωρίστηκαν ο αιματίτης αποτελεί τη χρωστική ουσία του εξεταζόμενου δείγματος.

Η γραμμή σκόνης του αιματίτη που αναγνωρίστηκε και λειτουργεί ως χρωστική ουσία είναι κόκκινη (Deer et al. 1992). Επομένως, το συγκεκριμένο δείγμα στην εμπορική του μορφή, δηλαδή κονιοποιημένο σε μορφή λεπτομερούς σκόνης, θα εμφανίζει κατά βάση ανοικτό κόκκινο χρώμα εάν λάβουμε υπόψη το χρωμοφόρο ορυκτό που αναγνωρίστηκε, αλλά και τη σημαντική παρουσία ανοιχτόχρωμων μη μεταλλικών ορυκτών (χαλαζίας, ασβεσίτης). Η μέτρηση των χρωματικών του παραμέτρων θα αναδείξουν και θα

αποτυπώσουν την πραγματική χρωματική του διαβάθμιση και θα το ταξινομήσουν στην κλίμακα χρώματος κατά Munsell.

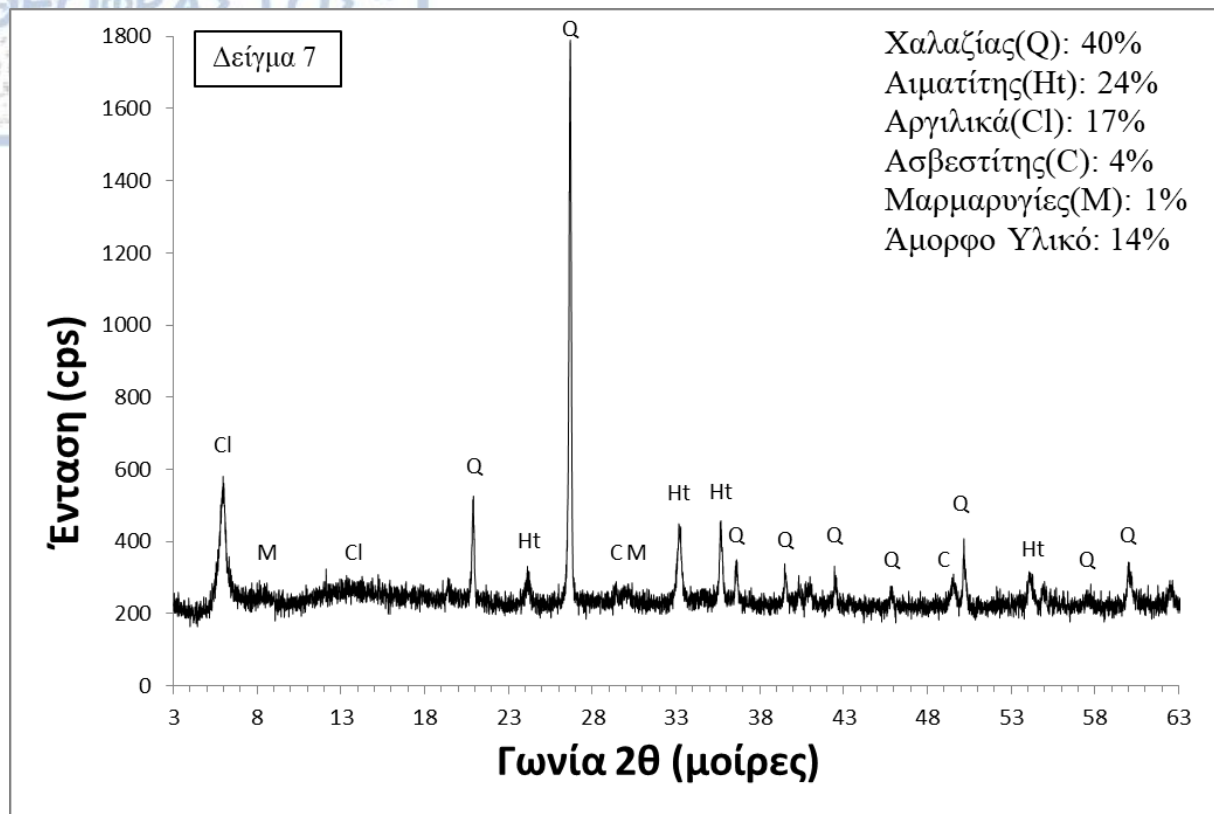


Εικόνα 30. Περιθλασιόγραμμα του δείγματος 6.

Δείγμα 7

Με βάση τα δεδομένα του πίνακα 1 και το περιθλασιόγραμμα του εξεταζόμενου δείγματος (Εικ. 31), το δείγμα 7 αποτελείται από χαλαζία (40% κ.β.), αιματίτη (24% κ.β.), αργιλικά ορυκτά (17% κ.β.), ασβεστίτη (4% κ.β.), μαρμαρυγίες (1% κ.β.), και άμορφο υλικό (14% κ.β.). Το άμορφο υλικό είναι πιθανόν κolloειδή οξείδια/υδροξείδια του σιδήρου ή/και μη κρυσταλλικές φάσεις του πυριτίου. Από τις ορυκτολογικές φάσεις που αναγνωρίστηκαν ο αιματίτης αποτελεί τη χρωστική ουσία του εξεταζόμενου δείγματος.

Η γραμμή σκόνης του αιματίτη που αναγνωρίστηκε και λειτουργεί ως χρωστική ουσία είναι κόκκινη (Deer et al. 1992). Επομένως, το συγκεκριμένο δείγμα στην εμπορική του μορφή, δηλαδή κονιοποιημένο σε μορφή λεπτομερούς σκόνης, θα εμφανίζει κατά βάση ανοικτό κόκκινο χρώμα εάν λάβουμε υπόψη το χρωμοφόρο ορυκτό που αναγνωρίστηκε, αλλά και τη σημαντική παρουσία χαλαζία ο οποίος είναι λευκός όταν κονιοποιείται. Η μέτρηση των χρωματικών του παραμέτρων θα αναδείξουν και θα αποτυπώσουν την πραγματική χρωματική του διαβάθμιση και θα το ταξινομήσουν στην κλίμακα χρώματος κατά Munsell.

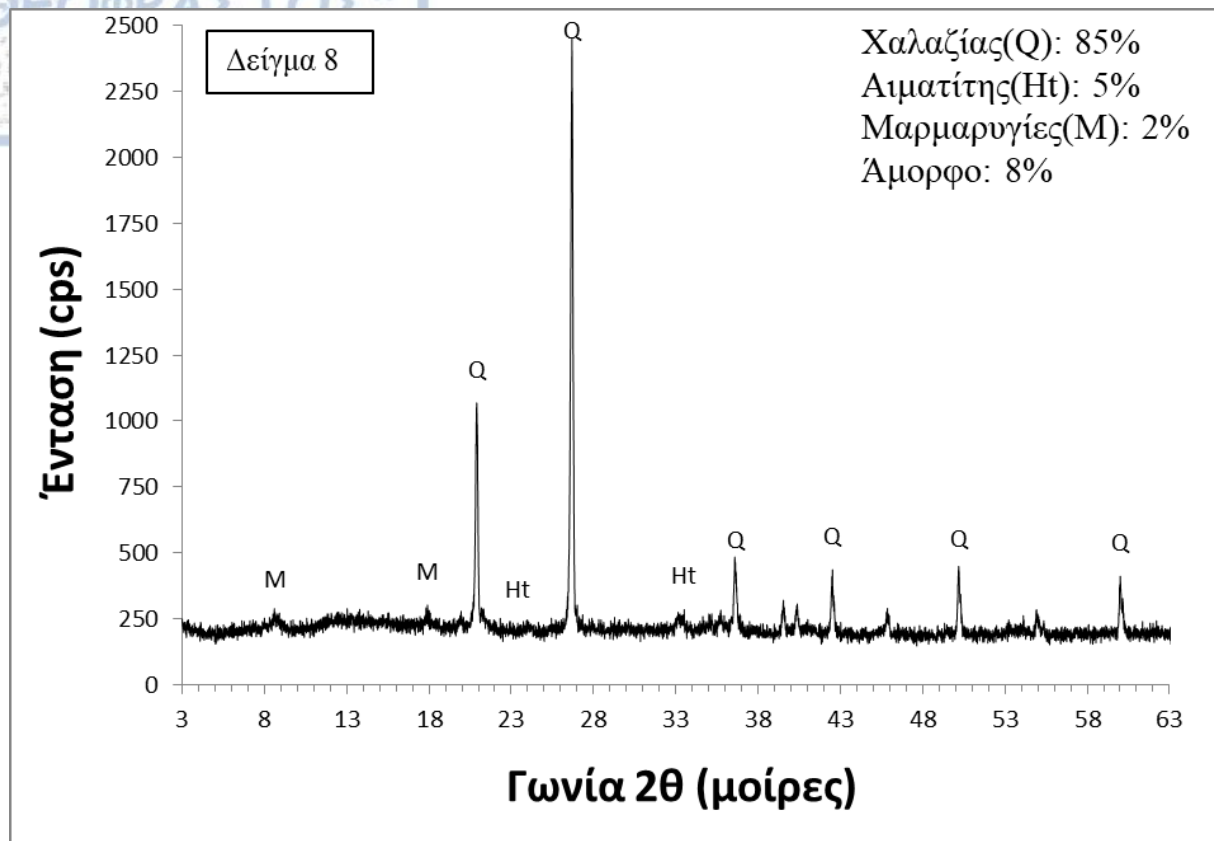


Εικόνα 31 Περιθλασιόγραμμα του δείγματος 7.

Δείγμα 8

Με βάση τα δεδομένα του πίνακα 1 και του περιθλασιογράμματος του εξεταζόμενου δείγματος (Εικ. 32), το δείγμα 8 αποτελείται κυρίως από χαλαζία (85% κ.β.), ενώ συμμετέχουν σε μικρότερο ποσοστά αιματίτης (5% κ.β.), μαρμαρυγίες (2% κ.β.) και άμορφο υλικό (8% κ.β.). Το άμορφο υλικό είναι πιθανόν κολλοειδή οξείδια/υδροξείδια του σιδήρου ή/και μη κρυσταλλικές φάσεις του πυριτίου. Από τις ορυκτολογικές φάσεις που αναγνωρίστηκαν ο αιματίτης αποτελεί τη χρωστική ουσία του εξεταζόμενου δείγματος.

Η γραμμή σκόνης του αιματίτη που αναγνωρίστηκε και λειτουργεί ως χρωστική ουσία είναι κόκκινη (Deer et al. 1992). Επομένως, το συγκεκριμένο δείγμα στην εμπορική του μορφή, δηλαδή κονιοποιημένο σε μορφή λεπτομερούς σκόνης, θα εμφανίζει κατά βάση ανοικτό κόκκινο χρώμα εάν λάβουμε υπόψη το χρωμοφόρο ορυκτό που αναγνωρίστηκε, αλλά και τη σημαντική παρουσία χαλαζία ο οποίος είναι λευκός όταν κονιοποιείται. Η μέτρηση των χρωματικών του παραμέτρων θα αναδείξουν και θα αποτυπώσουν την πραγματική χρωματική του διαβάθμιση και θα το ταξινομήσουν στην κλίμακα χρώματος κατά Munsell.



Εικόνα 32. Περιθλασιόγραμμα του δείγματος 8.

5.2 Χημικές αναλύσεις

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται συγκεντρωτικά η χημική σύσταση (% κ.β.) των εξεταζόμενων δειγμάτων όπως υπολογίστηκε με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων-X (XRF). Το όριο ανίχνευσης για όλα τα κύρια στοιχεία ήταν 0,01% κ.β.

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

	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7	Δ8
SiO ₂	0,27	4,76	5,25	0,06	7,39	53,59	58,44	91,09
TiO ₂	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,02	0,07
Al ₂ O ₃	<0,01	1,97	2,13	0,26	0,59	5,62	8,12	2,92
Fe ₂ O _{3t}	74,98	20,07	35,30	2,35	82,48	25,03	24,17	5,39
MnO	<0,01	55,47	40,44	80,71	<0,01	0,10	0,09	0,03
MgO	<0,01	0,47	0,32	<0,01	<0,01	0,41	0,74	0,24
CaO	<0,01	0,74	0,16	<0,01	0,01	8,06	2,42	<0,01
Na ₂ O	<0,01	0,05	0,01	<0,01	0,35	<0,01	0,02	<0,01
K ₂ O	<0,01	0,10	<0,01	<0,01	<0,01	0,10	0,13	0,19
P ₂ O ₅	<0,01	0,09	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
SO ₃	17,36	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
L.O.I.*	7,54	16,19	16,40	16,36	9,37	6,89	5,67	0,06
Σύνολο	100,15	99,91	100,03	99,74	100,19	99,83	99,81	99,97

*: Απώλεια πύρωσης, 1050 °C/2h.

Σύμφωνα με τον πίνακα 3, το SiO_2 κυμαίνεται μεταξύ 0,06% κ.β. (δείγμα 4) και 91,09% κ.β. (δείγμα 8), ενώ το TiO_2 μετρήθηκε σε 3 δείγματα σε πολύ χαμηλά ποσοστά (0,02-0,07% κ.β.). Το Al_2O_3 μετρήθηκε σε 7 δείγματα και ποσοστά μεταξύ 0,26% κ.β. (δείγμα 4) και 8,12% κ.β. (δείγμα 7). Το Fe_2O_3 κυμαίνεται μεταξύ 2,35% κ.β. (δείγμα 4) και 82,48% κ.β. (δείγμα 5), τα δείγματα που είναι πλούσια σε καστανές χρωστικές (δείγμα 1 και δείγμα 5) εμφανίζουν τα υψηλότερα ποσοστά Fe_2O_3 . Το MnO βρέθηκε σε 6 δείγματα σε ποσοστό μεταξύ 0,03% κ.β. (δείγμα 8) και 80,71% κ.β. (δείγμα 4), το υψηλότερο ποσοστό εμφανίζεται στο δείγμα μαύρης χρωστικής. Το MgO μετρήθηκε σε 5 από τα 8 δείγματα σε χαμηλό ποσοστό μεταξύ 0,24% κ.β. (δείγμα 8) και 0,74% κ.β. (δείγμα 7). Το CaO μετρήθηκε σε 5 από τα 8 δείγματα σε ποσοστό μεταξύ 0,01% κ.β. (δείγμα 5) και 8,06% κ.β. (δείγμα 6). Το Na_2O μετρήθηκε σε 4 από τα 8 δείγματα σε χαμηλά ποσοστά μεταξύ 0,01% κ.β. (δείγμα 3) και 0,35% κ.β. (δείγμα 5). Το K_2O μετρήθηκε σε 4 από τα 8 δείγματα σε χαμηλά ποσοστά μεταξύ 0,10% κ.β. (δείγμα 2 και δείγμα 6) και 0,19% (δείγμα 8). Το P_2O_5 μετρήθηκε σε χαμηλό ποσοστό 0,09% κ.β. στο δείγμα 2. Τέλος, το SO_3 μετρήθηκε μόνο στο δείγμα 1 και σε ποσοστό 17,36% κ.β.

Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της χημικής σύστασης διαπιστώνεται ότι αυτά βρίσκονται σε πολύ καλή συμφωνία με τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης.

5.3 Χρωματομετρία

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι χρωματικοί παράμετροι των εξεταζόμενων δειγμάτων, όπως μετρήθηκαν στη συσκευή TMI του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας. Συγκεκριμένα, μετρήθηκαν οι παρακάτω παράμετροι:

- Τριχρωματικές παράμετροι XYZ για παρατηρητή στις 10° σύμφωνα με CIE (1964). Οι παράμετροι αυτές λαμβάνουν τιμές 0-100%.
- Παράμετροι χρώματος xy στο σύστημα CIE xyY (1931) για παρατηρητή στις 10° σύμφωνα με CIE (1964). Όπου $x = X/(X+Y+Z)$ και $y = Y/(X+Y+Z)$ και λαμβάνουν τιμές μεταξύ 0-1. Η τιμή Y είναι τριχρωματική παράμετρος στο σύστημα XYZ και έχει να κάνει με την λαμπρότητα ενός χρώματος.
- Η τιμή R_{457} που αντιστοιχεί στη λαμπρότητα του χρώματος σε μήκος κύματος 457nm. Λαμβάνει τιμές μεταξύ 0-100%.
- Οι τιμές λευκότητας W86 και TW όπως περιγράφονται από τη CIE (1986).
- Οι παράμετροι χρώματος L^* , a^* και b^* σύμφωνα με CIELAB (1976) για παρατηρητή στις 10° σύμφωνα με CIE (1964). Οι παράμετροι αυτές λαμβάνουν τιμές μεταξύ 0-100%, όπως φαίνεται στην Εικ. 8.

- Η τιμή της χρωματικής πυκνότητας C^* και της γωνίας χροιάς h^* σύμφωνα με CIELAB (1976). Η πρώτη παράμετρος λαμβάνει τιμές % και η δεύτερη σε μοίρες, όπως φαίνεται στην Εικ. 9.
- Τέλος, οι τιμές της κιτρινάδας, Y_I , Y_{Id} και Y_{Ie} , σύμφωνα με CIE (1931), ASTM D1925: Standard Test Method for Yellowness Index of Plastics και ASTM E313: Standard Practice for Calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates, αντίστοιχα.

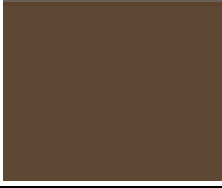
Πίνακας 4. Χρωματικοί δείκτες των εξεταζόμενων δειγμάτων.

Παράμετρος	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\Delta 5$	$\Delta 6$	$\Delta 7$	$\Delta 8$
X (%)	24,35	7,45	9,26	5,70	16,44	20,41	19,68	25,84
Y (%)	21,71	7,17	8,69	6,01	14,87	16,69	16,95	22,86
Z (%)	6,50	3,91	3,72	5,47	4,70	8,01	10,43	9,89
x -	0,4633	0,4024	0,4272	0,3319	0,4565	0,4526	0,4181	0,4410
y -	0,4131	0,3869	0,4011	0,3497	0,4129	0,3699	0,3602	0,3901
R₄₅₇ (%)	6,24	3,72	3,53	5,20	4,51	7,58	9,84	9,42
W₈₆ (%)	-237,6	-160,4	-200,4	-39,52	-237,7	-160,2	-116,5	-179,3
T_w (%)	-81,53	-43,70	-58,93	-4,62	-75,29	-98,86	-74,86	-75,89
L* (%)	53,73	32,21	35,31	29,45	45,44	47,89	48,20	54,92
a* (%)	17,39	6,61	9,25	0,06	14,04	24,24	19,47	18,45
b* (%)	41,75	16,89	23,09	4,16	35,38	26,01	18,67	31,80
C* (%)	45,22	18,14	24,88	4,16	38,06	35,55	26,98	36,76
h* (°)	67,38	68,64	68,16	89,11	68,36	47,02	43,80	59,88
Y_I (%)	123,74	121,68	128,08	113,19	129,68	168,39	147,44	130,65
y_{Id} (%)	124,04	122,16	128,38	113,43	129,98	168,75	147,77	130,96
Y_{Ie} (%)	89,81	99,58	98,82	109,53	96,15	116,77	106,66	93,08

Από τις παραμέτρους του πίνακα 4 οι σημαντικότερες στην περιγραφή του χρώματος είναι το Y από τους τριχρωματικούς δείκτες (CIE 1964), ο δείκτης R_{457} και οι τιμές L^* , a^* και b^* σύμφωνα με CIELAB (1976). Ο δείκτης φωτεινότητας (L^*), όπως και ο δείκτης λαμπρότητας (Y) αντίστοιχα παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές στα δείγματα 2, 3 και 4, με το δείγμα 4 να παίρνει τις χαμηλότερες τιμές ($L^*= 29,45$, $Y= 6,01$) και το δείγμα 8 τις μεγαλύτερες ($L^*= 54,92$, $Y= 22,86$). Ο παράγοντας a^* παρουσιάζει τη μικρότερη τιμή στο δείγμα 4 ($a^*= 0,06$) και τη μεγαλύτερη τιμή στο δείγμα 6 ($a^*= 24,24$), τα δείγματα 1, 7 και 8 παρουσιάζουν ανάλογα μεγάλες τιμές ($a^*_{\Delta 1}= 17,39$, $a^*_{\Delta 7}= 19,47$, $a^*_{\Delta 8}= 18,45$). Ο παράγοντας b^* παρουσιάζει μικρότερη τιμή στο δείγμα 4 ($b^*= 4,16$) και μεγαλύτερη τιμή στο δείγμα 1

($b^* = 41,75$), τα δείγματα 5 και 8 έχουν ανάλογα μεγάλες τιμές ($b^*_{\Delta 5} = 35,38$, $b^*_{\Delta 8} = 31,80$). Τα δείγματα δεν έχουν αρνητικές τιμές a^* και b^* , δηλαδή δεν κινούνται στις μπλε και πράσινες αποχρώσεις παρά μόνο στις κόκκινες και κίτρινες, αντίστοιχα.

Πίνακας 5. Απόδοση των εξεταζόμενων δειγμάτων στην κλίμακα χρώματος Munsell.

Δείγμα	Hue	Value	Chroma	Χρώμα Munsell	Πραγματική εικόνα
$\Delta 1$	8,42YR	5,21	7,34		
$\Delta 2$	1,00Y	3,14	3,05		
$\Delta 3$	0,35Y	3,44	4,08		
$\Delta 4$	0,21GY	2,87	1,06		
$\Delta 5$	9,19YR	4,41	6,13		
$\Delta 6$	2,93YR	4,64	6,31		
$\Delta 7$	3,11YR	4,67	4,79		
$\Delta 8$	6,67YR	5,33	6,25		

Με τη χρήση του λογισμικού Munsell Conversion (v. 12.18.5f, ©2010 WallkillColor) έγινε αντιστοίχιση των χρωματικών παραμέτρων των δειγμάτων από τα συστήματα CIE (1931)- CIELAB (1976) στους χρωματικούς παράγοντες της κλίμακας χρώματος Munsell. Οι τιμές των χρωματικών παραμέτρων των δειγμάτων κατά το σύστημα αποχρώσεων Munsell παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 5.

Όπως προαναφέρθηκε η κωδικοποίηση των αποχρώσεων με το σύστημα Munsell γίνεται με την παράθεση ποσοτήτων κατά το σχήμα του τύπου: H, V/C. Έτσι προκύπτει ότι η κατά Munsell απόχρωση των δειγμάτων είναι:

- Δείγμα 1: 8,42YR 5,21/7,34
- Δείγμα 2: 1,00Y 3,14/3,05
- Δείγμα 3: 0,35Y 3,44/4,08
- Δείγμα 4: 0,21GY 2,87/1,06
- Δείγμα 5: 9,19YR 4,41/6,13
- Δείγμα 6: 2,93YR 4,64/6,31
- Δείγμα 7: 3,11YR 4,67/4,79 και
- Δείγμα 8: 6,67YR 5,33/6,25.

5.4 Συσχετισμοί χρωματικών παραμέτρων και σύστασης

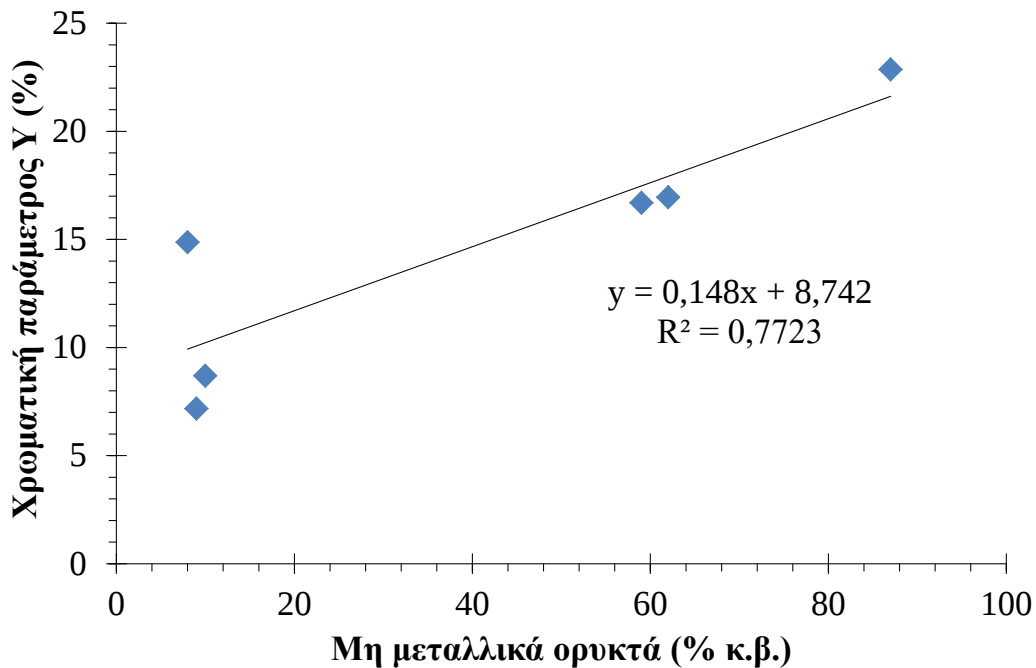
5.4.1 Χρωματικοί παράμετροι - Ορυκτολογική σύσταση

Μεταξύ της ορυκτολογικής σύστασης (Πίν. 2) και των βασικών (Y, L*, a*, b*) χρωματικών παραμέτρων (Πίν. 4) έγιναν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί συσχετίσεων, προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδραση των ορυκτών στις χρωματικές παραμέτρους και με ποια τάση, θετική ή αρνητική.

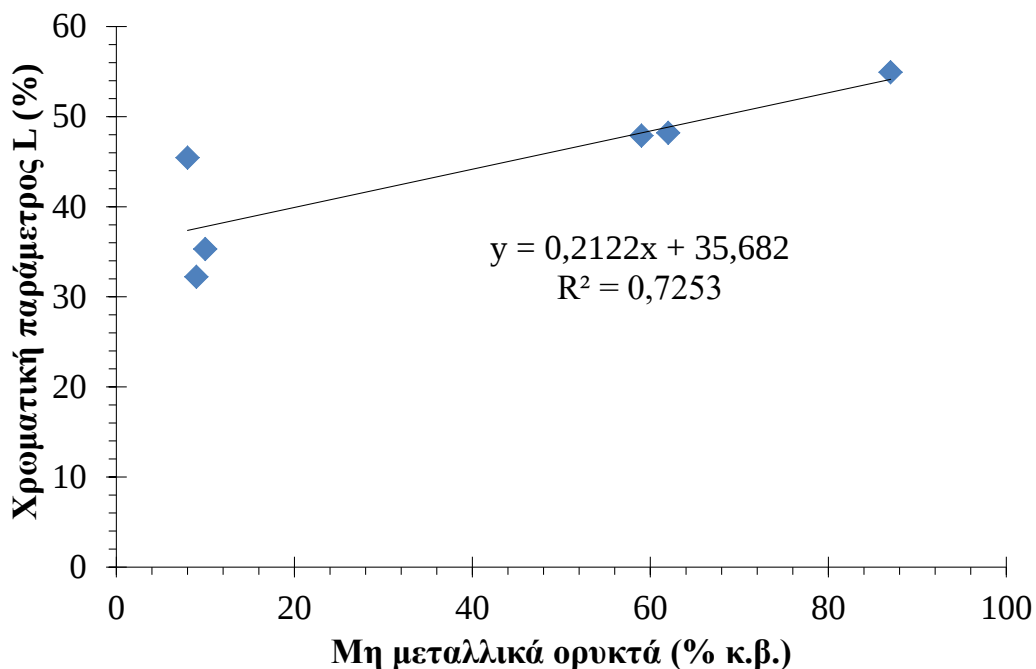
Όσον αφορά τα μη μεταλλικά ορυκτά, διαπιστώθηκε ότι το σύνολο αυτών επηρεάζει σημαντικά τις χρωματικές παραμέτρους της λευκότητας και λαμπρότητας του χρώματος (Y, L*) δείχνοντας ισχυρή θετική τάση (Εικ. 33, Εικ. 34). Όσο δηλαδή αυξάνεται η περιεκτικότητα σε μη μεταλλικά ορυκτά, τόσο αυξάνεται η τιμή των χρωματικών παραμέτρων Y και L*, με τον συντελεστή συσχέτισης R^2 να λαμβάνει τιμές 0,7723 και 0,7253, αντίστοιχα. Αυτό στη πράξη σημαίνει ότι όσο πιο πολλά είναι τα μη μεταλλικά ορυκτά, τόσο λευκότερο και λαμπρότερο είναι το χρώμα του εξεταζόμενου δείγματος.

Από τα μη μεταλλικά ορυκτά που περιέχονται στα εξεταζόμενα δείγματα (Πίν. 1) διαπιστώνεται ότι ο χαλαζίας έχει τη σημαντικότερη επίδραση στις παραμέτρους της λευκότητας και λαμπρότητας του χρώματος (Y, L*). Συγκεκριμένα, ο χαλαζίας εμφανίζει πολύ ισχυρή θετική συσχέτιση με τις παραμέτρους Y και L* συντελεστές συσχέτισης 0,9225

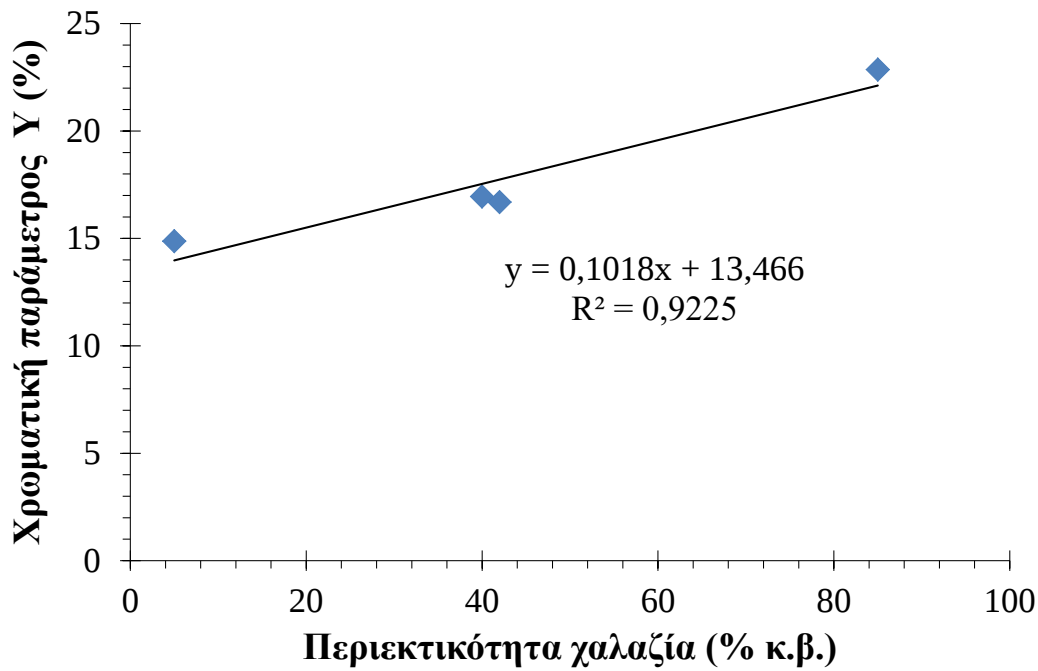
και 0,9415, αντίστοιχα (Εικ. 35, Εικ. 36). Στην πράξη δηλαδή, η λευκότητα και η λαμπρότητα του χρώματος των εξεταζόμενων δειγμάτων ελέγχεται σχεδόν αποκλειστικά από τον χαλαζία.



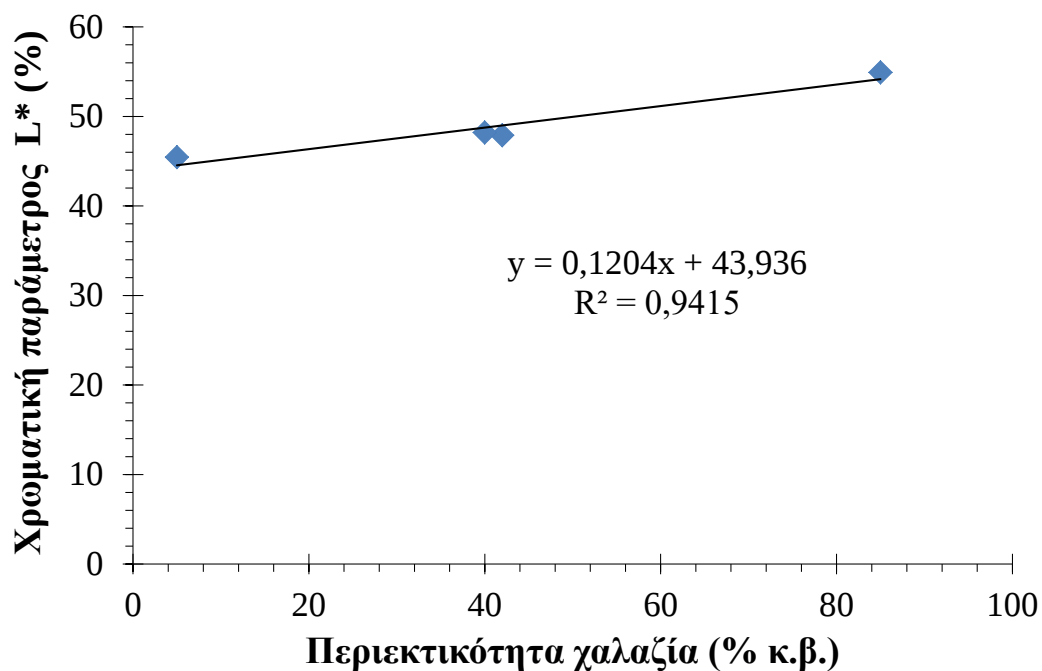
Εικόνα 33 Συσχέτιση του ποσοστού των μη μεταλλικών ορυκτών (%κ.β.) με την παράμετρο Y (%)



Εικόνα 34 Συσχέτιση του ποσοστού των μη μεταλλικών ορυκτών (% κ.β.) με την παράμετρο L* (%).



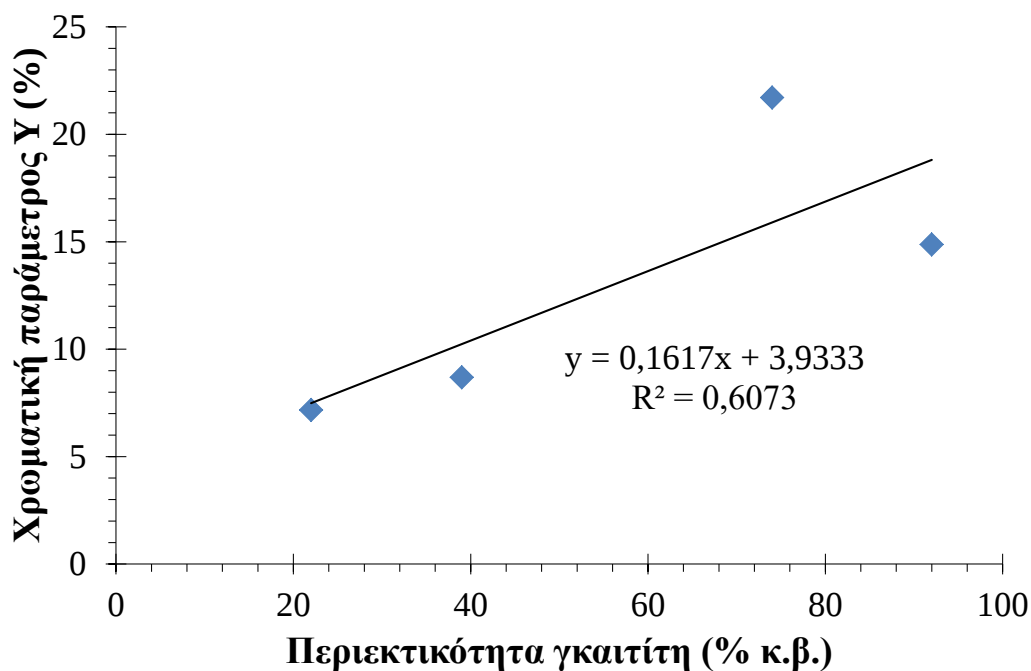
Εικόνα 35. Συσχέτιση του ποσοστού του χαλαζία (%κ.β.) με την παράμετρο Y (%).



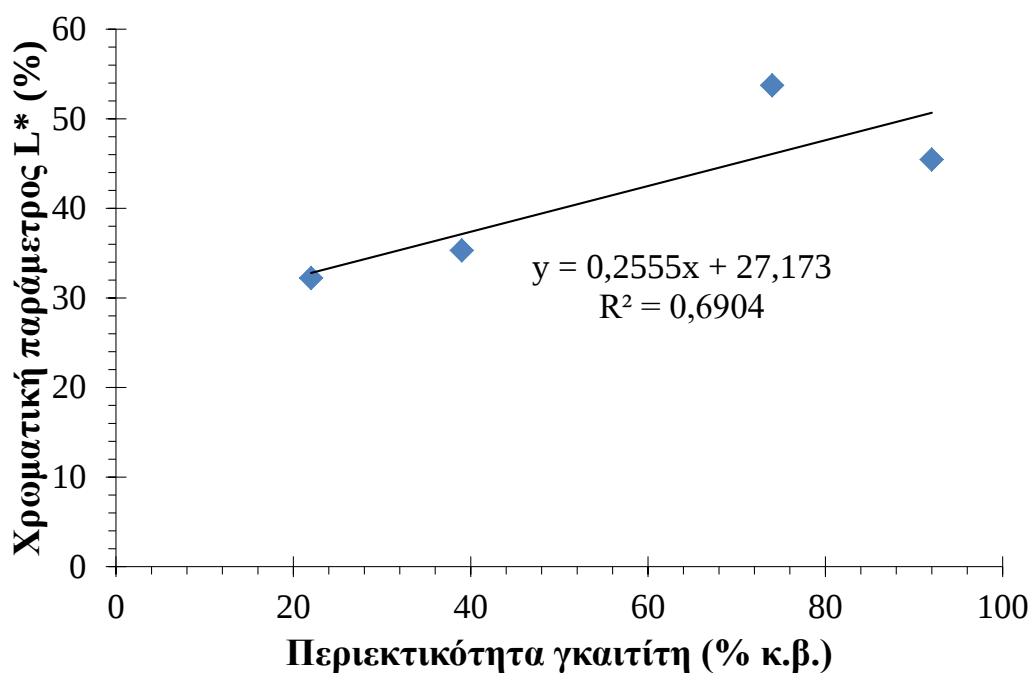
Εικόνα 36 Συσχέτιση του ποσοστού του χαλαζία (% κ.β.) με τις παράμετρο L* (%).

Όσον αφορά τα μεταλλικά ορυκτά, διαπιστώθηκε ότι ο γκαιτίτης επηρεάζει σημαντικά όλες τις χρωματικές παραμέτρους, δείχνοντας αρκετά ισχυρή θετική συσχέτιση με τη λευκότητα και λαμπρότητα του χρώματος (Y, L*) και ισχυρή συσχέτιση με την απόχρωση (a*, b*). Όσο δηλαδή αυξάνεται η περιεκτικότητα σε γκαιτίτη, τόσο αυξάνεται η τιμή των χρωματικών παραμέτρων Y και L* (Εικ. 37, Εικ. 38) και a* και b* (Εικ. 39, Εικ. 40). Οι

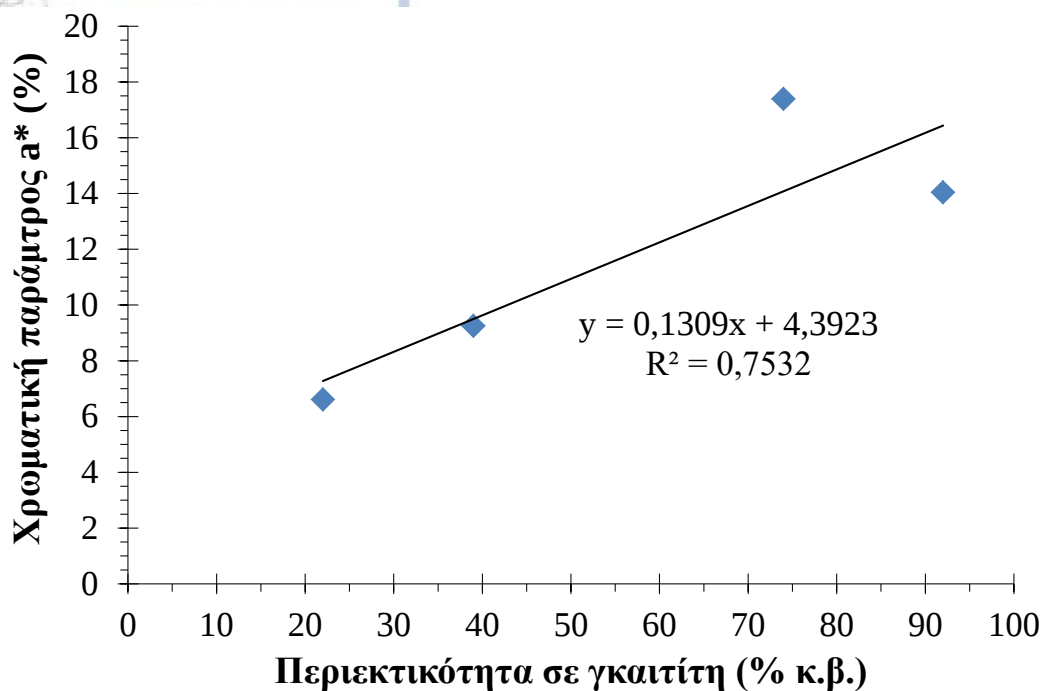
χρωματικές παράμετροι a^* και b^* εμφανίζουν την ισχυρότερη τάση εξάρτησης από τον γκαιτίτη, με τον συντελεστή συσχέτισης R^2 να λαμβάνει τιμές 0,7532 και 0,7998, αντίστοιχα. Οι παράμετροι a^* και b^* λαμβάνουν μόνο θετικές τιμές, δηλαδή κινούνται η μεν τιμή του a^* στην περιοχή των κόκκινων αποχρώσεων η δε τιμή του b^* στην περιοχή των κίτρινων (Εικ. 8) φανερώνοντας τον σαφή επηρεασμό του χρώματος από τον γκαιτίτη.



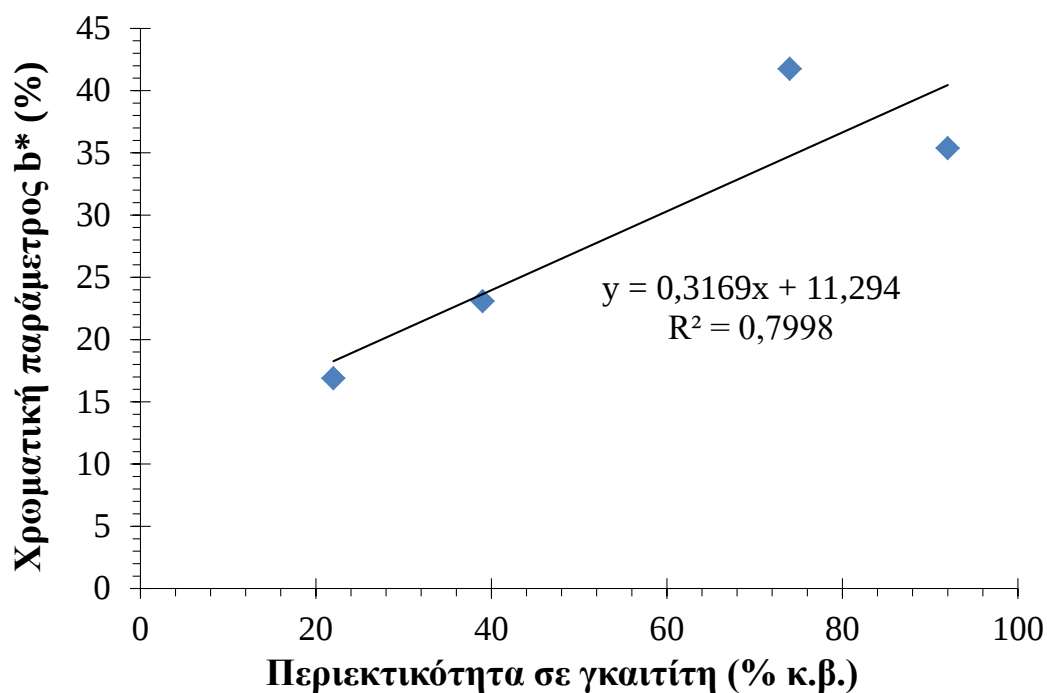
Εικόνα 37. Συσχέτιση του ποσοστού του γκαιτίτη (% κ.β.) με την παράμετρο Y (%)



Εικόνα 38. Συσχέτιση του ποσοστού του γκαιτίτη (% κ.β.) με την παράμετρο L* (%).



Εικόνα 39. Συσχέτιση της περιεκτικότητας του γκαϊτίτη (% κ.β.) με την παράμετρο a* (%).

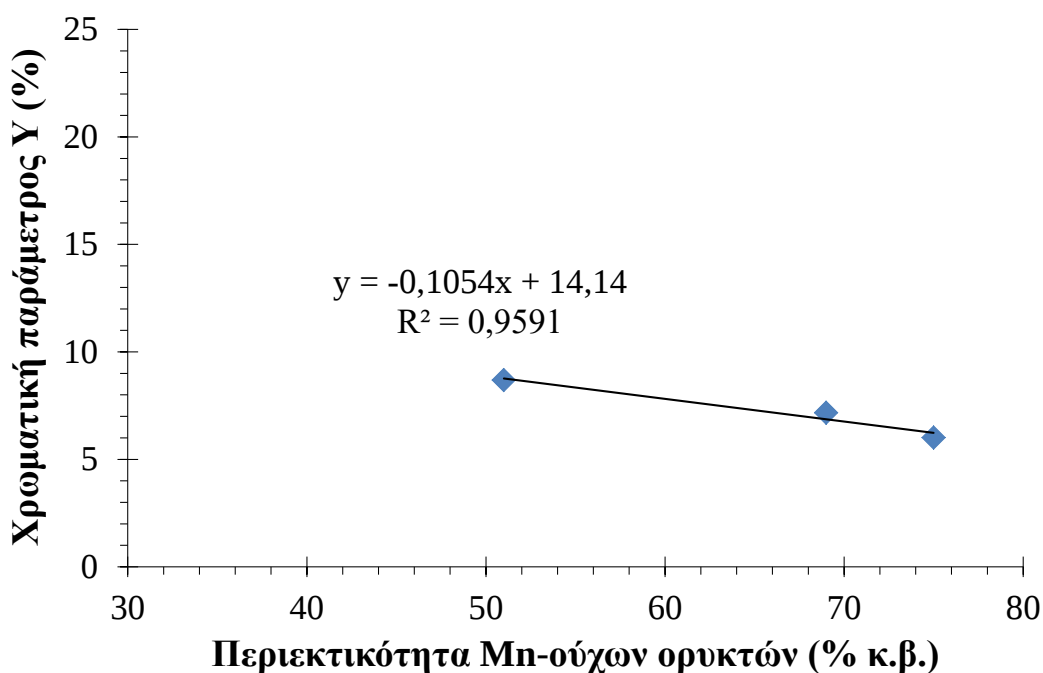


Εικόνα 40. Συσχέτιση της περιεκτικότητας του γκαϊτίτη (% κ.β.) με την παράμετρο b* (%).

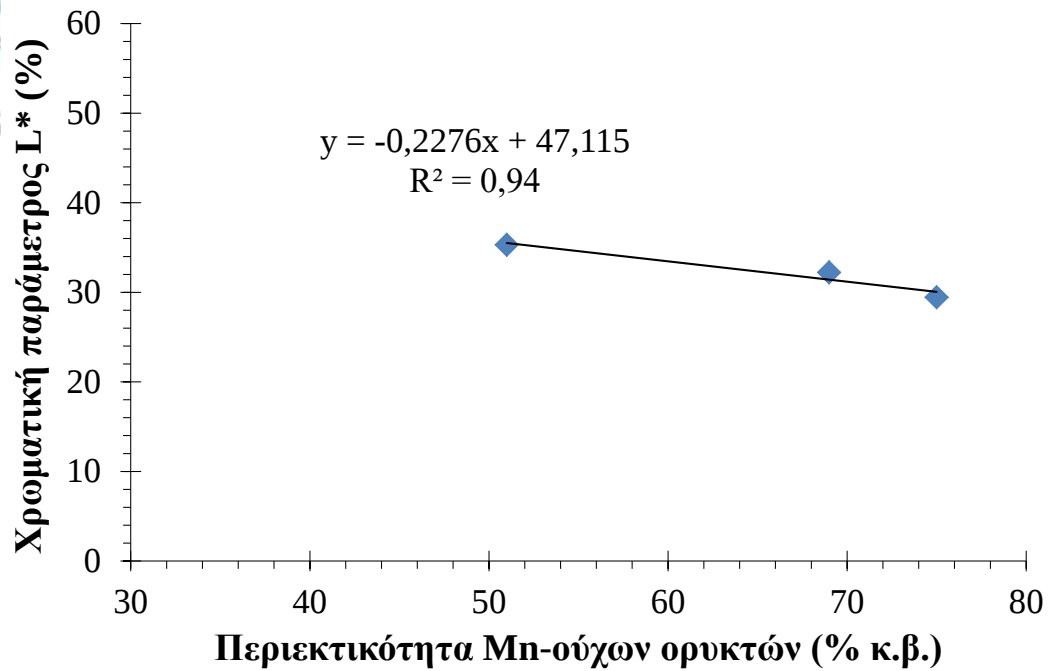
Ο αιματίτης παρόλο που θα ήταν αναμενόμενο να επηρεάζει τις χρωματικές παραμέτρους, δεν κατέστη δυνατόν να δώσει αξιόπιστους συσχετισμούς. Παρόλα αυτά, φαίνεται να υπάρχει μία τάση θετικού επηρεασμού των τιμών της παραμέτρου a* προς τις τιμές που αντιστοιχούν στις κόκκινες αποχρώσεις. Χρειάζονται περισσότερα δείγματα που

περιέχουν αιματίτη προκειμένου να εξαχθούν σίγουρα συμπεράσματα για την επίδραση του ορυκτού αυτού στο χρώμα ενός δείγματος χρωστικής ουσίας.

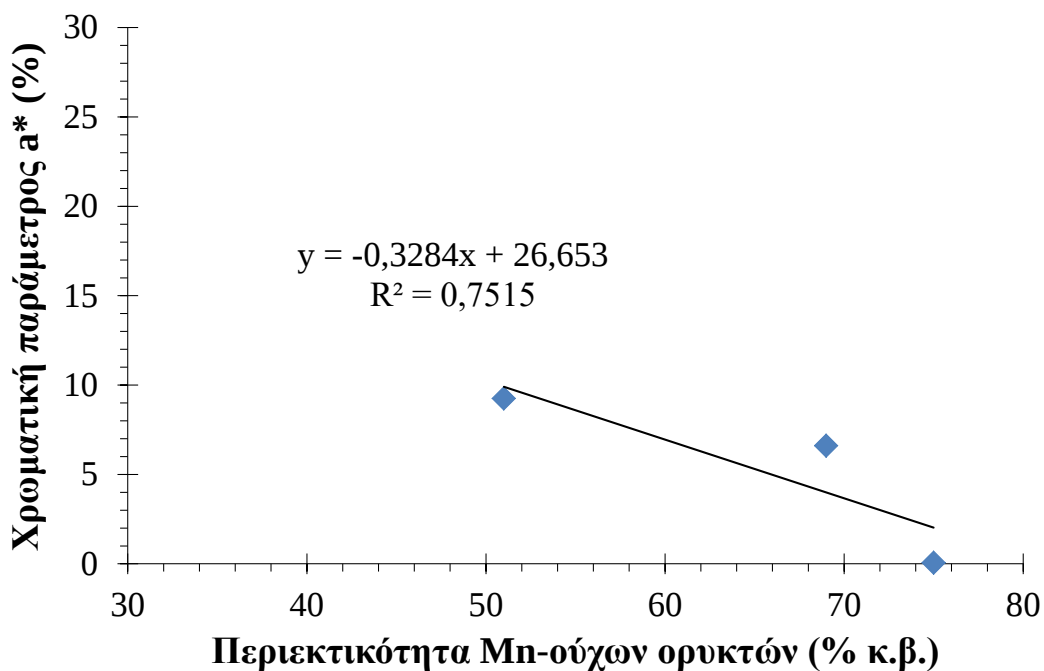
Από τα υπόλοιπα μεταλλικά ορυκτά διαπιστώθηκε ότι τα Μπ-ούχα επηρεάζουν αρνητικά όλες τις χρωματικές παραμέτρους. Συγκεκριμένα, εμφανίζουν πολύ ισχυρή αρνητική συσχέτιση (Εικ. 41, Εικ. 42) με τις παραμέτρους της λευκότητας και λαμπρότητας του χρώματος (Y , L^*) με συντελεστές συσχέτισης R^2 0,9591 και 0,94, αντίστοιχα. Δηλαδή όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε Μπ-ούχα ορυκτά, τόσο μειώνεται η λευκότητα και λαμπρότητα του χρώματος. Ισχυρή αρνητική συσχέτιση παρατηρείται και μεταξύ των Μπ-ούχων ορυκτών και των χρωματικών παραμέτρων a^* και b^* (Εικ. 43, Εικ. 44) με το συντελεστή συσχέτισης R^2 να λαμβάνει τιμές 0,7515 και 0,7887, αντίστοιχα. Επομένως, η παρουσία Μπ-ούχων ορυκτών οδηγεί τις χρωματικές παραμέτρους σε τιμές που αντιστοιχούν σε πολύ σκούρα χρώματα.



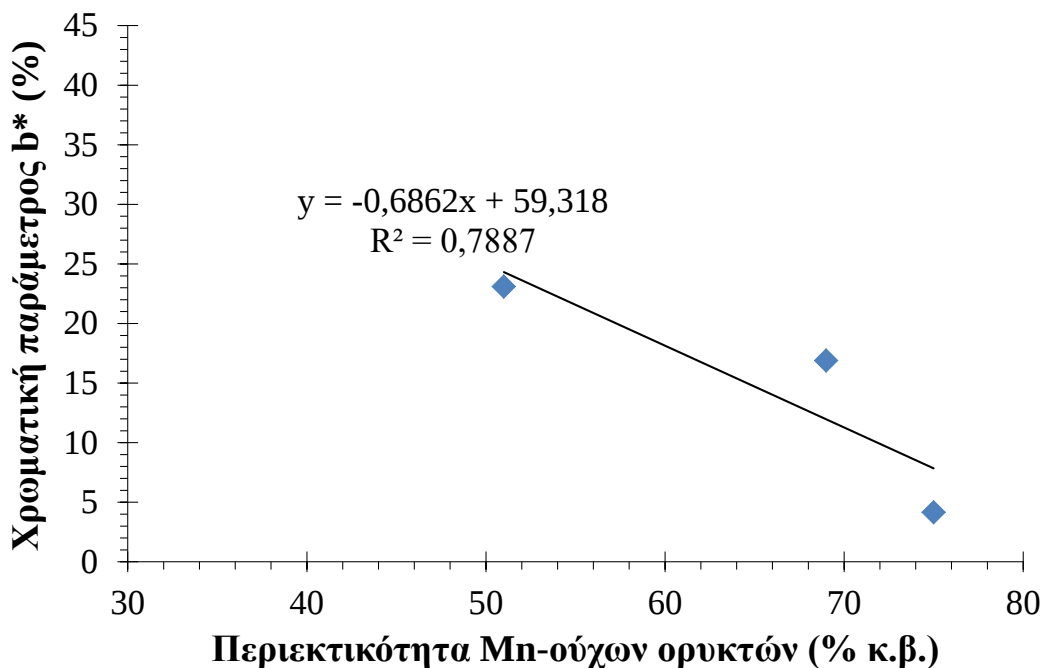
Εικόνα 41. Συσχέτιση του ποσοστού των Μπ-ούχων ορυκτών (% κ.β.) με την παράμετρο Y (%)



Εικόνα 42. Συσχέτιση του ποσοστού των Μn-ούχων ορυκτών (% κ.β.) με την παράμετρο L* (%)



Εικόνα 43 Συσχέτιση του ποσοστού των Μn-ούχων ορυκτών (% κ.β.) με την παράμετρο a* (%)

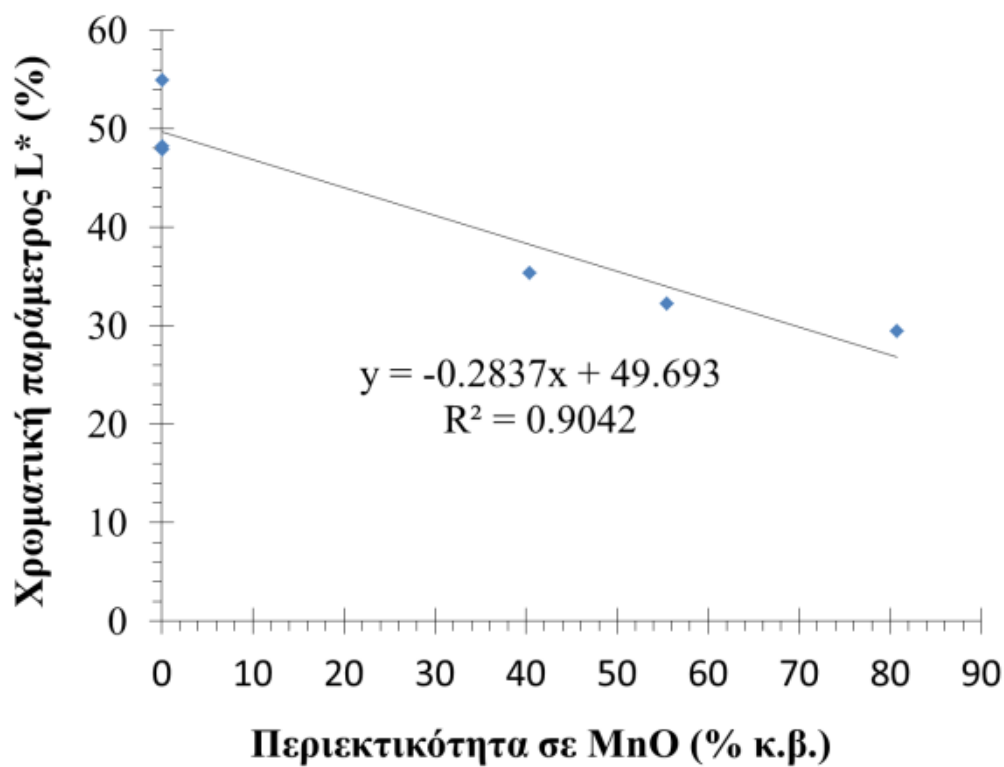


Εικόνα 44. Συσχέτιση του ποσοστού των Mn-ούχων ορυκτών (% κ.β.) με την παράμετρο b* (%).

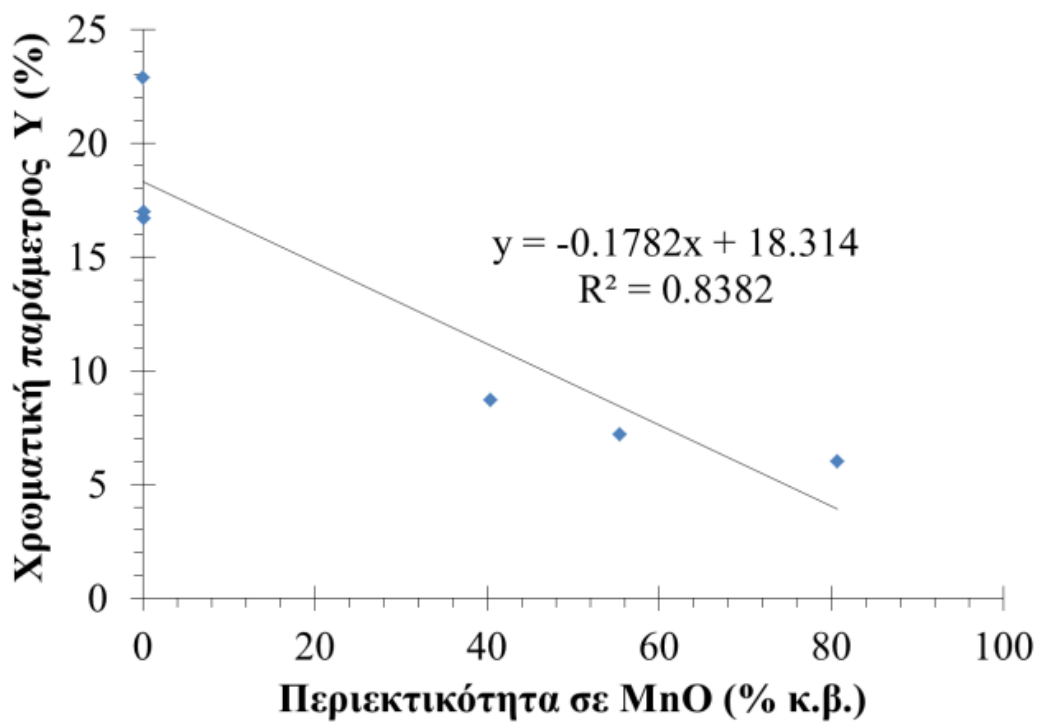
5.4.2 Χρωματικοί παράμετροι - Χημική σύσταση

Μεταξύ της χημικής σύστασης (Πίν. 3) και των βασικών (Y, L*, a*, b*) χρωματικών παραμέτρων (Πίν. 4) έγιναν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί συσχετίσεων, προκειμένου να διαπιστωθεί πως επηρεάζεται, θετικά ή αρνητικά, η κάθε χρωματική παράμετρος.

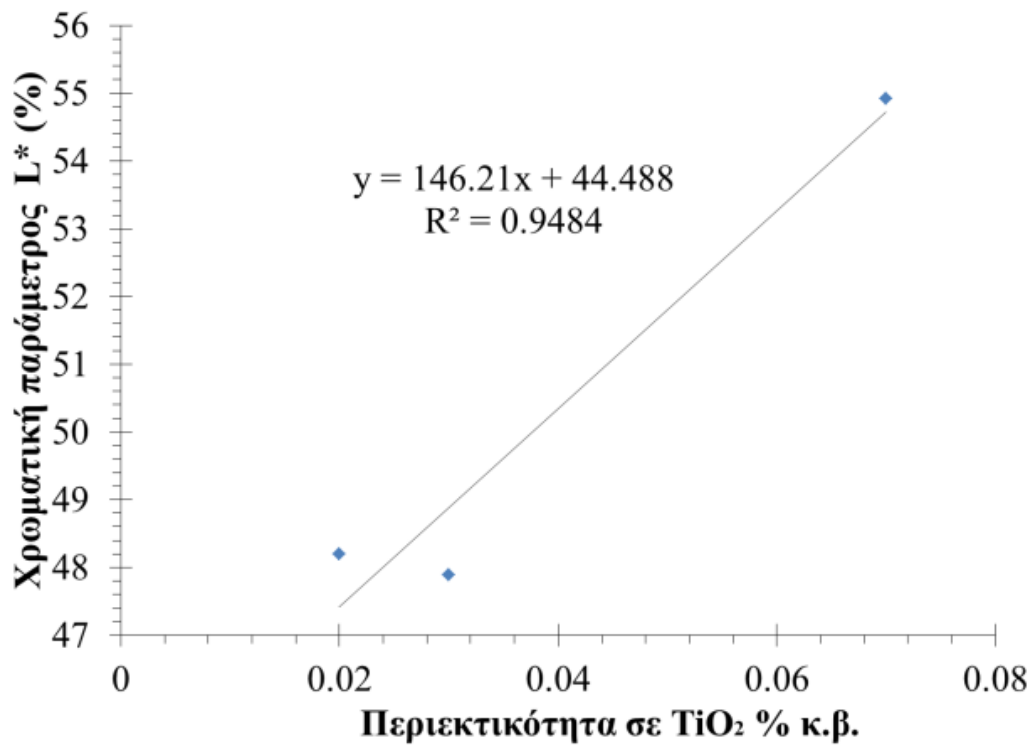
Η χρωματική παράμετρος L* φαίνεται ότι παρουσιάζει αντίστοιχες συσχετίσεις με τη χρωματική παράμετρο Y. Συγκεκριμένα, εμφανίζουν ισχυρή αρνητική συσχέτιση με το MnO (Εικ. 45, Εικ. 46) με συντελεστές συσχέτισης R^2 0,9042 και 0,8382 αντίστοιχα, δηλαδή όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε MnO, τόσο μειώνεται η λευκότητα και λαμπρότητα του χρώματος. Η χρωματική παράμετρος Y παρουσιάζει ισχυρή θετική συσχέτιση με το TiO₂ (Εικ. 48) με συντελεστή R^2 0,9492, αρκετά ισχυρή θετική συσχέτιση με το K₂O (Εικ. 49, Εικ. 50) με συντελεστές R^2 0,5303 και 0,6302 για L* και Y αντίστοιχα, ενώ παρατηρείται και μια θετική τάση συσχέτισης με το SiO₂ (Εικ. 51, Εικ. 52) με συντελεστές R^2 0,3861 και 0,3902 για L* και Y αντίστοιχα, δηλαδή όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα των οξειδίων αυτών στο πέτρωμα, τόσο αυξάνεται η λευκότητα και η λαμπρότητα του δείγματος. Η χρωματική παράμετρος L* σε σύγκριση με το TiO₂, παρόλο που δείχνει πολύ υψηλό συντελεστή συσχέτισης, δεν μπορεί να ληφθεί υπόψη εξαιτίας της κατανομής που παρουσιάζουν οι τιμές στο διάγραμμα και επηρεάζουν την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων (Εικ. 47). Τα στοιχεία Al₂O₃, MgO, CaO, Na₂O και Fe₂O_{3t} δεν παρουσιάζουν καμία συσχέτιση με τους χρωματικούς παράγοντες L* και Y.



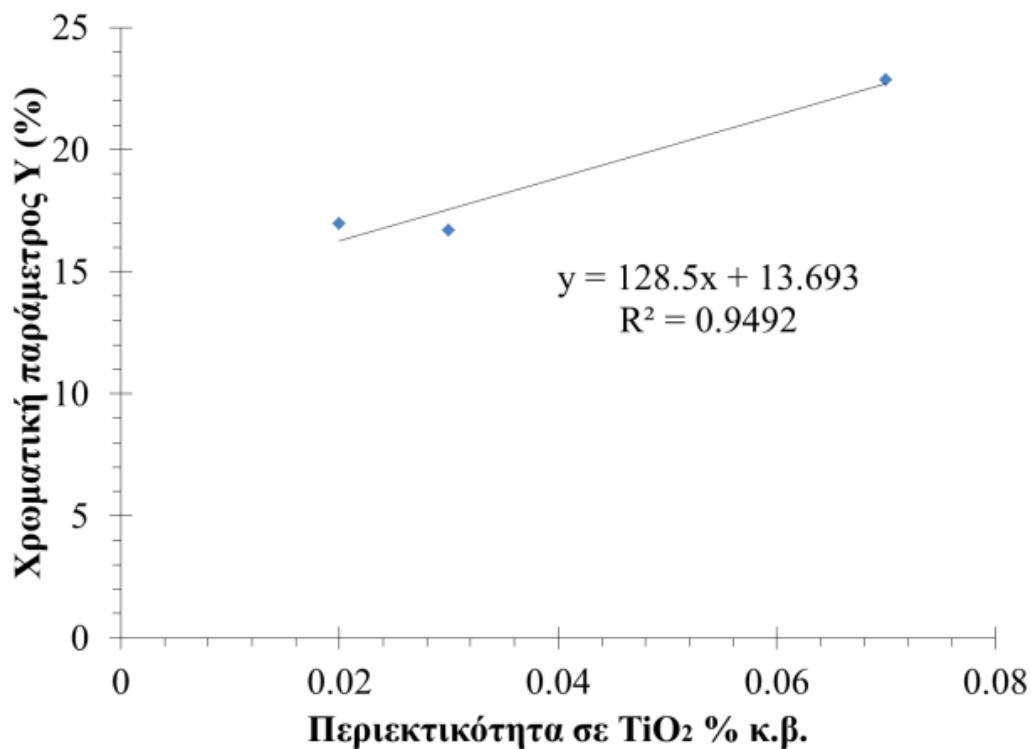
Εικόνα 45. Συσχέτιση της περιεκτικότητας σε MnO (% κ.β.) με την παράμετρο L* (%).



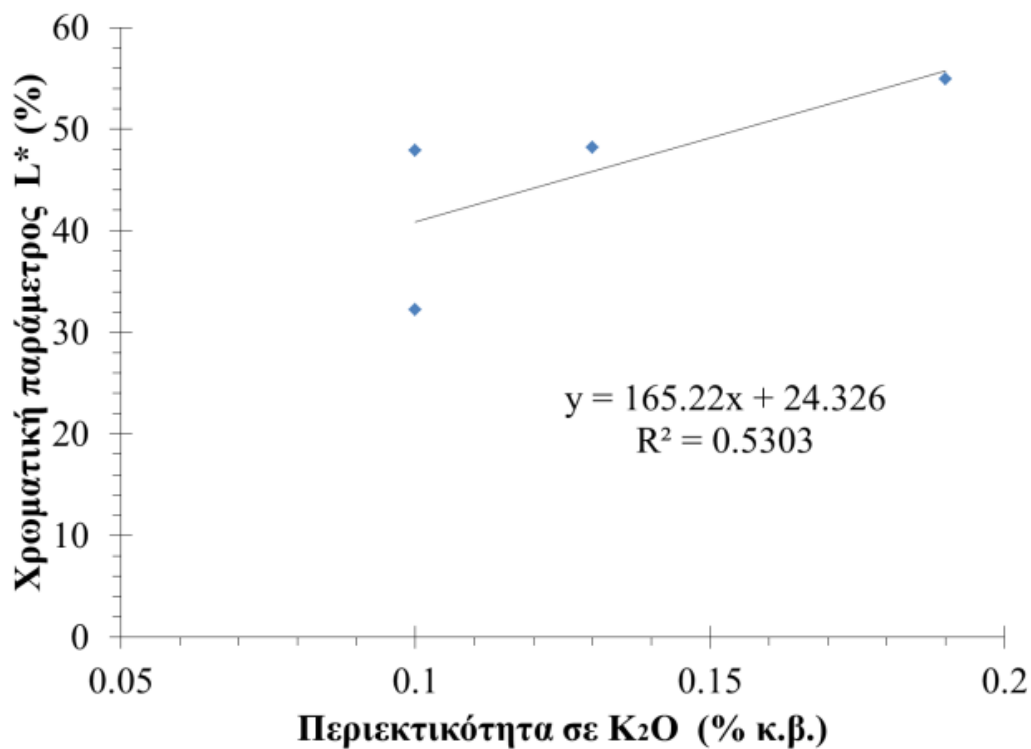
Εικόνα 46. Συσχέτιση της περιεκτικότητας σε MnO (% κ.β.) με την παράμετρο Y (%).



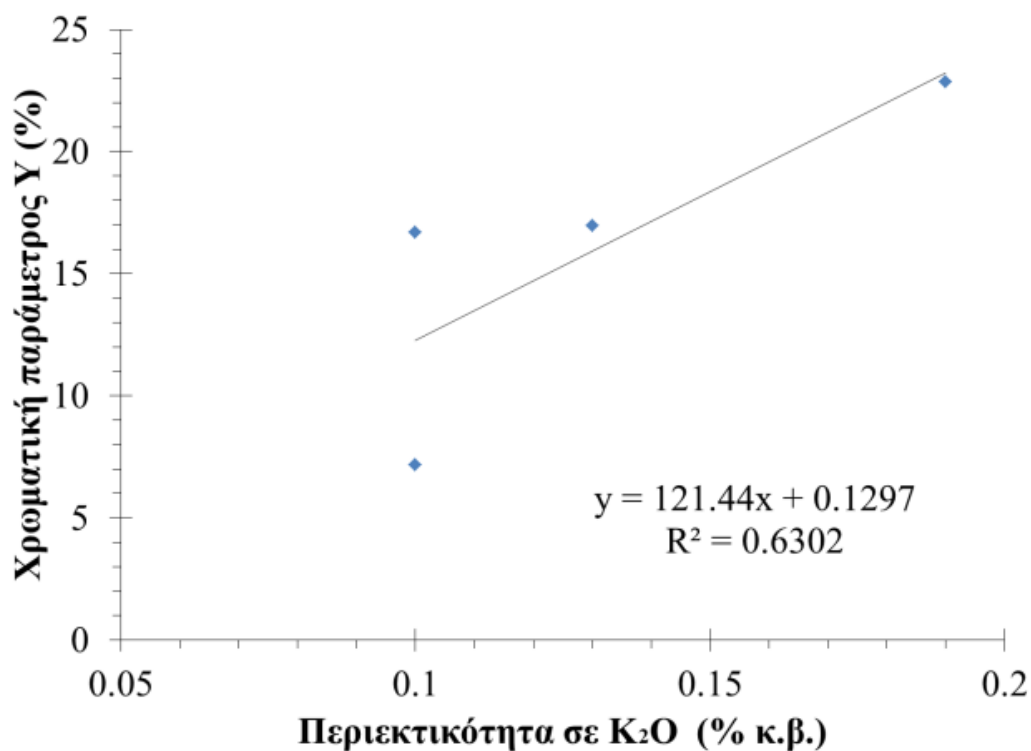
Εικόνα 47. Συσχέτιση της περιεκτικότητας σε TiO₂ (% κ.β.) με την παράμετρο L* (%).



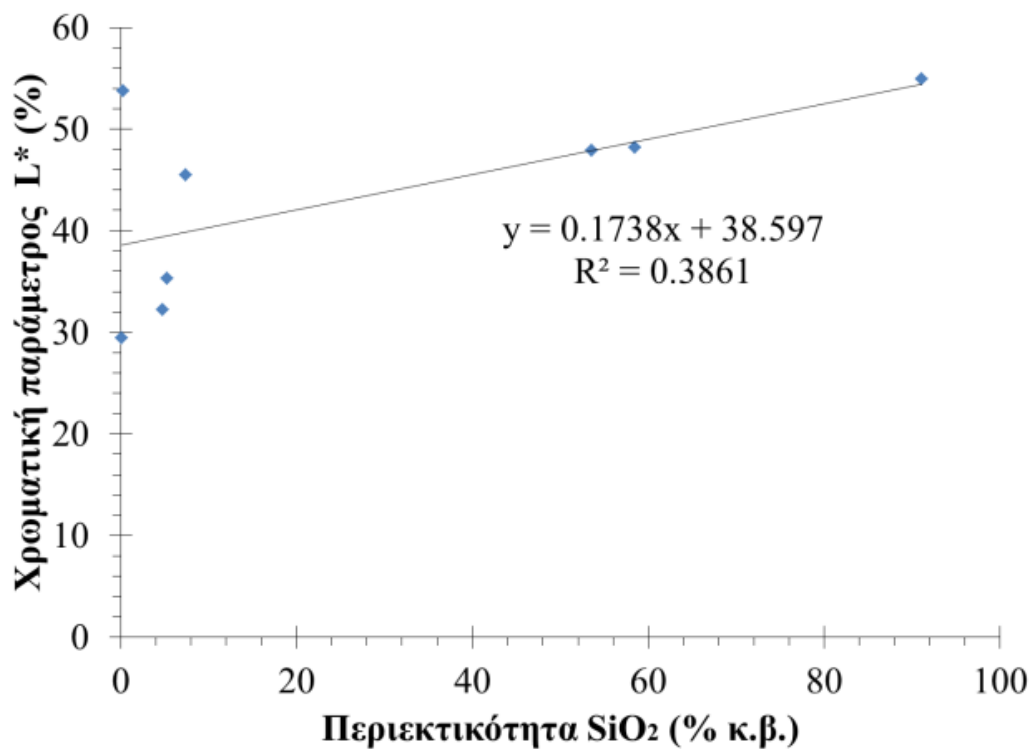
Εικόνα 48. Συσχέτιση της περιεκτικότητας σε TiO₂ (% κ.β.) με την παράμετρο Y (%).



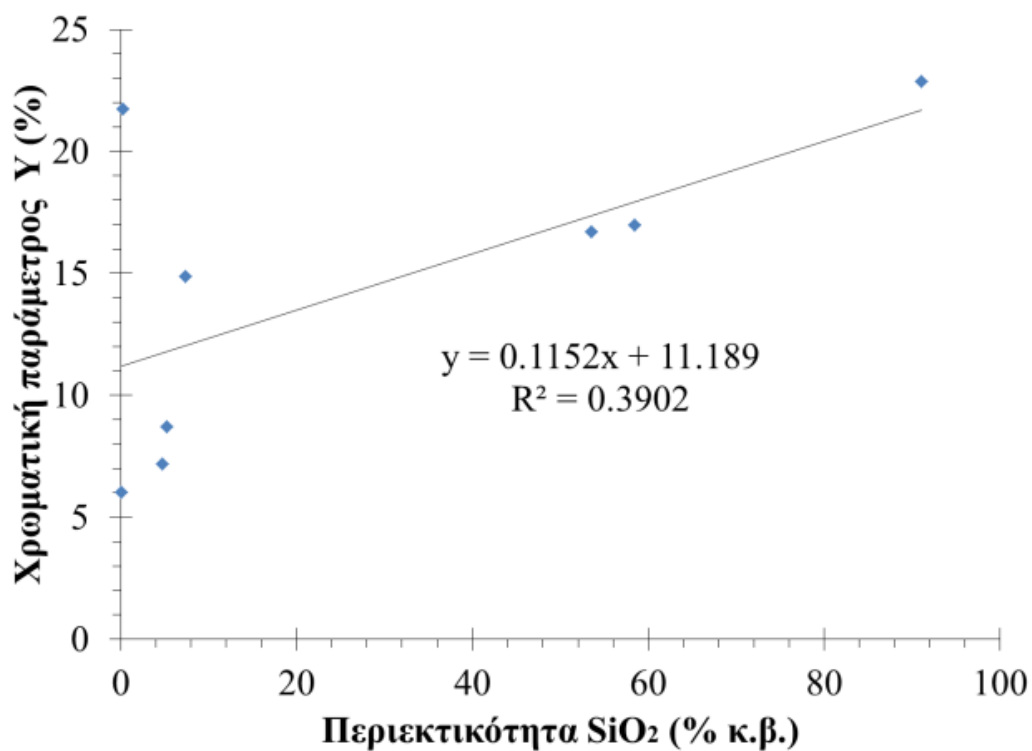
Εικόνα 49. Συσχέτιση της περιεκτικότητας σε K₂O (% κ.β.) με την παράμετρο L* (%).



Εικόνα 50. Συσχέτιση της περιεκτικότητας σε K₂O (% κ.β.) με την παράμετρο Y (%).

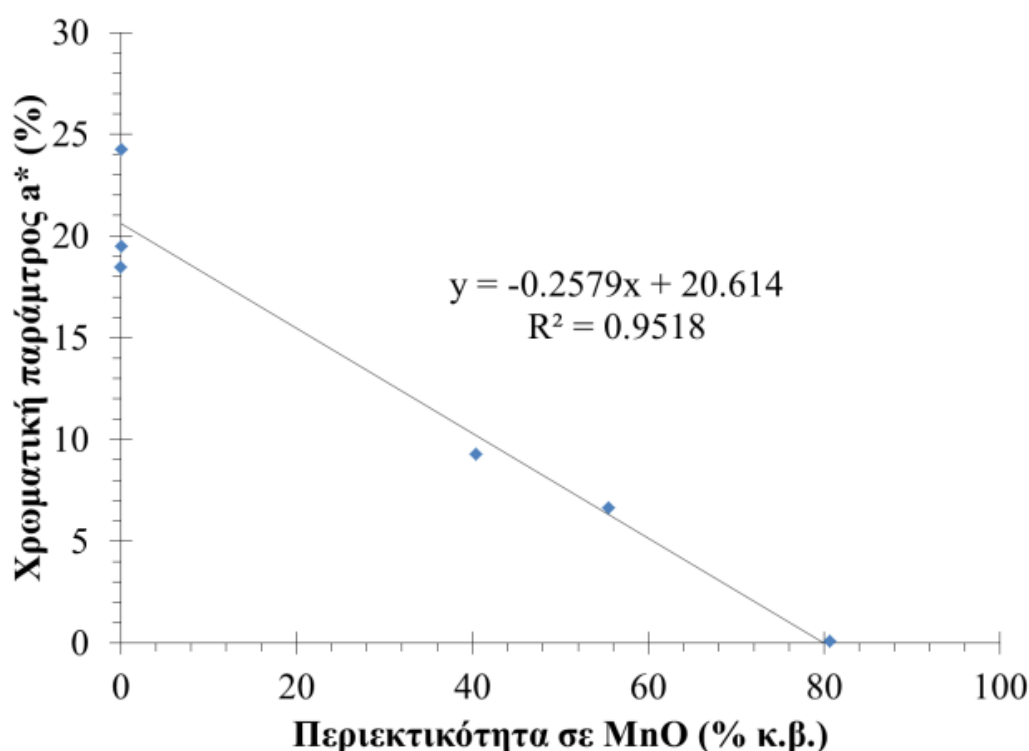


Εικόνα 51. Συσχέτιση της περιεκτικότητας σε SiO₂ (% κ.β.) με την παραμέτρους L* (%).

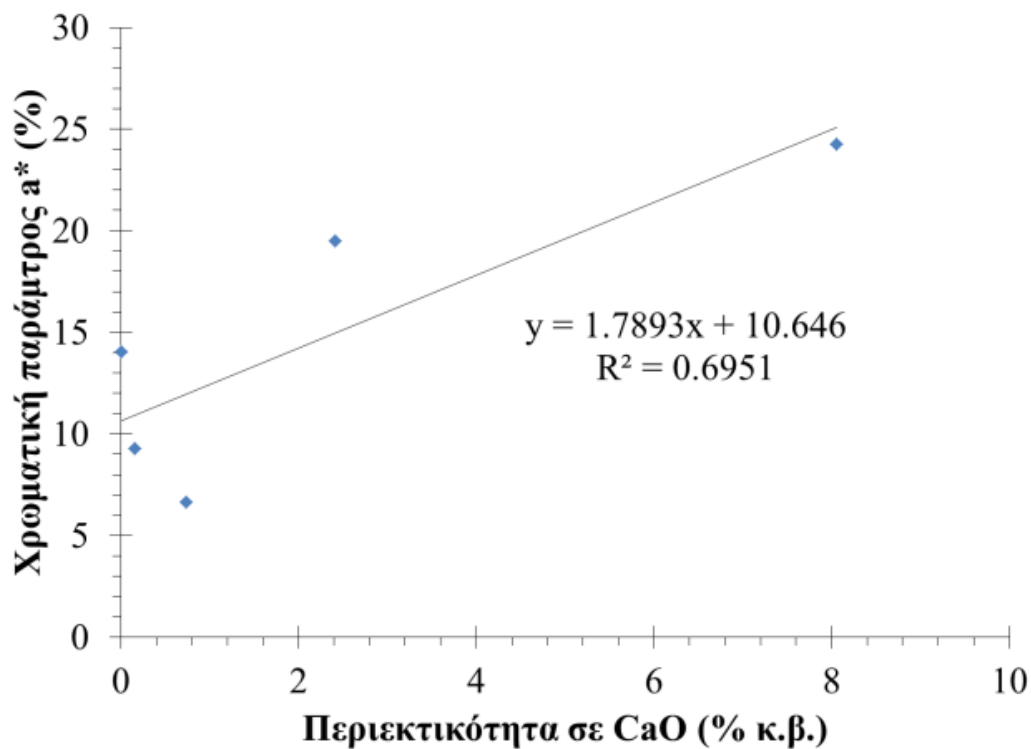


Εικόνα 52. Συσχέτιση της περιεκτικότητας σε SiO₂ (% κ.β.) με την παράμετρο Y (%).

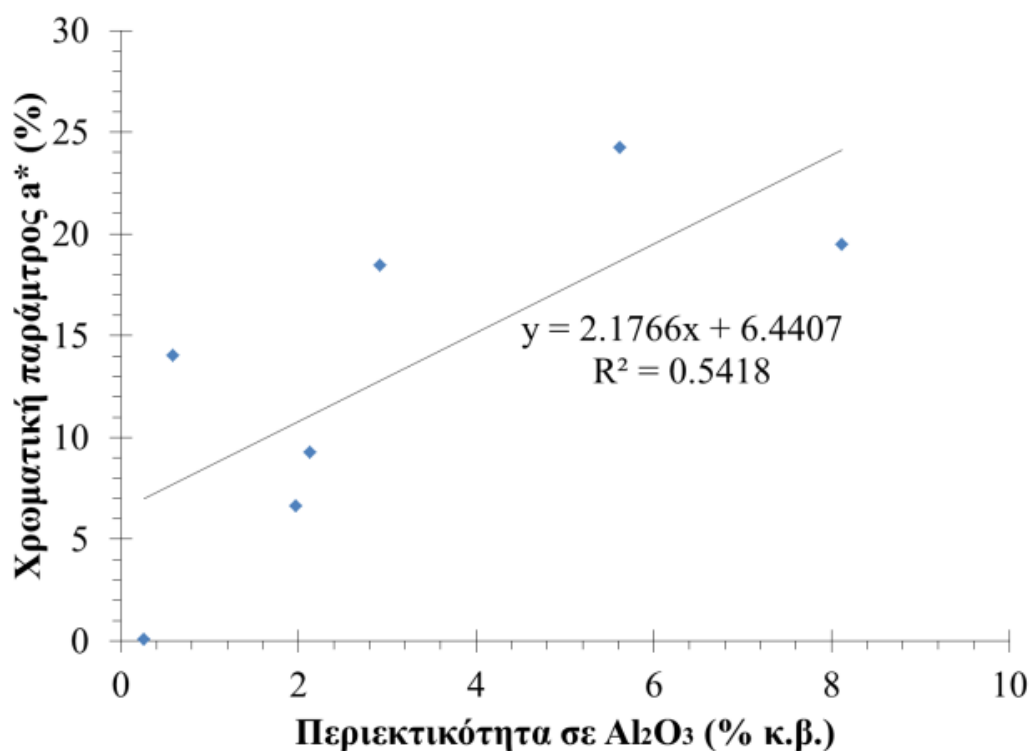
Η χρωματική παράμετρος a^* παίρνει μόνο θετικές τιμές στα δείγματα, επομένως κινείται μόνο προς τις κόκκινες αποχρώσεις ($+a^*$). Παρουσιάζει ισχυρή αρνητική συσχέτιση με το MnO (Εικ. 53) με συντελεστή συσχέτισης R^2 0,9518 δηλαδή όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα του δείγματος σε MnO μειώνεται η τιμή της χρωματικής παραμέτρου του κόκκινου. Η παράμετρος a^* παρουσιάζει ισχυρή θετική συσχέτιση με το CaO (Εικ. 54) με συντελεστή R^2 0,6951, αρκετά ισχυρή θετική συσχέτιση με το Al_2O_3 (Εικ. 55) με συντελεστή συσχέτισης R^2 0,5418 και μια τάση θετικής συσχέτισης με το SiO_2 (Εικ. 56) με συντελεστή συσχέτισης R^2 0,4384, όσο αυξάνεται δηλαδή η περιεκτικότητα των στοιχείων αυτών στο εξεταζόμενο δείγμα, τόσο πιο κόκκινο γίνεται το χρώμα του. Τα στοιχεία TiO_2 , MgO , K_2O , Fe_2O_3 και Na_2O δεν παρουσιάζουν καμία συσχέτιση με τον χρωματικό παράγοντα a^* .



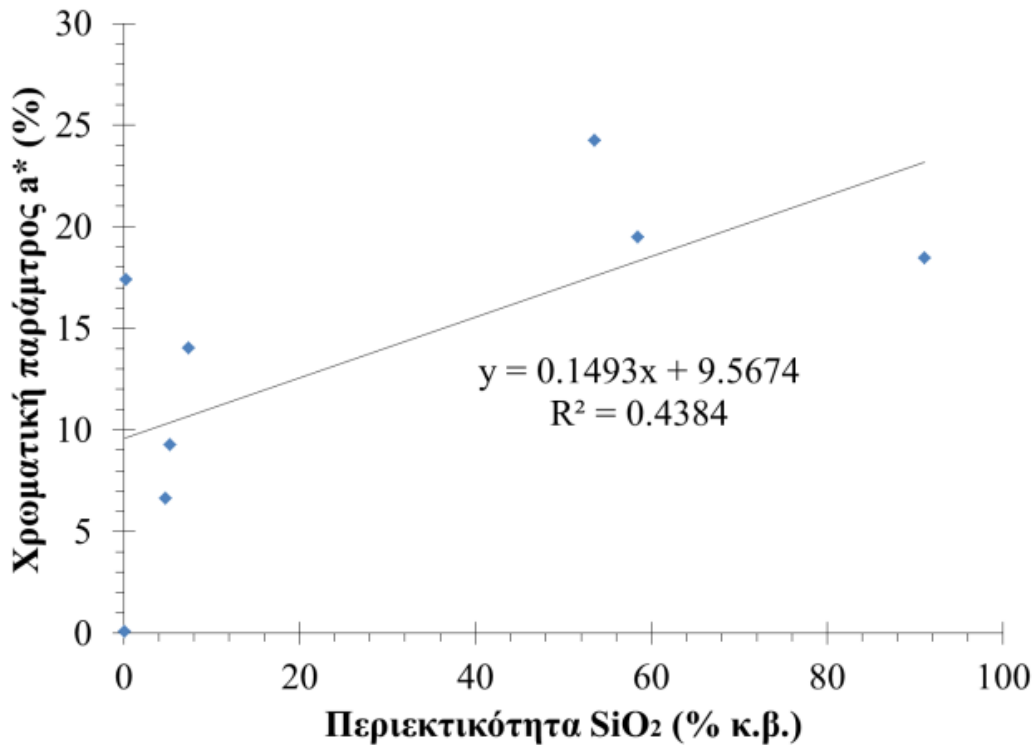
Εικόνα 53. Συσχέτιση της παραμέτρου a^* (%) με την περιεκτικότητα σε MnO (% κ.β.)



Εικόνα 54. Συσχέτιση της παραμέτρου a^* (%) με την περιεκτικότητα σε CaO (% κ.β.)

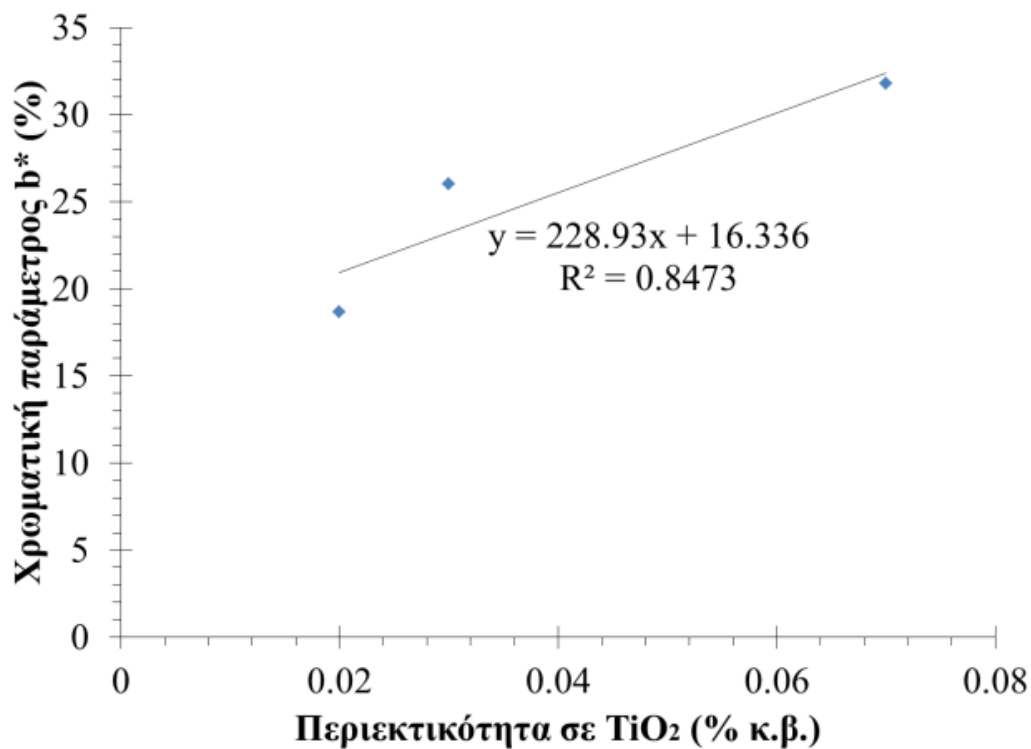


Εικόνα 55. Συσχέτιση της παραμέτρου a^* (%) με την περιεκτικότητα σε Al_2O_3 (% κ.β.)

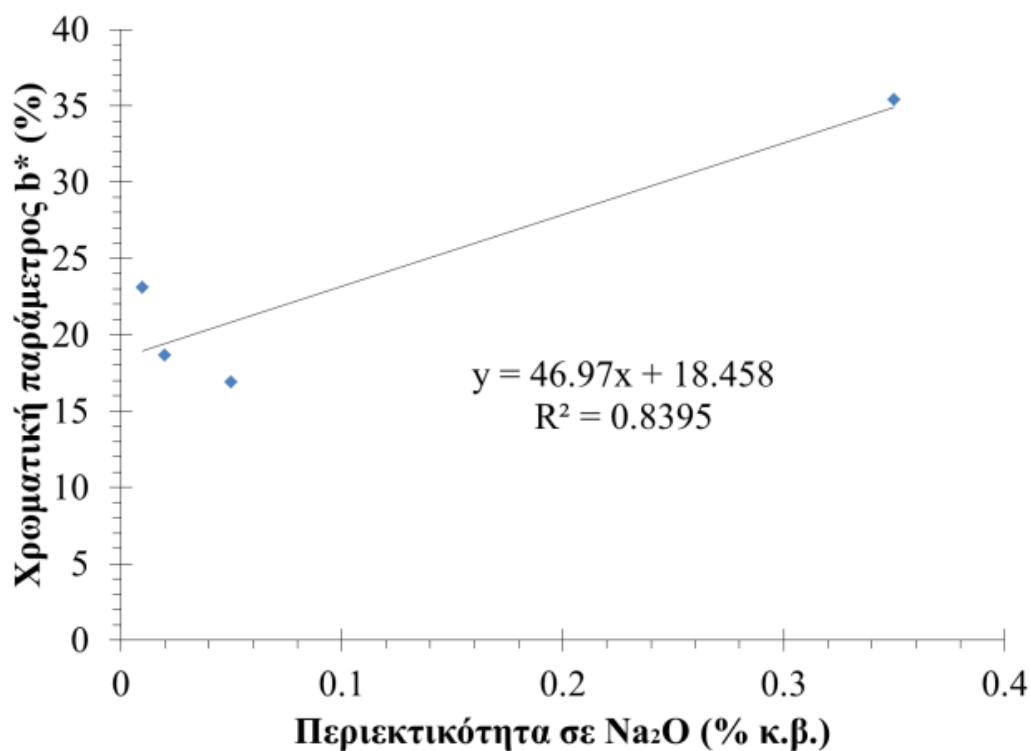


Εικόνα 56. Συσχέτιση της παραμέτρου a^* (%) με την περιεκτικότητα σε SiO_2 (% κ.β.)

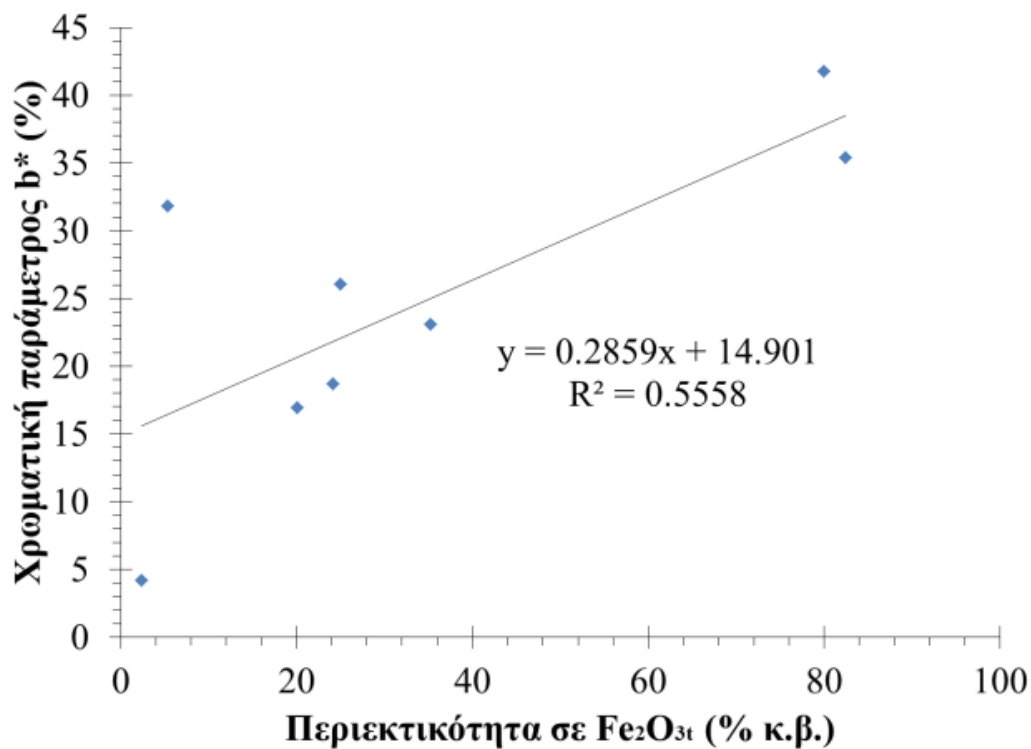
Η χρωματική παράμετρος b^* παίρνει μόνο θετικές τιμές στα δείγματα, επομένως κινείται μόνο προς τις κίτρινες αποχρώσεις ($+b^*$). Παρουσιάζει ισχυρή θετική συσχέτιση με το TiO_2 (Εικ. 57) με συντελεστή συσχέτισης R^2 0,8473, ενώ παρουσιάζει αρκετά ισχυρή θετική συσχέτιση με το Fe_2O_3 (Εικ. 59) και το K_2O (Εικ. 60) με συντελεστές συσχέτισης R^2 0,5558 και 0,5025 αντίστοιχα, δηλαδή με αύξηση της περιεκτικότητας στα στοιχεία αυτά αυξάνεται η τιμή της χρωματικής παραμέτρου $+b^*$ και το δείγμα γίνεται πιο κίτρινο. Η χρωματική παράμετρος $+b^*$ παρουσιάζει αρκετά ισχυρή αρνητική συσχέτιση με το MgO (Εικ. 61) με συντελεστή συσχέτισης R^2 0,5362 και ισχυρή αρνητική συσχέτιση με το MnO (Εικ. 62) με συντελεστή συσχέτισης R^2 0,671, δηλαδή όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα του δείγματος σε MgO και MnO μειώνεται η τιμή της χρωματικής παραμέτρου $+b^*$. Η χρωματική παράμετρος b^* σε σύγκριση με το Na_2O , παρόλο που δείχνει πολύ υψηλό συντελεστή συσχέτισης, δεν μπορεί να ληφθεί υπόψη εξαιτίας της κατανομής που παρουσιάζουν οι τιμές στο διάγραμμα και επηρεάζουν την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων (Εικ. 58). Τα στοιχεία SiO_2 , Al_2O_3 , CaO δεν παρουσιάζουν καμία συσχέτιση με τον χρωματικό παράγοντα $+b^*$.



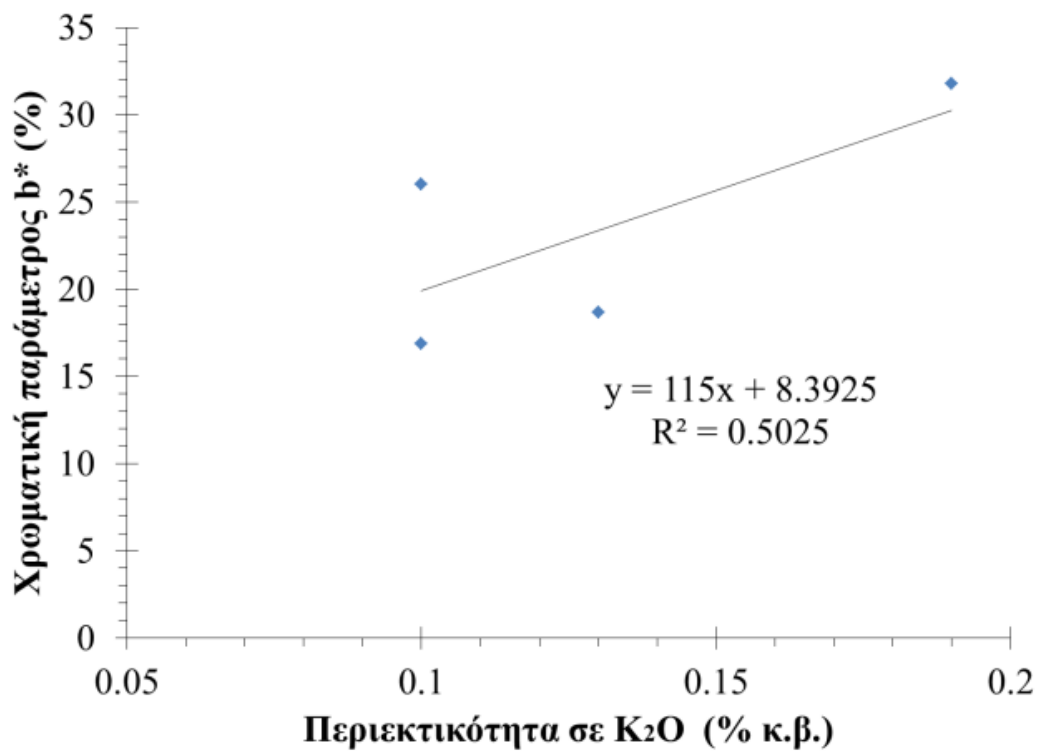
Εικόνα 57. Συσχέτιση της παραμέτρου b^* (%) με την περιεκτικότητα σε TiO_2 (% κ.β.)



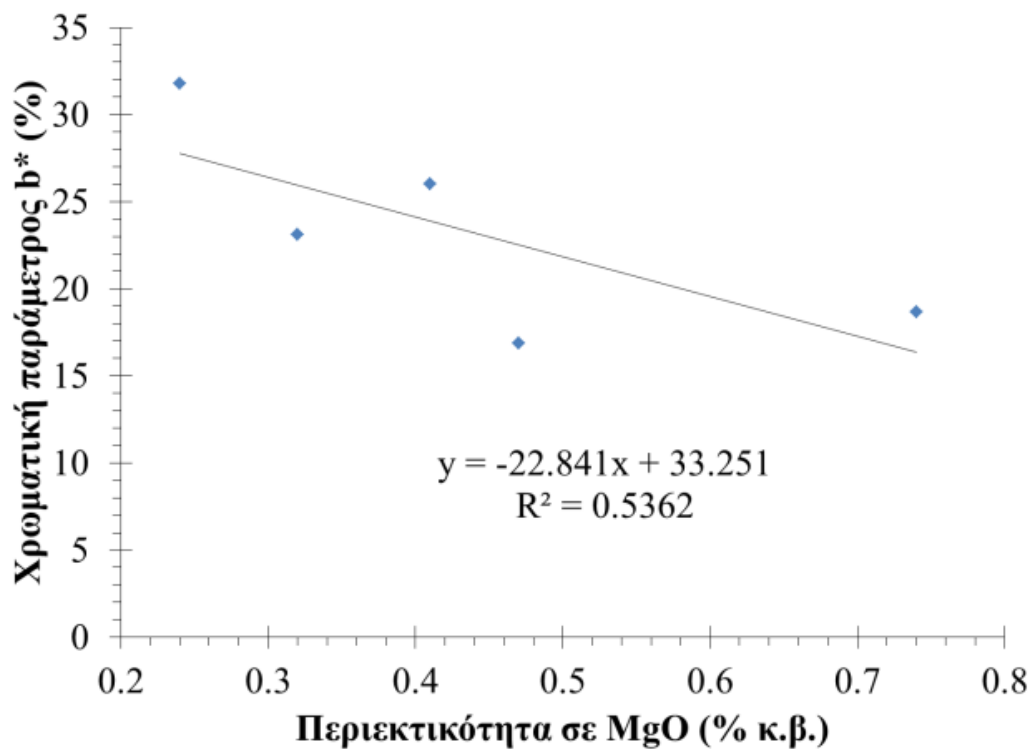
Εικόνα 58. Συσχέτιση της παραμέτρου b^* (%) με την περιεκτικότητα σε και Na_2O (% κ.β.)



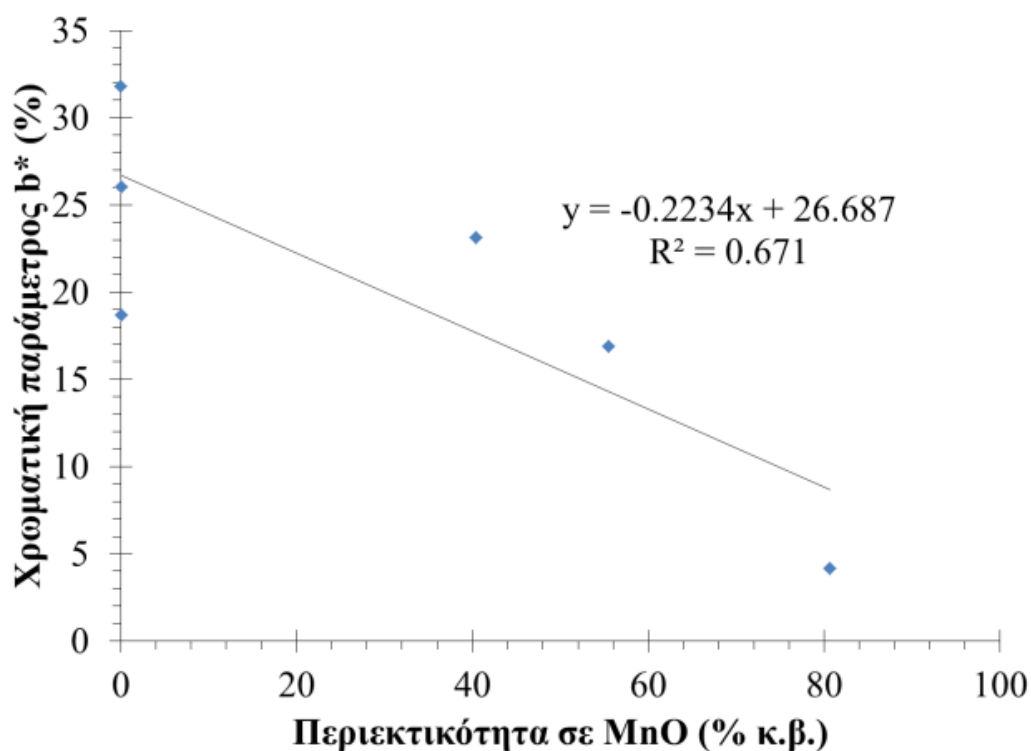
Εικόνα 59. Συσχέτιση της παραμέτρου b^* (%) με την περιεκτικότητα σε Fe_2O_{3t} (% κ.β.).



Εικόνα 60. Συσχέτιση της παραμέτρου b^* (%) με την περιεκτικότητα σε K_2O (% κ.β.).



Εικόνα 61. Συσχέτιση της παραμέτρου b^* (%) με την περιεκτικότητα σε MgO (% κ.β.).



Εικόνα 62. Συσχέτιση της παραμέτρου b^* (%) με την περιεκτικότητα σε MnO (% κ.β.).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνολικά οκτώ δείγματα χρωστικών ουσιών από την Κύπρο που ανήκουν στις ώχρες και ούμβρες συλλέχθηκαν μετά από λεπτομερή υπαίθρια έρευνα προκειμένου να γίνουν ορυκτολογικές και χημικές αναλύσεις και μετρήσεις των χρωματικών τους παραμέτρων.

Από την ορυκτολογική μελέτη διαπιστώθηκε ότι:

- Οι ώχρες αποτελούνται κυρίως από γκαιτίτη. Το δείγμα 1 αποτελείται από γκαιτίτη (74% κ.β.) και σιδηροπυρίτη (26% κ.β.) με τον γκαιτίτη να αποτελεί τη κύρια χρωστική του.
- Το δείγμα 2 αποτελείται από μαγγανίτη (40% κ.β.), γκαιτίτη (20% κ.β.), θοδοροκίτης (16% κ.β.), αργιλικά ορυκτά (8% κ.β.), γρουτίτη (3% κ.β.) και άμορφο υλικό (13% κ.β.) με τα ορυκτά μαγγανίτης, θοδοροκίτης, γρουτίτης και γκαιτίτης να αποτελούν τις χρωστικές του.
- Το δείγμα 3 αποτελείται από κυρίως από μαγγανίτη (46% κ.β.) και γκαιτίτη (35% κ.β.), ενώ σε μικρότερο ποσοστό συμμετέχουν αργιλικά ορυκτά (8% κ.β.) και άμορφο υλικό (11% κ.β.), με τα ορυκτά μαγγανίτης και γκαιτίτης να αποτελούν τις χρωστικές του.
- Το δείγμα 4 αποτελείται από μαγγανίτη (52% κ.β.), πυρολουσίτη (23% κ.β.), βουσίτη (2% κ.β.) και άμορφο υλικό (23% κ.β.), με τα ορυκτά μαγγανίτης, πυρολουσίτης και βουσίτης να αποτελούν τις χρωστικές του.
- Το δείγμα 5 αποτελείται κυρίως από γκαιτίτη (92% κ.β.), ενώ σε μικρότερα ποσοστά συμμετέχουν χαλαζίας (5% κ.β.) και πλαγιόκλαστα (3% κ.β.). Από τις ορυκτολογικές φάσεις που αναγνωρίστηκαν ο γκαιτίτης αποτελεί τη χρωστική του δείγματος.
- Το δείγμα 6 αποτελείται από χαλαζία (42% κ.β.), αιματίτη (25% κ.β.), ασβεσίτη (15% κ.β.), μαρμαρυγίες (1% κ.β.), αργιλικά ορυκτά (1% κ.β.) και άμορφο υλικό (16% κ.β.). Από τις ορυκτολογικές φάσεις που αναγνωρίστηκαν ο αιματίτης αποτελεί τη χρωστική του δείγματος.
- Το δείγμα 7 αποτελείται από χαλαζία (40% κ.β.), αιματίτη (24% κ.β.), αργιλικά ορυκτά (17% κ.β.), ασβεσίτη (4% κ.β.), μαρμαρυγίες (1% κ.β.), και άμορφο υλικό (14% κ.β.), με τον αιματίτη να αποτελεί τη χρωστική του.
- Το δείγμα 8 αποτελείται κυρίως από χαλαζία (85% κ.β.), ενώ συμμετέχουν σε μικρότερο ποσοστά κατά φθίνουσα σειρά άμορφο υλικό (8% κ.β.), αιματίτης (5% κ.β.) και μαρμαρυγίες (2% κ.β.). Από τις ορυκτολογικές φάσεις που αναγνωρίστηκαν ο αιματίτης αποτελεί τη χρωστική του δείγματος.

Το μακροσκοπικό χρώμα των δειγμάτων συμφωνεί με την αντίστοιχη ορυκτολογική σύσταση. Συγκεκριμένα, τα δείγματα 1 και 5 που έχουν σε μεγάλη περιεκτικότητα γκαιτίτη

έχουν κίτρινο-καστανοκίτρινο χρώμα. Τα δείγματα 2 και 3 μακροσκοπικά έχουν σκούρο καστανό χρώμα, όμως είναι εμφανή μια πιο σκούρα χροιά στο δείγμα 2 η οποία συνδέεται με την ορυκτολογική τους διαφοροποίηση, καθώς περιέχει σε μεγαλύτερο ποσοστό οξειδία του μαγγανίου, και σε μικρότερο ποσοστό από το δείγμα 3 γκαιτίτη. Το δείγμα 4 αποτελείται αποκλειστικά από οξειδία-υδροξείδια του μαγγανίου που του αποδίδουν το μαύρο χρώμα. Τέλος, τα δείγματα 6, 7 και 8 μακροσκοπικά έχουν κόκκινο χρώμα που προέρχεται από τον αιματίτη. Ιδιαίτερα στο δείγμα 8 φαίνεται ότι ακόμη και μικρή περιεκτικότητα αιματίτη στο δείγμα (5%) είναι ικανή να αποδώσει χρώμα.

Η αξιολόγηση και συσχέτιση των χρωματικών παραμέτρων με την ορυκτολογική σύσταση των εξεταζόμενων δειγμάτων, έδειξε ότι:

- Το σύνολο των μη μεταλλικών ορυκτών επηρεάζει σημαντικά τις χρωματικές παραμέτρους της λευκότητας και λαμπρότητας του χρώματος (Y , L^*) δείχνοντας ισχυρή θετική τάση με τον συντελεστή συσχέτισης R^2 να λαμβάνει τιμές 0,7723 και 0,7253, αντίστοιχα. Όσο δηλαδή αυξάνεται η περιεκτικότητα σε μη μεταλλικά ορυκτά, τόσο λευκότερο και λαμπρότερο είναι το χρώμα του εξεταζόμενου δείγματος.
- Τη σημαντικότερη επίδραση στις παραμέτρους της λευκότητας και λαμπρότητας του χρώματος (Y , L^*) από τα μη μεταλλικά ορυκτά που περιέχονται στα εξεταζόμενα δείγματα διαπιστώθηκε ότι την έχει ο χαλαζίας. Συγκεκριμένα, ο χαλαζίας εμφανίζει πολύ ισχυρή θετική συσχέτιση με τις παραμέτρους Y και L^* με συντελεστές συσχέτισης R^2 0,9225 και 0,9415, αντίστοιχα.
- Ο γκαιτίτης επηρεάζει σημαντικά όλες τις χρωματικές παραμέτρους, δείχνοντας αρκετά ισχυρή θετική συσχέτιση με τη λευκότητα και λαμπρότητα του χρώματος (Y και L^*). Επίσης, παρουσιάζει ισχυρή συσχέτιση με την απόχρωση (a^* και b^*) με τον συντελεστή συσχέτισης R^2 να λαμβάνει τιμές 0,7532 και 0,7998, αντίστοιχα. Όσο δηλαδή αυξάνεται η περιεκτικότητα σε γκαιτίτη, τόσο αυξάνεται η τιμή των χρωματικών παραμέτρων Y , L^* , a^* και b^* . Οι παράμετροι a^* και b^* λαμβάνουν μόνο θετικές τιμές, δηλαδή κινούνται η μεν τιμή του a^* στην περιοχή των κόκκινων αποχρώσεων η δε τιμή του b^* στην περιοχή των κίτρινων φανερώνοντας τον σαφή επηρεασμό του χρώματος από τον γκαιτίτη.
- Ο αιματίτης παρόλο που θα ήταν αναμενόμενο να επηρεάζει τις χρωματικές παραμέτρους, δεν κατέστη δυνατόν να δώσει αξιόπιστους συσχετισμούς. Παρόλα αυτά, φαίνεται να υπάρχει μία τάση θετικού επηρεασμού των τιμών της παραμέτρου a^* προς τις τιμές που αντιστοιχούν στις κόκκινες αποχρώσεις.
- Τα Μn-ούχα ορυκτά εμφανίζουν πολύ ισχυρή αρνητική συσχέτιση με τις παραμέτρους της

λευκότητας και λαμπρότητας του χρώματος (Y , L^*) με συντελεστές συσχέτισης R^2 0,9591 και 0,94, αντίστοιχα. Δηλαδή όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε Mn-ούχα ορυκτά, τόσο μειώνεται η λευκότητα και λαμπρότητα του χρώματος. Επίσης, τα Mn-ούχα ορυκτά παρουσιάζουν ισχυρή αρνητική συσχέτιση με τις χρωματικές παραμέτρους a^* και b^* με το συντελεστή συσχέτισης R^2 να λαμβάνει τιμές 0,7515 και 0,7887, αντίστοιχα. Δηλαδή η παρουσία Mn-ούχων ορυκτών οδηγεί τις χρωματικές παραμέτρους σε τιμές που αντιστοιχούν σε πολύ σκούρα χρώματα.

Από την αξιολόγηση και συσχέτιση των χρωματικών παραμέτρων και της χημικής σύστασης των εξεταζόμενων δειγμάτων, προκύπτει ότι:

- Οι χρωματικές παράμετροι L^* και Y παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά και δείχνουν πολύ ισχυρή αρνητική συσχέτιση με το MnO με συντελεστές συσχέτισης R^2 0,9042 και 0,8382, αντίστοιχα, δηλαδή όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα του MnO η λευκότητα και η λαμπρότητα του χρώματος μειώνονται. Η παράμετρος Y παρουσιάζει ισχυρή θετική συσχέτιση με το TiO_2 με συντελεστή R^2 0,9492 και αρκετά ισχυρή συσχέτιση με το K_2O με συντελεστές R^2 0,5303 και 0,6302, αντίστοιχα. Επίσης, παρατηρείται μια θετική τάση συσχέτισης με το SiO_2 με συντελεστές R^2 0,3861 και 0,3902 για L^* και Y , αντίστοιχα. Με αύξηση της περιεκτικότητας των οξειδίων αυτών στα εξεταζόμενα δείγματα προκύπτει βελτίωση τόσο στη λευκότητα, όσο και στη λαμπρότητα του δείγματος. Οι χρωματικοί παράγοντες L^* και Y , δεν παρουσιάζουν καμία συσχέτιση με τα στοιχεία Al_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O και Fe_2O_{3t} .
- Η χρωματική παράμετρος a^* παρουσιάζει ισχυρή αρνητική συσχέτιση με το MnO με συντελεστή συσχέτισης R^2 0,9518 δηλαδή όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα του δείγματος σε MnO μειώνεται η τιμή της χρωματικής παραμέτρου του κόκκινου στο δείγμα. Επίσης, παρουσιάζει ισχυρή θετική συσχέτιση με το CaO με συντελεστή συσχέτισης R^2 0,6951, αρκετά ισχυρή θετική συσχέτιση με το Al_2O_3 με συντελεστή συσχέτισης R^2 0,5418 και μια τάση θετικής συσχέτισης με το SiO_2 με συντελεστή συσχέτισης R^2 0,4384. Όσο δηλαδή αυξάνεται η περιεκτικότητα των στοιχείων αυτών στα εξεταζόμενα δείγματα, τόσο πιο κόκκινο γίνεται το χρώμα του. Η χρωματική παράμετρος a^* δεν παρουσιάζει καμία συσχέτιση με τα στοιχεία TiO_2 , MgO , K_2O , Fe_2O_{3t} και Na_2O .
- Η χρωματική παράμετρος b^* παρουσιάζει ισχυρή θετική συσχέτιση με το στοιχείο TiO_2 με συντελεστή συσχέτισης R^2 0,8473, ενώ παρουσιάζει αρκετά ισχυρή θετική συσχέτιση με το Fe_2O_{3t} και το K_2O με συντελεστές συσχέτισης R^2 0,5558 και 0,5025 αντίστοιχα. Επομένως, η αύξηση της περιεκτικότητας των παραπάνω στοιχείων προκαλεί μετατόπιση της χρωματικής παραμέτρου b^* προς το πιο κίτρινο. Η χρωματική παράμετρος b^*

παρουσιάζει αρκετά ισχυρή αρνητική συσχέτιση με το MgO με συντελεστή συσχέτισης R^2 0,5362 και ισχυρή αρνητική συσχέτιση με το MnO με συντελεστή συσχέτισης R^2 0,671, δηλαδή όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα του δείγματος σε MgO και MnO η τιμή του b^* μετατοπίζεται σε πιο σκούρα χρώματα. Η χρωματική παράμετρος b^* δεν παρουσιάζει καμία συσχέτιση με τα στοιχεία SiO_2 , Al_2O_3 και CaO .

Τέλος, από τη μετατροπή των χρωματικών παραμέτρων που προέκυψαν σύμφωνα με τα συστήματα CIE (1931,1964) και CIELAB (1976) στην κλίμακα ταξινόμησης χρώματος κατά Munsell, προέκυψε ότι τα εξεταζόμενα δείγματα κωδικοποιούνται ως εξής:

- Δείγμα 1: 8.42YR 5,21/7,34
- Δείγμα 2: 1,00Y 3,14/3,05
- Δείγμα 3: 0,35Y 3,44/4,08
- Δείγμα 4: 0,21GY 2,87/1,06
- Δείγμα 5: 9,19YR 4,41/6,13
- Δείγμα 6: 2,93YR 4,64/6,31
- Δείγμα 7: 3,11YR 4,67/4,79 και
- Δείγμα 8: 6,67YR 5,33/6,25.

Η οπτική απεικόνιση των εξεταζόμενων δειγμάτων στην κλίμακα Munsell βρίσκεται σε πολύ καλή συμφωνία με την μακροσκοπική τους εικόνα.

Τέλος, όσον αφορά την οικονομική διάσταση των χρωστικών ουσιών που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία πρέπει να αναφερθεί ότι οι ώχρες από την περιοχή της Σκουριώτισσας (Δείγμα 1) και οι ούμβρες από την περιοχή του Μαθιάτη (Δείγμα 3) έχουν υποστεί οικονομική εκμετάλλευση από την αρχαιότητα μέχρι τους σύγχρονους χρόνους. Τα υπόλοιπα δείγματα χρωστικών ($\Delta 2$, $\Delta 4$, $\Delta 5$ - $\Delta 8$) μελετώνται για πρώτη φορά και φαίνεται για ορισμένα από αυτά, τόσο από την υπαίθρια έρευνα, όσο και από τα ορυκτολογικά, χημικά και χρωματικά χαρακτηριστικά τους ότι θα μπορούσαν να τύχουν περαιτέρω συστηματικής μελέτης για την αξιολόγηση της δυνατότητας εκμετάλλευσής τους. Από αυτά τα δείγματα ιδιαίτερο ενδιαφέρον εμφανίζουν οι ούμβρες κοντά στο χωρίο Λυσός της Πάφου (Δείγμα 2).

Τονίζεται, ότι η ορυκτολογική και χημική σύσταση επηρεάζουν άμεσα τις χρωματικές παραμέτρους και είναι απαραίτητη η γνώση τους για πλήρη απόδοση του χρώματος και των ιδιοτήτων μιας χρωστικής και επομένως την αξιολόγηση της οικονομικής αξίας αυτής.

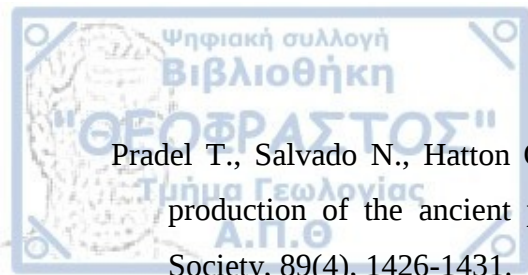


Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

- ASTM D1925 (1970). Standard Test Method for Yellowness Index of Plastics.
- ASTM E313 (2010). Standard Practice for Calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates.
- Boyle J.F. (1984). The origin and geochemistry of the metalliferous sediments of the Troodos massif, Cyprus, Unpublished PhD. Thesis. Univ. Edinburgh.
- Commission International de l'Eclairage (CIE) (1931). The CIE-XYZ Color Coordinate System.
- Commission International de l'Eclairage (CIE) (1964). CIE- 1964 Color Standard.
- Commission International de l'Eclairage (CIE) (1976). CIE 1976 L*A*B* Colour Space
- Commission International de l'Eclairage (CIE) (1986). CIE S002-1986. CIE standard colorimetric observers.
- Clube T.M. and Robertson A.H.F. (1986). The palaeorotation of the Troodos microplate, Cyprus, in the Late Mesozoic Early Cenozoic plate tectonic framework of the Eastern Mediterranean. *Surveys in Geophysics*, 8, 375-437.
- Clube T.M., Creer K.M., and Robertson A.H.F. (1985). The palaeorotation of the Troodos microplate. *Nature*, 63, 522-525.
- Constantinou G. (1972). The geology and genesis of the sulphide ores of Cyprus. Ph.D. thesis, Imperial College, University of London.
- Constantinou G. and Govett G.J. (1972). Genesis of sulphide deposits, ochre and umber of Cyprus. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*. 81, B34-46.
- Corliss J.B. (1971). The Origin of Metal-Bearing Submarine Hydrothermal Solutions. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 76(33), 8128-8138.
- Deer W.A., Howie R.A. and Zussman J. (1992). *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*, 2nd edn. Longman, London, 696 p.
- Ducloz C. (1964). Notes on the Geology of the Kyrenia Range. Cyprus Geological Survey Department, Annual Report for 1963, Nicosia.
- Ducloz C. (1965). Revision of Pliocene and Quaternary Stratigraphy of the Central Mesaoria. Cyprus Geological Survey Department, Annual Report for 1964, Nicosia.
- Eichholz D. (1965). *Theophrastus, De Lapidibus*. (D. E. Eichholz, Επιμ.) Oxford: Clarendon Press.
- Elderfield H., Gas, I.G., Hammond A., and Bear L.M. (1972). The Origin of Ferromanganese

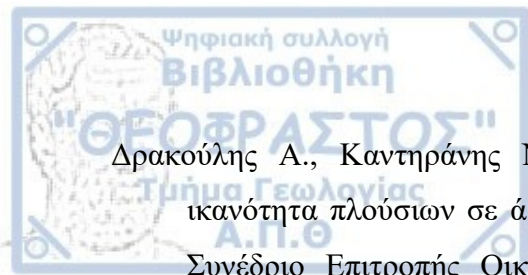
- Sediments Associated with the Troodos Massif of Cyprus. *Sedimentology*, 19(1-2), 1-19.
- Goffar Z. (2007). *Archaeological Chemistry* (2nd ed.). New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Guinier A. (1963). *X-Ray diffraction in crystals, imperfect crystals and amorphous bodies*. Freeman H.W. and Company, San Francisco, 378 p.
- Hatton G.D., Shortland, A.J., and Tite M.S. (2008). The production technology of Egyptian blue and green frits from second millennium BC Egypt and Mesopotamia. *Journal of Archaeological Science*, 35(6), 1591-1604.
- Hernaz A., Gavira-Vallejo J.M., Ruiz-Lopez J.F., Martin S., Maroto-Valiente A., Balbin-Behrmann R., Menéndez M., Alcolea-González J.J. (2012). Spectroscopy of Palaeolithic rock paintings from the Tito Bustillo and El Buxu Caves, Asturias, Spain. *Journal of Raman Spectroscopy*, 43(11), 1644-1650.
- Hradil D., Grygar T., Hradilová J., and Bezdička P. (2003). Clay and iron oxide pigments in the history of painting. *Applied Clay Science*, 22(5), 223-236.
- Kantiranis N., Chrissafis C., Filippidis A., and Paraskevopoulos K. (2006). Thermal distinction of HEU-type mineral phases contained in Greek zeolite-rich volcanoclastic tuffs. *European Journal of Mineralogy*, 18(4), 509-516.
- Kantiranis N., Tsirambides A., Filippidis A., and Christaras B. (1999). Technological characteristics of the calcined limestone from Agios Panteleimonas, Macedonia, Greece. *Materials and Structures*, 32, 546-551.
- Lauer J.P. and Barry P. (1976). Etude paleomagnetique des ophiolites de Chypre. *C. R. Acad. Sci.*, (265), 1365-1368.
- Mantis M. (1970). Upper Cretaceous-Tertiary Foraminiferal Zones in Cyprus. *Cyprus Research Centre, Epithris* 3, 227-241.
- Mastrotheodoros G., Beltsios K.G., and Zacharias N. (2010). Assessment of the production of antiquity pigments through experimental treatment of ochres and other iron based precursors. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 10(1), 37-59.
- McCallum J.E. (1989). *Sedimentation and tectonics of the Plio-Pleistocene of Cyprus*. Unpublished Ph.D. thesis. University of Edinburgh.
- Moore E.M. and Vine F.J. (1971). The Troodos massif, Cyprus and other ophiolites as oceanic crust: evaluation and implications. *Phil Trans Roy Soc, A*(268), 443-446.
- Pliny (1857). *The natural history of Pliny* (v. 6). (J. Bostock, & H. T. Riley., Μεταφρ.) London: H. G. Bohn.
- Poole A. and Robertson A.H.F. (1991). Quaternary uplift and sea-level change at an active plate boundary, Cyprus. *Journal of the Geological Society*, 148(5), 909-921.



- Pradel T., Salvado N., Hatton G.D., and Tite M.S. (2006). Physical processes involved in production of the ancient pigment, Egyptian blue. *Journal of the American Ceramic Society*, 89(4), 1426-1431.
- Robertson A.H.F. (1975). Cyprus umbers: basalt-sediment relationships on a Mesozoic ocean ridge. *Journal of Geological Society of London*, 131, 511-531.
- Robertson A.H.F. (1977). The Kannaviou Formation, Cyprus: volcanoclastic sedimentation of a probable late Cretaceous volcanic arc. *Journal of the Geological Society*, 134, 269-292.
- Robertson A.H.F. (1990). Tectonic evolution of Cyprus. *Proceedings of the Symposium "Troodos 1987"* (pp. 235-253). Nicosia: Cyprus Geological Survey Department.
- Robertson A.H.F. (1998). Tectonic significance of the Eratosthenes Seamount: a continental fragment in the process of collision with a subduction zone in the eastern mediterranean (Ocean drilling program leg 160). *Tectonophysics*, 63-82.
- Robertson A.H.F. (2000). Tectonic evolution of Cyprus in its Easternmost Mediterranean setting. *Proceedings 3rd International Conference on the Geology of the Eastern Mediterranean* (pp. 11-44). Nicosia: Cyprus Geological Survey Department.
- Robertson A.H.F. and Hudson J.D. (1973). Cyprus umbers: Chemical precipitates on a Tethyan ocean ridge. *Earth Planetary Science Letters*, 18, 93-101.
- Robertson A.H.F. and Hudson J.D. (1974). Pelagic sediments in the Cretaceous and Tertiary history of the Troodos Massif, Cyprus. *International Association of Sedimentologists*, 403-436.
- Schildgen T.F., Cosentino D., Bookhagen B., Niedermann S., Yildirim C., Echtler H., Wittmann H. and Strecker M.R. (2012). Multi-phased uplift of the southern margin of the Central Anatolian plateau, Turkey: A record of tectonic and upper mantle processes. *Earth and Planetary Science Letters*, 317, 85-95.
- Tite M.S., Bimson M. and Cowell M.R. (1984). Technological examination of Egyptian blue. In: Lambert, J.B. (Ed.), *Archaeological Chemistry III*. American Chemical Society *Advances in Chemistry Series No. 205*, pp. 215-242. Washington, DC.
- Vitruvius (1914). *Ten books on Architecture*. (M. Hicky Morgan, Μεταφρ.) Cambridge: Harvard University Press.

Ελληνική

- Αλεξοπούλου-Αγοράνου Α. και Χρυσουλάκης Γ. (1993). *Θετικές Επιστήμες και Έργα Τέχνης*. Αθήνα: Εκδόσεις Γκόνι.
- Βιτρούβιος (2010). *Περί Αρχιτεκτονικής Βιβλία I-V, VI-X*. (Λέφας, Μεταφρ.) Αθήνα.



Δρακούλης Α., Καντηράνης Ν., Φιλιππίδης Α. και Στεργίου Α. (2005). Δεσμευτική ικανότητα πλούσιων σε άμορφες φάσεις βιομηχανικών υλικών της νήσου Μήλου. 2ο Συνέδριο Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας & Γεωχημείας ΕΓΕ, Θεσσαλονίκη, 55-63.

Καντηράνης Ν., Στεργίου Χ.Α., Φιλιππίδης Α. και Δρακούλης Α. (2004). Υπολογισμός του ποσοστού του άμορφου υλικού με τη χρήση περιθλασιογραμμάτων ακτίνων-Χ. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας., 36(1), 446-453.

Κωνσταντίνου Γ. και Παναγίδης Ι. (2013). Κύπρος και Γεωλογία: Επιστήμη - Περιβάλλον - Πολιτισμός. Λευκωσία, Κύπρος: Πολιτιστικό Ίδρυμα Τραπεζής Κύπρου.

Μουντράκης Δ.Μ. (2010). Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.

Ορφανάκος Β.Κ. (2004). Χρωματομετρία- Βασικές Αρχές. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε.

Πλίνιος (1994). Περί της αρχαίας ελληνικής ζωγραφικής, 35ο βιβλίο της Φυσικής Ιστορίας. (Α. Λεβίδης, Επιμ., & Τ. Ρούσσος, Μεταφρ.) Αθήνα.

Διαδικτυακές Πηγές

Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης:

http://www.moa.gov.cy/moa/gsd/gsd.nsf/dmlindex_gr/dmlindex_gr?OpenDocument

Εφαρμογές

WallkillColor CMC18. Munsell Conversion Software for PC (v. 12.18.5f, ©2010).