



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΑΝΔΡΕΑΣ ΧΑΤΖΗΝΑΣΤΑΣΗ

**ΟΙ ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ: ΣΥΣΤΑΣΗ, ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ
ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2021





ΑΝΔΡΕΑΣ Ν. ΧΑΤΖΗΑΝΑΣΤΑΣΗ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ , ΑΕΜ: 5328

ΟΙ ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ: ΣΥΣΤΑΣΗ, ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,
Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων

Αν. Καθηγητής, Καντηράνης Νικόλαος



© Ανδρέας Ν. Χατζηαναστάση, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΟΙ ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ: ΣΥΣΤΑΣΗ, ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ – *Διπλωματική Εργασία*

© Andreas N. Chatzianastasi, School of Geology, Dept. of Mineralogy-Petrology-Economic Geology, 2021

All rights reserved.

NATURAL PIGMENTS OF CYPRUS: COMPOSITION, FORMATION AND CHARACTERISTICS – *Bachelor Thesis*

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.

Εικόνα Εξωφύλλου: Εγκαταστάσεις επεξεργασίας ούμπρας της εταιρείας UNITED UMBER (πηγή: <http://www.unitedumber.com>)

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	v
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	vi
ABSTRACT.....	vi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1 Χρωστικές ουσίες	1
1.2 Ιδιότητες χρωστικών ουσιών.....	1
1.3 Κατηγοριοποίηση χρωστικών ουσιών.....	3
1.3.1 Συνθετικές λευκές χρωστικές.....	4
1.3.2 Φυσικές λευκές χρωστικές.....	5
1.3.3 Έγχρωμες χρωστικές.....	6
1.3.3.1 Συνθετικές έγχρωμες χρωστικές.....	7
1.3.3.2 Φυσικές έγχρωμες χρωστικές.....	9
1.3.4 Μαύρες χρωστικές.....	12
1.4 Χρήσεις των χρωστικών στον ευρύτερο βιομηχανικό τομέα.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Η ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ	
2.1 Γενικά στοιχεία.....	18
2.2 Η γεωτεκτονική εξέλιξη της Κύπρου.....	19
2.3 Οι γεωλογικές ζώνες της Κύπρου.....	21
2.3.1 Η ζώνη του Τροόδους.....	21
2.3.2 Η ζώνη της Κερύνειας.....	24
2.3.2.1 Οι αλλόχθονοι σχηματισμοί.....	25
2.3.2.2 Οι αυτόχθονοι σχηματισμοί.....	26
2.3.3 Η ζώνη ή σύμπλεγμα των Μαμωνίων.....	27
2.3.4 Η αυτόχθονη ιζηματογενής σειρά του Τροόδους.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΟΙ ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ	
3.1 Γενικά στοιχεία.....	33
3.2 Η σύσταση των φυσικών χρωστικών.....	33
3.3 Ο σχηματισμός των φυσικών χρωστικών	36
3.4 Τα χαρακτηριστικά των χρωστικών.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	42
Βιβλιογραφία.....	46



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των προπτυχιακών σπουδών μου στο τμήμα Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών, του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης στην κατεύθυνση Ορυκτολογίας-Πετρολογίας. Το πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας είναι μια εισαγωγή στις χρωστικές και τις χρήσεις τους, στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη περιγραφή της γεωλογίας της Κύπρου, στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται οι φυσικές χρωστικές της Κύπρου και τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια ανακεφαλαίωση της εργασίας και εξαγωγή συμπερασμάτων. Οφείλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της πτυχιακής μου εργασίας Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Νικόλαο Καντηράνη για την ανάθεση της και την καθοδήγηση του προς την ολοκλήρωση της. Θερμές ευχαριστίες οφείλω επίσης στην οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση και στήριξη κατά τα χρόνια φοίτησης μου στο Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.



Η εξόρυξη και η εκμετάλλευση των φυσικών χρωστικών γαιών της Κύπρου είναι γνωστή από την αρχαιότητα. Οι χρωστικές γαίες έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς κατά τους αρχαίους χρόνους για διακόσμηση αγγείων και άλλων καλλιτεχνημάτων. Οι φυσικές χρωστικές γαίες περιλαμβάνουν την ώχρα, την ούμπρα και την πράσινη γη και χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία για την παραγωγή υψηλής ποιότητας χρωμάτων ζωγραφικής. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια παρατηρείται εξάντληση των αποθεμάτων των χρωστικών γαιών στην Κύπρο και έτσι η ορθολογική αξιοποίηση νέων και υφιστάμενων αποθεμάτων κρίνεται αναγκαία για τη βιωσιμότητα της βιομηχανίας των χρωστικών στο νησί.

ABSTRACT

NATURAL PIGMENTS OF CYPRUS: COMPOSITION, FORMATION AND CHARACTERISTICS

Andreas N. Chatzianastasi

The extraction and exploitation of the natural earth pigments of Cyprus has been known since antiquity. Natural earth pigments have been used extensively in ancient times to decorate vases and other artworks. Natural earth pigments include ochre, umber and green earth and are used in industry to produce high quality painting colors. However, the recent years in Cyprus there has been a depletion of natural earth resources, so the rational utilization of new and existing reserves is considered necessary for the viability of the pigment industry of the island.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Χρωστικές ουσίες

Οι χρωστικές είναι χρωματοφόρες λεπτόκοκκες ουσίες που αναμιγνύονται συνήθως με ένα συνδετικό μέσο για να προσδώσουν χρώμα τους σε ένα υπόστρωμα ή σε ένα μίγμα υλικών. Οι χρωστικές είναι εξ'ορισμού αδιάλυτες στον υγρό φορέα, καθώς δεν παρουσιάζουν συναφή χημική σύσταση με το συνδετικό ή το διαλυτικό μέσο και τα υπόλοιπα συστατικά του υποστρώματος ή μίγματος που έρχονται σε άμεση επαφή. Οι φυσικές γαίες όπως η ώχρα εμφανίζονται στη φύση αρκετά καθαρές και δεν χρειάζονται δαπανηρή μεταποίηση για να βγούνε στην αγορά. Ορισμένα ορυκτά που χρησιμεύουν ως χρωστικές περνούν συνήθως από διαδικασία λειοτρίβησης ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό κοκκομετρικό μέγεθος και παράλληλα με τη μέθοδο επιλεκτικής κοσκίνισης αφαιρούνται οι ανεπιθύμητες προσμίξεις που τυχόν υπάρχουν στο υλικό. Μια συνηθισμένη παρεξήγηση που υπάρχει θέλει τις χρωστικές γαίες και τις βαφές να έχουν την ίδια σημασία. Διαφέρουν όμως μεταξύ τους καθώς οι φυσικές βαφές είναι έγχρωμες χρωστικές που μπορούν να διαλυθούν σε ένα υγρό φορέα, να προσκολληθούν σε μια επιφάνεια και να συνδεθούν χημικά μαζί της. Αντίθετα οι χρωστικές γαίες είναι εξ'ορισμού αδιάλυτες στο νερό και προσκολλώνται σε μια επιφάνεια μέσω της χρήσης κάποιου συνδετικού μέσου.

1.2 Ιδιότητες των χρωστικών ουσιών

Οι σημαντικότερες ιδιότητες των χρωστικών που λαμβάνονται υπόψη ανάλογα με τη χρήση τους είναι:

α) Καλυπτική ικανότητα (hiding power), χρωστική ικανότητα (tinting strength), ικανότητα φωτισμού (lightening power)

Η χρωστική ικανότητα είναι ένα μέτρο της ικανότητας μια χρωστικής του κατά πόσον προσδίδει το χρώμα της σε άλλα υλικά. Η καλυπτική ικανότητα μιας χρωστικής είναι ένα μέτρο που αφορά την ελάχιστη ποσότητα χρωστικής που απαιτείται για να επικαλυφθεί ικανοποιητικά ένα υπόστρωμα. Όσο πιο μικρή ποσότητα χρωστικής χρειάζεται για να καλυφθεί μια επιφάνεια τόσο μεγαλύτερη είναι η καλυπτική

ικανότητα της χρωστικής. Η ικανότητα φωτισμού μπορεί να θεωρηθεί ως η χρωστική ικανότητα μιας λευκής χρωστικής, και είναι ένα μέτρο της ικανότητας της να αυξάνει την ανακλαστικότητα ενός απορροφητικού μέσου λόγω της ικανότητας σκέδασης της.

β) Μέγεθος και σχήμα κόκκων (Particle size and shape)

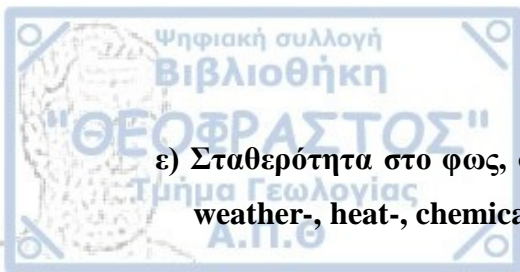
Οι χρωστικές είναι ουσίες που αποτελούνται από σωματίδια (κόκκους). Το μέγεθος και το σχήμα των κόκκων μιας χρωστικής μπορεί να επηρεάσει την καλυπτική και χρωστική της ικανότητα. Διαφορετικά μεγέθη κόκκων μιας χρωστικής μπορούν να προσδώσουν διαφορετικές αποχρώσεις της ίδιας χρωστικής και να σχηματίσουν λείες και τραχείες επιφάνειες. Το μέγεθος και το σχήμα των κόκκων επηρεάζει επίσης και την ικανότητα σκέδασης της χρωστικής. Οι μεγάλοι και τραχείς κόκκοι αυξάνουν την τραχύτητα μιας επιφάνειας και προσδίδουν στην χρωστική διαφάνεια ενώ οι μικροί και στρογγυλοί κόκκοι αυξάνουν το δείκτη διάθλασης και προσδίδουν στην χρωστική αδιαφάνεια. Οι χρωστικές με μικρό μέγεθος κόκκων παρουσιάζουν καλύτερη χρωστική και καλυπτική ικανότητα από χρωστικές με μεγαλύτερο μέγεθος κόκκων.

γ) Ικανότητα σκέδασης (scattering power), διαφάνεια (transparency) και αδιαφάνεια (opacity)

Ο δείκτης διάθλασης ή ικανότητα σκέδασης μιας χρωστικής είναι μια ιδιότητα που καθορίζει τη διαπερατότητα της χρωστικής στην ηλιακή ακτινοβολία, ένα μέτρο δηλαδή της ποσότητας της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται ή προσροφάται. Υψηλός βαθμός καλυπτικής ικανότητας μπορεί να επιτευχθεί όταν ο δείκτης διάθλασης της χρωστικής είναι υψηλός ενώ του διαλυτικού μέσου μικρός. Όσο αυξάνεται η διαφορά των δεικτών διάθλασης χρωστικής και διαλυτικού μέσου τόσο αυξάνεται και η καλυπτική ικανότητα της χρωστικής και αντίστροφα όταν μειώνεται η διαφορά μεταξύ δείκτη διάθλασης χρωστικής και διαλύτη μειώνεται η καλυπτική ικανότητα της χρωστικής.

δ) Ειδικό βάρος (specific gravity)

Το ειδικό βάρος μιας χρωστικής ουσίας μπορεί να επηρεάσει τη διασπορά ή διαλυτότητα της και εκφράζεται από το λόγο του βάρους της σε γραμμάρια (g) προς τον καθαρό όγκο των σωματιδίων της σε κυβικά εκατοστά (cm³). Εάν σε ένα μίγμα χρησιμοποιηθούν χρωστικές με μεγάλο και μικρό ειδικό βάρος σε συνδυασμό με μεγάλου πάχους συνδετικό μέσο τότε αυτά τα υλικά μπορούν να διαχωριστούν.



ε) Σταθερότητα στο φως, στη διάβρωση, θερμική-, χημική σταθερότητα (light-, weather-, heat-, chemical stability)

Οι χρωστικές χρειάζεται για τη σωστή εφαρμογή τους να διαθέτουν χημική σταθερότητα και αδράνεια με τα υπόλοιπα υλικά του υποστρώματος ή μίγματος. Η χημική και μηχανική ανθεκτικότητα τους στις περιβαλλοντικές συνθήκες είναι επίσης απαραίτητη για τη μακροβιότερη αντοχή τους. Η θερμότητα μπορεί να προκαλέσει αλλαγή χρώματος ή και απώλεια του σε ορισμένες περιπτώσεις χρωστικών που είναι επιρρεπείς στη θερμότητα. Για παράδειγμα η χαμηλή θερμική σταθερότητα στις λευκές χρωστικές οδηγεί σε κιτρινισμό τους. Η διάβρωση των χρωστικών οδηγεί συνήθως σε **κιμωλίαση (chalking)** του χρωματισμού τους. Κιμωλίαση παρατηρείται όταν σχηματίζεται ψιλή σκόνη στην επιφάνεια του χρώματος, λόγω γήρανσης. Μπορεί να οφείλεται σε υπερβολική έκθεση των χρωστικών στην ηλιακή ακτινοβολία, στην γήρανση, στην υπερβολική αραίωση τους με αποτέλεσμα να αδυνατίσει το χρώμα ή και στην εφαρμογή τους σε πορώδεις επιφάνειες χωρίς αστάρωμα.

ζ) Βαθμός διασποράς (dispersibility)

Είναι ένα μέτρο του πόσο εύκολα ή δύσκολα διαλύεται μια χρωστική σε ένα διαλυτικό μέσο. Η καλή διάλυση και διασπορά των χρωστικών στο συνδετικό μέσο είναι απαραίτητη για τη λήψη υψηλής στιλπνότητας και χαμηλής θολότητας στο χρώμα τους. Αυτά τα χαρακτηριστικά επιτυγχάνονται έπειτα από εντατική λείανση και επικάλυψη της επιφάνειας της χρωστικής με οργανικές ενώσεις.

1.3 Κατηγοριοποίηση χρωστικών ουσιών

Οι χρωστικές ουσίες συνήθως προέρχονται φυσικά από οργανική ή ανόργανη ύλη ενώ μπορούν επίσης να παραχθούν τεχνητά με διάφορες χημικές μεθόδους (συνθετικές χρωστικές). Οι οργανικές χρωστικές σχετίζονται με ζωντανούς οργανισμούς φυτικούς ή ζωικούς ενώ οι ανόργανες με ορυκτά και πετρώματα.

Οι ανόργανες χρωστικές κατηγοριοποιούνται με βάση το χρώμα τους σε λευκές και σε έγχρωμες χρωστικές. Οι λευκές χρωστικές αποτελούνται από άχρωμα ανόργανα συστατικά τα οποία λόγω του υψηλού δείκτη διαθλαστικότητας τους δημιουργούν διάχυση του φωτός με τελικό αποτέλεσμα την εμφάνιση λευκού χρώματος. Οι συνθετικές λευκές χρωστικές που χρησιμοποιούνται σήμερα περιλαμβάνουν τις λευκές

χρωστικές του διοξειδίου του τιτανίου (TiO_2), το λευκό του ψευδαργύρου (ZnO), το λευκό του θειούχου ψευδαργύρου (ZnS), το λευκό του αντιμονίου και το λιθοπόνιο (lithopone), μια σύνθετη χρωστική από θειούχο ψευδάργυρο και θειικό βάριο. Φυσικές λευκές χρωστικές μπορούν να προκύψουν με κατάλληλη επεξεργασία από τα ορυκτά ασβεστίτης, καολινίτης, και μαγνησίτης.

1.3.1 Συνθετικές λευκές χρωστικές

Το λευκό του τιτανίου ή διοξείδιο του τιτανίου απαντάται στη φύση με τα ορυκτά ρουτίλιο (rutile), ανατάσης (anatase) και βρουκίτης (brookite). Το ρουτίλιο και ο ανατάσης παράγονται συνθετικά στη βιομηχανία σε μεγάλες ποσότητες ενώ η παραγωγή του βρουκίτη είναι εξαιρετικά δαπανηρή και δύσκολη. Οι πιο σημαντικές ιδιότητες των χρωστικών τιτανίου (TiO_2) είναι ο πολύ υψηλός δείκτης διάθλασης τους, η υψηλή φωτεινότητα και λευκότητα τους, η χημική αδράνεια και οι πολύ λεπτομερείς κόκκοι που προσφέρουν υψηλής ποιότητας χρώματα. Αποτελούν τις πιο διαδεδομένες λευκές χρωστικές και από πλευράς παραγωγής κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό των λευκών χρωστικών.

Το λευκό του ψευδαργύρου (ZnO) αποτελείται κατά 99% από οξείδια ZnO ενώ μπορεί να περιέχει και μικρά ποσά οξειδίων μετάλλων όπως μόλυβδου, μαγγάνιου, κάδμιου ή χαλκού ή και ίχνη υδροδιαλυτών αλάτων ψευδαργύρου όπως θειικά ή χλωρικά. Το οξείδιο του ψευδαργύρου έχει τη μορφή λεπτόκοκκης λευκής σκόνης η οποία γίνεται κίτρινη όταν θερμαίνεται πάνω από τους 300°C . Αντιδρά με όλα τα οξέα και διαλύεται πολύ εύκολα στις αλκαλικές βάσεις. Σε πολύ ψηλές θερμοκρασίας αντιδρά με άλλα οξείδια και σχηματίζει σύμπλοκα φερρίτη ψευδαργύρου.

Οι λευκές χρωστικές θειούχου ψευδαργύρου (ZnS) διατηρούν καλή θέση στην αγορά όχι μόνο λόγω της καλής τους ικανότητας σκέδασης, αλλά και λόγω των άλλων σημαντικών ιδιοτήτων τους όπως η χαμηλή τριβή, η καλή ικανότητα προσρόφησης, και η μικρή σκληρότητα τους. Η χρωστική με τις μεγαλύτερες πωλήσεις είναι το λιθοπόνιο ($\text{ZnS} \cdot \text{BaS}$ $\text{ZnS} \cdot \text{BaSO}_4$) το οποίο παράγεται από συγκαθίζηση και επακόλουθη πύρωση ενός μίγματος θειούχου ψευδαργύρου (ZnS) και θειικού βαρίου (BaSO_4). Δεύτερος σε πωλήσεις παραμένει ο θειούχος ψευδάργυρος (ZnS) που πωλείται στην αγορά ως σαχτόλιθος. Το λιθοπόνιο λόγω της απαλής υφής και της μικρής σκληρότητας του παρουσιάζει μικρότερη απόξεση από άλλες χρωστικές,

διαθέτει υψηλή φωτεινότητα, χαμηλό τονισμό, μικρή απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας, καλή αντίσταση στην υγρασία και δεν απαιτεί κάποιο ισχυρό συγκολλητικό μέσο. Επειδή είναι μία σύνθετη χρωστική η φωτεινότητα του χρώματος του αυξάνει όσο αυξάνει και ο θειούχος ψευδάργυρος στη σύσταση του (Πίνακας 1). Λειτουργικές ιδιότητες όπως η λευκαντική και χρωστική ικανότητα αποτελούν κριτήρια για τη χρήση του σαχτόλιθου.

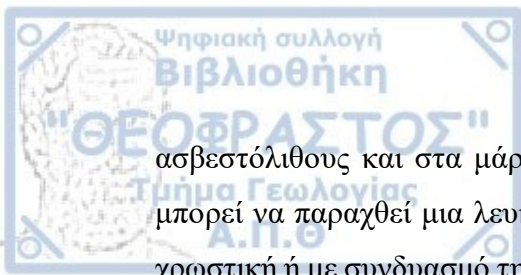
Πίνακας 1. Διακύμανση χρώματος στο λιθοπόνιο ανάλογα με τη σύσταση του (από Buxbaum G., 2005)	
Κόκκινο λιθοπόνιο	30% ZnS – 70% BaSO ₄
Πράσινο λιθοπόνιο	40% ZnS – 60% BaSO ₄
Ασημένιο λιθοπόνιο	60% ZnS – 40% BaSO ₄
Σαχτόλιθος	99-100% ZnS

Το λευκό του αντιμονίου ή τριοξείδιο του αντιμονίου (Sb₂O₃) είναι μια λευκή χρωστική που συναντάται στη φύση με τα ορυκτά βαλεντινίτης (valentinite) και σεναρμοντίτης (senarmontite). Είναι χρωστική με ισχυρή αδιαφάνεια και αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες όμως παρουσιάζει τη τάση να γίνεται κίτρινη. Κατασκευάζεται συνήθως από μεταλλικό αντιμόνιο με φρύξη ή οξείδωση. Είναι ισχυρά τοξική κατά την εισπνοή ή κατάποση και η επαφή της με το δέρμα είναι διαβρωτική. Για αυτό η χρήση της είναι πολύ περιορισμένη στη βιομηχανία και μόνο σε εξειδικευμένες εφαρμογές.

Άλλη λευκή χρωστική που χρησιμοποιήθηκε έντονα από τους αρχαίους Έλληνες και τους Ρωμαίους αποτελεί το **λευκό του μολύβδου**, Pb(OH)₂*2PbC(OH)₂*2PbCO₃. Η χρωστική αυτή διαθέτει υψηλή καλυπτική ικανότητα, μεγάλη πυκνότητα, καλή αδιαφάνεια, μεγάλη λευκότητα και εξαιρετική αντοχή στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Παρόλα αυτά η υψηλή της όμως τοξικότητα αποτρέπει σήμερα τη χρήση της που αντικαταστάθηκε από τις λευκές χρωστικές του ψευδαργύρου και του τιτανίου.

1.3.2 Φυσικές λευκές χρωστικές

Ο **ασβεστίτης** (CaCO₃) είναι ένα πολύ διαδεδομένο λευκό ορυκτό που συναντάται κυρίως σε ιζηματογενή πετρώματα και συγκεκριμένα στις κιμωλίες (κρητίδες), στους



ασβεστόλιθους και στα μάρμαρα. Έπειτα από κονιοποίηση αυτών των πετρωμάτων μπορεί να παραχθεί μια λευκή χρωστική ουσία και να χρησιμοποιηθεί αυτούσια σαν χρωστική ή με συνδυασμό της με άλλες χρωστικές για άνοιγμα των χρωματικών τόνων.

Το λευκό του ασβεστίτη είναι σταθερό υπό κανονικές συνθήκες όμως διαθέτει μειωμένη καλυπτική ικανότητα (χαμηλό δείκτη διάθλασης) και διαλύεται στα οξέα.

Το ορυκτό **μαγνησίτης** ($MgCO_3$) είναι πολύ διαδεδομένο συστατικό στους δολομιτικούς ασβεστόλιθους μπορεί όμως να εμφανιστεί και με τη μορφή φλεβών σε πυριγενή πετρώματα έπειτα από την εξαλλοίωση του ολιβίνη. Όταν κονιοποιηθεί αυτό το ορυκτό παράγεται μια χνουδωτή λευκή ουσία με καλή αδιαφάνεια και μικρή διαλυτότητα στο νερό που χρησιμεύει ως αδρανής χρωστική ουσία, στα ακρυλικά στην τέμπερα και στις νερομπογιές.

Ο **καολινίτης** είναι ένα λευκό ή υποκίτρινο αργιλοπυριτικό ορυκτό που προκύπτει από την αποσάθρωση των αστρίων. Όταν κονιοποιηθεί σχηματίζεται λευκή σκόνη με σημαντικές ιδιότητες όπως η αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, η χημική αδράνεια και η λεπτόκοκκη υφή. Το λευκό του καολινίτη είναι κατάλληλο για ανάμιξη με άλλες λευκές χρωστικές.

Η **γύψος** αν και δεν αποτελεί χρωστική χρησιμοποιείται μαζί με άλλες σαν λειτουργικό προσθετικό. Η χρήση της απαιτεί 97-99% καθαρότητα και υψηλό βαθμό λευκότητας.

1.3.3 Έγχρωμες χρωστικές

Οι έγχρωμες χρωστικές διαφέρουν από τις μαύρες και τις λευκές χρωστικές στο ότι η απορρόφηση και οι συντελεστές σκέδασης τους εξαρτώνται από το μήκος κύματος. Η εξάρτηση αυτών των συντελεστών από το μήκος κύματος, το σχήμα και μέγεθος των σωματιδίων τους καθορίζει το χρώμα και την καλυπτική ικανότητα των χρωστικών. Τα μεταλλικά οξείδια και υδροξείδια αποτελούν σημαντικές έγχρωμες χρωστικές λόγω των εξαιρετικών οπτικών ιδιοτήτων τους, το χαμηλό κόστος και την άμεση διαθεσιμότητά τους.

1.3.3.1 Συνθετικές έγχρωμες χρωστικές

Οι συνθετικές **χρωστικές σιδηροξειδίων** αποτελούν τις δεύτερες πιο σημαντικές χρωστικές μετά το διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2). Η διαρκώς αυξανόμενη σημασία των χρωστικών σιδηροξειδίων βασίζεται στην μη τοξικότητα, τη χημική σταθερότητα, το μεγάλο εύρος χρωμάτων και την καλή αναλογία απόδοσης-τιμής. Στις χρωστικές των σιδηροξειδίων περιλαμβάνονται οι φυσικές χρωστικές γαίες όπως η ώχρα, η σόμπρα και η σιέννα που δίνουν κίτρινα, καφέ, κόκκινα και μαύρα χρώματα. Οι συνθετικές χρωστικές σιδηροξειδίων που παράγονται σήμερα διαθέτουν εξαιρετική χρωστική και καλυπτική ικανότητα. Δεν αλλοιώνονται χρωματικά στο φως και ανθίστανται στα αλκάλια. Καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα χρωματισμών. Λόγω των ιδιοτήτων τους αυτών σε πολλούς τομείς προτιμώνται έναντι των φυσικών χρωστικών.

Οι **χρωστικές οξειδίων χρωμίου (III)** ή πράσινες χρωστικές χρωμίου αποτελούνται από οξείδια τρισθενούς χρωμίου (Cr_2O_3). Λόγω της υψηλής σκληρότητας του τρισθενούς χρωμίου σε μερικές εφαρμογές πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι λειαντικές ιδιότητες της χρωστικής. Οι πράσινες χρωστικές των οξειδίων χρωμίου εμφανίζουν πράσινη απόχρωση ελιάς, ελαφρύτερο πράσινο με κιτρινωπή χροιά αποκτάται από λεπτοδιαιρεμένες χρωστικές και σκουρότερες μπλε αποχρώσεις με μεγαλύτερη διάμετρο σωματιδίων. Οι χρωστικές του χρωμίου χαρακτηρίζονται από υψηλή ανακλαστικότητα στο εγγύς υπέρυθρο. Επειδή το οξείδιο του χρωμίου (III) είναι ουσιαστικά αδρανές, οι πράσινες χρωστικές οξειδίου του χρωμίου είναι εξαιρετικά σταθερές. Είναι αδιάλυτες στο νερό, το οξύ και τα αλκάλια και συνεπώς εξαιρετικά σταθερές στο διοξείδιο του θείου και στο σκυρόδεμα. Παρουσιάζουν αντίσταση στο φως, τη θερμοκρασία και τη διάβρωση.

Οι **χρωστικές του καδμίου** αποτελούνται από σουλφίδια και σουλφοσελενίδια καθώς και σουλφίδια καδμίου που περιέχουν ψευδάργυρο. Τα σουλφίδια καδμίου εμφανίζονται στη φύση με τη μορφή του ορυκτού γρηνοκίτης (greenockite) όμως το ορυκτό καθαυτό δεν κατέχει χρωστικές ιδιότητες. Το χρώμα των χρωστικών καδμίου μπορεί να ρυθμιστεί μέσω της σύστασης και του μεγέθους των πρωτογενών σωματιδίων. Οι χρωστικές του καδμίου είναι φωτοανθεκτικές, σταθερές σε υψηλές θερμοκρασίες, έντονα χρωματισμένες αλλά με περιορισμένη αντοχή στις καιρικές συνθήκες. Διαθέτουν πολύ καλή καλυπτική ικανότητα και εξακολουθούν να βρίσκουν εφαρμογή στο χρωματισμό πλαστικών και κεραμικών. Είναι πρακτικά αδιάλυτες στο

νερό και τα αλκαλικά διαλύματα αλλά προσβάλλονται και αποσυντίθενται στα οξέα. Πρέπει να δίνεται προσοχή κατά την εφαρμογή των χρωστικών, ιδιαίτερα των κόκκινων σουλφοσελενιδίων καδμίου λόγω της ευαισθησίας τους στην φρύξη. Υπερβολικές διατμητικές δυνάμεις μπορούν να προκαλέσουν αλλαγή του χρώματος των χρωστικών.

Οι **χρωστικές του βισμούθιου** βασίζονται στο ορθοβαναδικό βισμούθιο (bismuth orthovanadate) και αντιπροσωπεύουν μια οικογένεια κίτρινων ανόργανων χρωστικών. Το βαναδικό βισμούθιο εμφανίζεται φυσικά με τη μορφή του καφέ ορυκτού πουχερίτη (pucherite) και του δρευερίτη (dreyerite). Αποθέματα αυτών των ορυκτών δεν έχουν καμία οικονομική αξία στη βιομηχανία των χρωστικών. Το βαναδικό βισμούθιο είναι μια χρωστική με πρασινωπή κίτρινη απόχρωση. Σε σύγκριση με άλλες κίτρινες ανόργανες χρωστικές, μοιάζει περισσότερο στις χρωματικές του ιδιότητες με το κίτρινο του καδμίου και του χρωμίου. Οι πιο σημαντικές ιδιότητες των χρωστικών βαναδικού βισμούθιου είναι η εξαιρετική φωτεινότητα σκιάς, η πολύ καλή καλυπτική ικανότητα, υψηλή χρωματική αντοχή, υψηλή αντοχή στις καιρικές συνθήκες, υψηλή χημική αντοχή (αδράνεια), εύκολη διασπορά σωματιδίων και είναι φιλικές προς το περιβάλλον.

Οι σημαντικότερες συνθετικές **χρωστικές του χρωμίου** (chromate pigments) είναι το **χρωμικό μόλυβδο** (ή κίτρινο χρωμίου/ chrome yellow) και οι **χρωστικές μολυβδαινικού μολύβδου** (lead molybdate) των οποίων τα χρώματα κυμαίνονται από ελαφρύ κίτρινο λεμονιού έως κόκκινα με μπλε αποχρώσεις. Όλες οι χρωμικές χρωστικές χαρακτηρίζονται από υψηλή φωτοσταθερότητα και αντοχή στη διάβρωση καθώς και από πολύ υψηλή αντοχή στη θερμοκρασία και στην προσβολή από οξέα. Εμφανίζουν καλή διασπορά, καλή καλυπτική και χρωστική ικανότητα και μικρή ανάγκη για συνδετικό μέσο.

Οι **χρωστικές της σουλτραμαρίνας** παράγονται σήμερα συνθετικά όμως στο παρελθόν κατασκευάζονταν έπειτα από κονιοποίηση του πετρώματος **λάπις λάζουλι** (lapis lazuli) με κύριο ορυκτό τον **λαζουρίτη** (lazurite). Το βαθύ μπλε χρώμα της χρησιμοποιήθηκε από πολλούς καλλιτέχνες σε κάθε είδους καλλιτεχνήματα. Το βασικό χρώμα της σουλτραμαρίνας είναι ένα έντονο κοκκινωπό μπλε με κόκκινους-πράσινους τόνους που ποικίλλουν ανάλογα με τη χημική σύσταση. Τα παράγωγα ροζ και βιολετί χρώματα έχουν ασθενέστερα, λιγότερο κορεσμένα χρώματα. Η ποιότητα του χρώματος

των εμπορικών χρωστικών επιτυγχάνεται με κονιοποίηση για μείωση τους μεγέθους των σωματιδίων και συνεπώς για αύξηση της χρωματικής αντοχής. Το μέσο μέγεθος σωματιδίων της χρωστικής κυμαίνεται συνήθως από 0,7 έως 5,0 μm . Παρόλο που οι λεπτόκοκκες χρωστικές είναι ελαφρύτερες και πρασινότερες στην απόχρωση από τις χονδρόκοκκες, όταν διαλυθούν με λευκό το χρώμα τους γίνεται εντονότερο και πιο κορεσμένο. Όλες οι ουλτραμαρίνες έχουν εξαιρετική φωτοσταθερότητα, είναι αδιάλυτες στο νερό όμως προσβάλλονται από τα οξέα και χάνουν το χρώμα τους. Οι λεπτόκοκκες ουλτραμαρίνες έχουν υψηλή επιφανειακή ενέργεια και είναι συνεκτικότερες.

Οι συνθετικές χρωστικές του πρωσικού μπλε (Iron Blue pigments) αποτελούνται από μικροκρυσταλλικά κυανοσύμπλοκα δισθενούς-τρισθενούς σιδήρου Fe(II),Fe(III) . Οι χρωστικές του πρωσικού μπλε παράγονται από την καθίζηση σύνθετων κυανιδίων σιδήρου (II) χρησιμοποιώντας άλατα σιδήρου (II) σε υδατικό διάλυμα. Το προϊόν είναι ένα υπόλευκο ίζημα σιδήρου (II), σιδηροκυάνιου (II) το οποίο είναι πεπαλαιωμένο και μετέπειτα οξειδώνεται για να δώσει την μπλε χρωστική. Η απόχρωση, η σχετική αντοχή του χρώματος, η διασπορά και η ρεολογική συμπεριφορά είναι οι ιδιότητες των χρωστικών αυτών με την σημαντικότερη αξία. Οι καθαρές μπλε χρωστικές χρησιμοποιούνται κυρίως στην καθαρή τους μορφή (π.χ. σε μελάνια εκτύπωσης) και δεν χρειάζονται πρόσθετα για τη βελτίωσή τους. Λόγω του μικρού μεγέθους των σωματιδίων, οι χρωστικές αυτές είναι πολύ δύσκολο να διασπείρουν. Ο μικροποιημένος (micronized) βαθμός δίνει μεγαλύτερη αντοχή στο χρωματισμό σε ξηρά μίγματα σε σχέση με τα μπλε που λαμβάνονται από τυπική κονιοποίηση. Το πρωσικό μπλε είναι θερμικά σταθερό για μικρές περιόδους σε θερμοκρασίες έως 180°C , για αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε φινιρίσματα. Οι χρωστικές πρωσικού μπλε που χρησιμοποιούνται μόνες τους εμφανίζουν εξαιρετική φωτοανθεκτικότητα και αντοχή στις καιρικές συνθήκες. Όταν αναμιγνύονται με λευκές χρωστικές αυτές οι ιδιότητες μπορούν να εξαφανιστούν. Οι χρωστικές αυτές είναι ανθεκτικές σε αραιωμένα ανόργανα οξέα και οξειδωτικούς παράγοντες. Αποσυντίθενται όμως στο ζεστό συμπυκνωμένο οξύ και στα αλκάλια.

1.3.3.2 Φυσικές έγχρωμες χρωστικές

Ο **κινναβαρίτης (HgS)** είναι ένα ορυκτό που σχηματίζεται από υδροθερμικές φλέβες χαμηλών θερμοκρασιών και συναντάται σε πρόσφατα ηφαιστειακά πετρώματα και

ηφαιστειακές θερμές πηγές. Ο κινναβαρίτης έχει κόκκινο χρώμα και όταν κονιοποιηθεί προσδίδει πορτοκαλέρυθρο έως φωτεινό κόκκινο χρώμα. Η σπανιότητα κοιτασμάτων θειούχου υδράργυρου και η αδυναμία παραγωγής τέτοιου χρώματος από άλλες πηγές κατατάσσει το κόκκινο του κινναβαρίτη στις ακριβότερες χρωστικές ουσίες. Το κόκκινο του κινναβαρίτη όταν εκτίθεται σε ανοικτό χώρο μεταβάλλεται το χρώμα του σε γκριζόμαυρο λόγω της επίδρασης του φωτός και είναι περισσότερο σταθερό σε καλλιτεχνήματα εσωτερικού χώρου. Η μετάπτωση του κινναβαρίτη στην κυβική μορφή είναι ακόμα ένα μειονέκτημα του.

Η **κόκκινη σανδαράχη** (AsS) αποτελεί ένα θειούχο ορυκτό του αρσενικού. Είναι προϊόν της δράσης υδροθερμικών φλεβών χαμηλής θερμοκρασίας και συναντάται κοντά σε νέα ή παλαιά ηφαιστειακά κέντρα με άλλα αρσενικούχα ορυκτά αλλά και στις ηφαιστειακές ατμίδες. Η κόκκινη σανδαράχη όταν εκτεθεί στο φως για μεγάλη χρονική περίοδο μπορεί να διασπαστεί σε κοκκινοκίτρινη λεπτόκοκκη σκόνη που αποτελεί ένα μείγμα κίτρινης σανδαράχης (As_2S_3) και αρσενολίτη (As_2O_3). Αυτό το σημαντικό μειονέκτημα της κόκκινης σανδαράχης περιόρισε πολύ γρήγορα τη χρήση της σαν χρωστική.

Η **κίτρινη σανδαράχη** (As_2S_3) είναι ένα επίσης θειούχο ορυκτό του αρσενικού με έντονο κίτρινο χρώμα. Σχηματίζεται από τη δράση υδροθερμικών φλεβών χαμηλής θερμοκρασίας κοντά σε ηφαιστειακά πετρώματα και θερμές πηγές ή από την αλλοίωση άλλων αρσενικούχων ορυκτών όπως η συγγενική κόκκινη σανδαράχη. Το ασταθές χρώμα της, το ότι δεν συνδυάζεται με χρωστικές του χαλκού και η ισχυρή τοξικότητα της περιόρισαν τη χρήση της από πολύ νωρίς.

Ο **αζουρίτης** ($Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$) είναι δευτερογενές ορυκτό του χαλκού με χαρακτηριστικό μπλέ χρώμα. Είναι προϊόν της οξείδωσης χαλκούχων μεταλλευμάτων από τη δράση όξινων ανθρακικών διαλυμάτων. Συναντάται συχνά σε κοιτάσματα χαλκού με μαλαχίτη, κυπρίτη, αυτοφυή χαλκό και αλλοιώνεται πολύ εύκολα σε μαλαχίτη. Η κονιοποίηση του αζουρίτη παράγει τρεις διαφορετικές διαβαθμίσεις κόκκων από τις οποίες προκύπτουν διαφορετικές αποχρώσεις του μπλε. Το χονδρόκοκκο μέγεθος προσδίδει σκουρότερη μπλε απόχρωση ενώ όσο περισσότερο τρίβεται το υλικό το χρώμα του ξεθωριάζει. Η χονδρόκοκκη χρωστική του αζουρίτη εφαρμοζόταν δυσκολότερα στα καλλιτεχνικά έργα και σε συνδυασμό με την αλλοίωση



του σε μαλαχίτη περιορίστηκε η χρήση του στην αρχαιότητα όπου καθιερώθηκε το συνθετικό αιγυπτιακό μπλε ως η κυρίαρχη μπλε χρωστική.

Ο **γλαυκοφανής** είναι ένα μπλε ορυκτό της ομάδας των αμφιβόλων και εντοπίστηκε ως χρωστική σε τοιχογραφίες του Ακρωτηρίου της Σαντορίνης. Συναντάται συχνά σε μεταμορφωμένα πετρώματα και σχηματίζεται σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και χαμηλών πιέσεων. Αποτελεί το επουσιώδες ορυκτό στον γλαυκοφανιτικό σχιστόλιθο στον οποίο συνυπάρχει με τα ορυκτά του λαουζονίτη, αραγωνίτη και ιαδεΐτη.

Ο **μαλαχίτης** ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$) είναι ένα πράσινο δευτερογενές ορυκτό του χαλκού που σχηματίζεται κατά την οξείδωση χαλκούχων μεταλλευμάτων από τη δράση όξινων ανθρακικών διαλυμάτων ή από την αλλοίωση του αζουρίτη. Το χρώμα του ποικίλλει από έντονο πράσινο έως υπόλευκο. Η πράσινη χρωστική του μαλαχίτη είναι ευαίσθητη σε υψηλές θερμοκρασίες και προσβάλλεται εύκολα από τα οξέα. Το πράσινο του μαλαχίτη αλλοιώνεται με το χρόνο προς το καστανοκόκκινο διότι ως ορυκτό οξειδώνεται και μετατρέπεται σε κυπρίτη. Οι κακές αυτές ιδιότητες του μαλαχίτη δεν βοήθησαν τους ζωγράφους σε εκτεταμένη χρήση του.

Τα φυσικά οξειδία σιδήρου περιλαμβάνουν όλες τις φυσικές γαίες (natural earth) όπως είναι η **ούμπρα, η σιέννα και οι ώχρες**. Οι χρωστικές σιδηροξειδίων είναι γνωστές από την αρχαιότητα λόγω της χρησιμοποίησής τους σε τοιχογραφίες σπηλαίων, και στη διακόσμηση κεραμικών αγγείων. Στη σύσταση τους εκτός από οξειδία σιδήρου συμμετέχει ποσότητα αργίλου και πυριτικών αλάτων. Τα χρώματα της ώχρας ποικίλουν από κίτρινο, καφέ και κόκκινο ανάλογα με την ορυκτολογική σύσταση της. Στην κόκκινη ώχρα το κύριο συστατικό είναι ο αιματίτης που όταν κονιοποιηθεί παράγεται μια κόκκινη χρωστική. Στην κίτρινη ώχρα το κύριο συστατικό αποτελεί ο γκαιτίτης ο οποίος δίνει το κίτρινο χρώμα. Οι ούμπρες στη σύσταση τους εκτός από μία ποσότητα οξειδίων σιδήρου περιέχουν και ποσότητα οξειδίων μαγγανίου για αυτό το χρώμα τους είναι σκούρο καφέ, καφεκόκκινο έως μαύρο. Όλες γενικά οι φυσικές χρωστικές γαίες παρουσιάζουν πολύ καλά χαρακτηριστικά για χρήση τους στα χρώματα της ζωγραφικής και είναι εδώ που υπερτερούν έναντι των συνθετικών χρωστικών σιδηροξειδίων. Η χρήση των χρωστικών αυτών γινόταν σε καθαρή μορφή ή νοθευμένη για να επιτευχθεί ο απαιτούμενος τόνος χρώματος. Γινόταν επίσης χρήση οργανικών ουσιών για καλύτερη επάλειψη.

1.3.4 Μαύρες χρωστικές

Το μαύρο του άνθρακα (Εικ.1) είναι γνωστό ως χρωστική από την αρχαιότητα έως σήμερα. Λόγω της εύκολης παραγωγής του στην αρχαία τέχνη αποτελούσε την κυρίαρχη μαύρη χρωστική. Το μαύρο του άνθρακα ή αιθάλη (carbon black) είναι ουσιαστικά καθαρός στοιχειακός άνθρακας με τη μορφή σφαιρικών κolloειδών σωματιδίων που παράγονται από την ατελή καύση ή τη θερμική αποσύνθεση ρευστών υδρογονανθράκων. Σε αντίθεση με το διαμάντι και τον γραφίτη, οι οποίοι είναι κρυσταλλικοί άνθρακες, ο άνθρακας είναι ένας άμορφος άνθρακας που αποτελείται από λεπτόκοκκα συντηγμένα σωματίδια που ονομάζονται αδρανή. Ιδιότητες, όπως η επιφάνεια βάσης, η δομή, η διάμετρος των σωματιδίων και η μάζα κατηγοριοποιούν τους διάφορους τύπους αιθάλης και καθορίζουν τις χρήσεις τους. Σήμερα παράγονται συνολικά έξι τύποι αιθάλης παγκοσμίως.



Εικ.1: Μαύρο του άνθρακα (από wikipedia.com)

Τα οξειδία και υδροξείδια του μαγγανίου ταυτοποιήθηκαν από την αρχαιότητα ως μαύρες χρωστικές και βρίσκονται στη φύση με τη μορφή ορυκτών με πιο κοινά τον πυρολουσίτη, τον μαγγανίτη, τον ψιλομέλα και τον βολφραμίτη. Ο πυρολουσίτης, αποτελεί τη σημαντικότερη μαγγανιούχα φυσική χρωστική και χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα στο παρελθόν για να προσδώσει μαύρα χρώματα (Goffier, 2007). Ο βαθμός στον οποίο οξειδώνεται το μαγγάνιο (II, III, IV), η κρυσταλλική δομή των οξειδίων μαγγανίου και η χημική τους σύνθεση καθορίζουν τις ορυκτολογικές παραλλαγές των

οξειδίων μαγγανίου στη φύση. Οι φυσικές γαίες όπως η ούμπρα και η σιέννα περιλαμβάνουν σημαντικά ποσοστά οξειδίων μαγγανίου. Ο **πυρολουσίτης (MnO_2)** είναι δευτερογενές ορυκτό με σιδηρόμαυρο χρώμα και μεταλλική λάμψη. Αποτελεί προϊόν οξείδωσης άλλων μαγγανιούχων ορυκτών σε έντονες οξειδωτικές συνθήκες. Μπορεί να προκύψει επίσης από τη δράση υδροθερμικών φλεβών χαμηλής θερμοκρασίας. Συναντάται σε μαγγανιούχα μεταλλεύματα μαζί με άλλα μαγγανιούχα ορυκτά (π.χ. ροδοχρωσίτη, ροδονίτη). Το ορυκτό **μαγγανίτης, $MnO(OH)$** είναι ορυκτό οξείδιο-υδροξείδιο του μαγγανίου με χαλυβδότεφρο έως σιδηρόμαυρο χρώμα και μεταλλική έως ημιμεταλλική λάμψη. Συναντάται σε μεταλλεύματα μαγγανίου με μεγάλες ποσότητες και συχνά αλλοιώνεται σε πυρολουσίτη. Μπορεί να προκύψει επίσης από τη δράση υδροθερμικών φλεβών χαμηλής θερμοκρασίας όπου συνυπάρχει με σιδηρίτη, ασβεστίτη και βαρύτη. Αποτελεί τη δεύτερη πιο γνωστή μαύρη χρωστική του μαγγανίου.

1.4 Χρήσεις των χρωστικών στον ευρύτερο βιομηχανικό τομέα

Οι **λευκές χρωστικές τιτανίου** χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία κυρίως ως βαφές και επιχρίσματα, στο χρωματισμό του χαρτιού και των πλαστικών. Χρησιμοποιούνται επίσης στην παραγωγή σμάλτων και κεραμικών, στην παραγωγή λευκού τσιμέντου, στο χρωματισμό καουτσούκ και δαπέδων. Λόγω της καλής απορροφητικότητας της υπεριώδους ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται και στα αντηλιακά προϊόντα, στα σαπούνια, στις καλλυντικές πούδρες, στις οδοντόπαστες, στα τρόφιμα και στη βιομηχανία καλλυντικών. Η έλλειψη τοξικότητας, η συμβατότητα με το δέρμα και τους βλεννογόνους και η καλή τους ικανότητα διασποράς σε οργανικά και ανόργανα διαλύματα και συνδετικά μέσα είναι απαραίτητες ιδιότητες για τις πιο πάνω χρήσεις τους.

Οι **λευκές χρωστικές θειούχου ψευδαργύρου (ZnS)** που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία είναι κυρίως το λιθοπόνιο και ο σαχτόλιθος. Το λιθοπόνιο χρησιμοποιείται κυρίως σε υλικά επίστρωσης με υψηλές συγκεντρώσεις χρωστικών. Τα αστάρια, οι στόκοι, τα υλικά πλήρωσης, τα χρώματα ζωγραφικής και τα χρωστικά γαλακτώματα είναι μερικά παραδείγματα. Ο σαχτόλιθος χρησιμοποιείται κυρίως στη βιομηχανία πλαστικών και συγκεκριμένα στο χρωματισμό των θερμοπλαστικών. Η φωτοσταθερότητα και η ανθεκτικότητα στην γήρανση των ελαστομερών βελτιώνεται



με τη χρήση σαχτόλιθου. Ο σαχτόλιθος χρησιμοποιείται επίσης ως ξηρό λιπαντικό κατά την παραγωγή αυτών των υλικών.

Το **λευκό ή οξειδίο του ψευδαργύρου** (ZnO) έχει πολλές χρήσεις. Μακράν η πιο σημαντική χρήση του είναι στη βιομηχανία καουτσούκ. Η μισή ποσότητα της παγκόσμιας παραγωγής οξειδίου ψευδαργύρου χρησιμοποιείται ως ενεργοποιητής για επιταχυντές βουλκανισμού στο φυσικό και συνθετικό καουτσούκ. Το ZnO εξασφαλίζει επίσης καλή αντοχή του βουλκανισμένου καουτσούκ και αυξάνει τη θερμική αγωγιμότητα του. Το περιεχόμενο ZnO που χρησιμοποιείται είναι συνήθως 2–5%. Ωστόσο, στα χρώματα και τις επικαλύψεις, το λευκό του ψευδαργύρου δεν είναι πλέον η κύρια λευκή χρωστική ουσία. Το υπέροχο λευκό χρώμα του χρησιμοποιείται από καλλιτέχνες. Χρησιμοποιείται ως πρόσθετο σε εξωτερικά χρώματα για τη συντήρηση ξύλου. Χρησιμοποιείται επίσης σε αντιρρυπαντικά και αντιδιαβρωτικά χρώματα. Η φαρμακευτική και καλλυντική βιομηχανία χρησιμοποιεί το ZnO σε σκόνες και αλοιφές λόγω των βακτηριοκτόνων ιδιοτήτων του. Χρησιμοποιείται επίσης στο σχηματισμό οδοντικού τσιμέντου από την αντίδραση του με την ευγενόλη. Στον τομέα του γυαλιού, των κεραμικών και των σμάλτων, το ZnO χρησιμοποιείται για την ικανότητά του να μειώνει θερμική διαστολή, να μειώνει το σημείο τήξης και να αυξάνει τη χημική αντοχή. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την τροποποίηση της στιλπνότητας ή τη βελτίωση της αδιαφάνειας.

Οι **χρωστικές οξειδίων σιδήρου** χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια στο χρωματισμό των δομικών υλικών. Κεραμίδια σκυροδέματος, τούβλα πλακόστρωτου, ινώδη τσιμέντα, η άσφαλτος, τα κονιάματα, τα επιχρίσματα κ.λπ. μπορούν να χρωματιστούν με μικρές ποσότητες χρωστικής χωρίς να επηρεάζεται η ρυθμιστικότητα, η θλιπτική αντοχή ή η εφελκυστική αντοχή των δομικών υλικών. Οι προδιαγραφές των χρωστικών στον τομέα των δομικών υλικών είναι λιγότερο απαιτητικές σε σχέση με άλλους τομείς. Για τη χρήση τους απαιτείται αντίσταση κατά του φωτός, αντίσταση στη διάβρωση και στην επίδραση των αλκαλίων στο τσιμέντο, ομοιόμορφη κατανομή και κυρίως προσιτές τιμές. Για τα έγχρωμα ασβεστοκονιάματα συχνά αναμιγνύονται οξείδια σιδήρου με μαύρο του άνθρακα και ένα μέσο διασποράς ώστε να παρασκευάζονται ευκολότερα. Για το τσιμέντο Portland και τα παράγωγα του οι προδιαγραφές απαιτούν τα μόρια των σιδηροξειδίων και του άνθρακα να έχουν παρόμοιο μέγεθος με σκοπό την ομοιόμορφη φθορά κατά τη διάβρωση. Οι συνθετικές χρωστικές στα δομικά υλικά είναι ανώτερες από τις φυσικές χρωστικές, λόγω της

καλύτερης τους χρωστικής ικανότητας και των καθαρότερων αποχρώσεων τους. Το φυσικό καουτσούκ μπορεί να χρωματιστεί μόνο με χρωστικές οξειδίων σιδήρου που περιέχουν πολύ χαμηλά επίπεδα χαλκού και μαγγανίου ($\text{Cu} < 0,005\%$, $\text{Mn} < 0,02\%$). Το συνθετικό καουτσούκ είναι λιγότερο ευαίσθητο. Στις βιομηχανίες βαφών και επιστρώσεων, οι χρωστικές των οξειδίων σιδήρου ενσωματώνονται με πολλούς τύπους συνδετικών μέσων. Μερικοί λόγοι για την ευρεία εφαρμογή τους σε αυτόν τον τομέα είναι οι καθαρές αποχρώσεις, η καλή καλυπτική ικανότητα, η καλή αντοχή στην τριβή και η χαμηλή τάση ιζηματοποίησης. Η αντοχή τους σε υψηλή θερμοκρασία τους επιτρέπει να χρησιμοποιηθούν σε σμάλτα και κεραμικά.

Η χρήση **οξειδίων του τρισθενούς χρωμίου (III)** ως χρωστική για παιχνίδια, καλλυντικά και πλαστικά και χρώματα που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα επιτρέπονται σύμφωνα με εθνικούς και διεθνείς κανονισμούς. Το οξείδιο του χρωμίου είναι εξίσου σημαντικό και ως χρωστική και στις άλλες βιομηχανικές του εφαρμογές. Ως χρωστική ουσία, χρησιμοποιείται κυρίως στη βιομηχανία χρωμάτων και επιχρισμάτων για υψηλής ποιότητας πράσινα χρώματα με ειδικές προϋποθέσεις, ιδιαίτερα στις μεταλλικές κατασκευές (επίχρισμα ελατηρίων), στα επιχρίσματα προσόψεων (χρωστικά γαλακτώματα) και στα επιχρίσματα αυτοκινήτων.

Οι χρωστικές **βαναδικού βισμούθιου** χρησιμοποιούνται στην παραγωγή αμόλυβδων, ανθεκτικών στη διάβρωση, λαμπερών κίτρινων χρωμάτων για τους κατασκευαστές αρχικού εξοπλισμού στην αυτοβιομηχανία και τα φινιρίσματα, για τα βιομηχανικές και διακοσμητικές βαφές, και εν μέρει για επιχρίσματα σκόνης και συστήματα επίχρισης ελατηρίων. Θερμοσταθερές χρωστικές βαναδικού βισμούθιου διατίθενται σήμερα με θερμική σταθερότητα έως 300°C . Στα πλαστικά για εξωτερική χρήση προσφέρουν πολύ καλή σταθερότητα στο φως και τη διάβρωση. Οι χρωστικές έχουν εξαιρετική αντοχή στο ξέβαμμα στα πλαστικά και είναι εύκολα διαλυτές. Με την εξαιρετική θερμική τους σταθερότητα, οι θερμοσταθεροί τύποι μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε πολυολεφίνες και στα συστήματα αντιμπλοκαρίσματος τροχών (ABS) στους $260-280^\circ\text{C}$, και στα υλικά έγχυσης πολυαμιδίου στους $280-300^\circ\text{C}$.

Οι **χρωστικές του χρωμίου (chromate pigments)** που χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη βιομηχανία είναι το χρωμικό μόλυβδο (lead chromate/chrome yellow) και οι χρωστικές μολυβδαινικού μόλυβδου (lead molybdate) με γνωστότερο το κόκκινο και πορτοκαλί του μολυβδαινίου. Χρησιμοποιούνται κυρίως στις μπογιές, στα επιχρίσματα

ελατηρίων και στο χρωματισμό πλαστικών (π.χ. PVC, πολυαιθυλένιο, πολυεστέρες) με αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Η ενσωμάτωση τους στα πλαστικά βελτιώνει επίσης τη χημική τους αντοχή στα αλκάλια, τα οξέα, το διοξείδιο του θείου και το υδρόθειο.

Η σταθερότητα και η ασφάλεια που χαρακτηρίζει τις χρωστικές της **ουλτραμαρίνας** επιτρέπει τη χρήση τους σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Χρησιμοποιούνται για το χρωματισμό των πλαστικών πολυμερών, των PVC και των πολυολεφινών, στην παραγωγή διακοσμητικών και βιομηχανικών μπογιών, επιχρισμάτων σκόνης και φινιρισμάτων, στην παραγωγή μελανιών εκτύπωσης και στο χρωματισμό του χαρτιού, καθώς και στην παραγωγή χρωμάτων ζωγραφικής.

Ο κύριος καταναλωτής της χρωστικής **Πρωσικό μπλε (iron blue pigments)** (Εικ.2) σε Ευρώπη και ΗΠΑ είναι η βιομηχανία μελανιών εκτύπωσης. Η δεύτερη μεγαλύτερη χρήση της στην Ευρώπη, ιδιαίτερα της μικροποιημένης (micronized) μορφής της, είναι ο χρωματισμός των μυκητοκτόνων. Η χρήση της στη βιομηχανία χρωμάτων θεωρείται αμελητέα. Οι χρωστικές του πρωσικού μπλε είναι σημαντικές για την εκτύπωση, ειδικά στη μέθοδο της βαθυτυπίας, λόγω της βαθιάς απόχρωσης, της καλής καλυπτικής ικανότητας και της καλής αναλογίας κόστους/απόδοσης. Το πρωσικό μπλε αναμιγνύεται συχνά με χρωστικές φθαλοκυανίνης για πολύχρωμη εκτύπωση. Μια άλλη σημαντική χρήση του είναι στον έλεγχο της απόχρωσης των μαύρων μελανιών εκτύπωσης. Η μικροποιημένη (micronized,mm) μορφή των χρωστικών πρωσικού μπλε χρησιμοποιείται για το χρωματισμό μυκητοκτόνων (σε συγκέντρωση περίπου 3-6% κ.β.) έτσι ακόμα και σε μικρές ποσότητες μπορούν να γίνονται ορατές λόγω της υψηλής έντασης του χρώματος τους. Τα μυκητοκτόνα συνήθως αλέθονται ή αναμιγνύονται με τη χρωστική.



Εικ.2 : Η συνθετική χρωστική Πρωσικό μπλε (πηγή: chemistryworld.com)

Η εξόρυξη και η εκμετάλλευση των φυσικών χρωστικών ουσιών στην Κύπρο είναι γνωστή από την αρχαιότητα. Έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς κατά τους αρχαίους χρόνους για διακόσμηση αγγείων και άλλων καλλιτεχνημάτων. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης εκτενώς από τους αρχαίους μεταλλουργούς της Κύπρου ως συλλιπάσματα που βελτιώναν τις φυσικές ιδιότητες του τήγματος των χαλκούχων μεταλλευμάτων μεγιστοποιώντας την ανάκτηση του χαλκού λόγω της χημικής τους σύστασης (Constantinou, 1972). Οι **φυσικές χρωστικές της Κύπρου** όπως η **ώχρα**, η **ούμπρα** και σε μικρότερο βαθμό η **πράσινη γη** χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή υψηλής ποιότητας χρωμάτων. Οι σημαντικότερες ιδιότητες τους είναι η χαμηλή αντιδραστικότητα τους, η χημική αδράνεια, η υψηλή θερμοκρασιακή σταθερότητα, η υψηλή χρωστική ικανότητα και η χαμηλή τοξικότητα. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό των χρωστικών σιδηροξειδίων όσων περιέχουν γκαιτίτη-λειμωνίτη είναι η ικανότητα τους να αλλάζουν χρώμα όταν θερμαίνονται. Έτσι μπορούν να επιτευχθούν διάφορες αποχρώσεις με ελεγχόμενη θέρμανση τους. Οι ούμπρες προτιμώνται στη βαφή των επίπλων και στα υψηλής ποιότητας φινιρίσματα από ξύλο λόγω της διαφάνειας και της ικανότητας τους να βελτιώνουν τη φυσική εμφάνιση του ξύλου. Την τελευταία 15ετία στην Κύπρο τα οξειδία σιδήρου που περιέχονται στην ούμπρα χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση του μίγματος κατά την παραγωγή του τσιμέντου στην τσιμεντοβιομηχανία. Οι ανάγκες της βιομηχανίας σε ούμπρα ανέρχονται περίπου στους 40 χιλιάδες τόνους τον χρόνο ανάλογα με την ποιότητα του clinker που παράγεται. Για την παραγωγή τσιμέντου ανθεκτικού στα θειικά (SO_4^{2-}) γίνεται προσπάθεια στο στάδιο της πρόσμειξης, για μείωση του οξειδίου του αλουμινίου (Al_2O_3) και αύξηση της περιεκτικότητας του μείγματος σε οξύδιο του σιδήρου (Fe_2O_3). Για το σύννηθες τσιμέντο γίνεται χρήση ούμπρας σε ποσοστό 1-1.5% ενώ για την παραγωγή τσιμέντου ανθεκτικού σε θειικά γίνεται χρήση ούμπρας σε ποσοστό 4-6%. Η ούμπρα που χρησιμοποιείται στην παραγωγή τσιμέντου συνήθως περιέχει γύρω στα 40% οξειδία του σιδήρου ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και υλικό με χαμηλότερη περιεκτικότητα γύρω στο 20%- 27%. Η περιεκτικότητα του μείγματος σε πυρίτιο δεν είναι καθόλου περιοριστικός παράγοντας και ούτε επηρεάζει την άλεση του υλικού (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Η ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ

2.1 Γενικά στοιχεία

Το νησί της Κύπρου βρίσκεται στη Βορειοανατολική Μεσόγειο και θεωρείται ως μια ανεξάρτητη γεωτεκτονική μονάδα που σχετίζεται με το εξωτερικό ιζηματογενές τμήμα που αποτελεί προέκταση του Δειναροταυρικού τόξου. Από γεωτεκτονικής άποψης η Κύπρος εντάσσεται κατά ένα μέρος στο Αλπικό ορογενετικό σύστημα και κατά ένα μέρος στη νεότερη Μεσογειακή ορογένεση (Μουντράκης, 2010).

Η Κύπρος εμφανίζει μια ανατολική-δυτική μορφολογική και γεωλογική ανάπτυξη όπου διακρίνονται τρεις γεωμορφολογικές ενότητες (Εικ.3) οι οποίες αντιπροσωπεύονται από:

- α) Την **οροσειρά του Τροόδους** που αποτελεί τον γεωλογικό πυρήνα της Κύπρου και δεσπόζει στο κεντρικό-νότιο τμήμα του νησιού
- β) Την **οροσειρά του Πενταδακτύλου** που συναντάται κατά μήκος του βόρειου τμήματος του νησιού
- γ) Την ενδιάμεση πεδινή περιοχή της **Μεσαορίας** που εκτείνεται από τον κόλπο της Μόρφου μέχρι τις ακτές της Αμμοχώστου και της Λάρνακας.



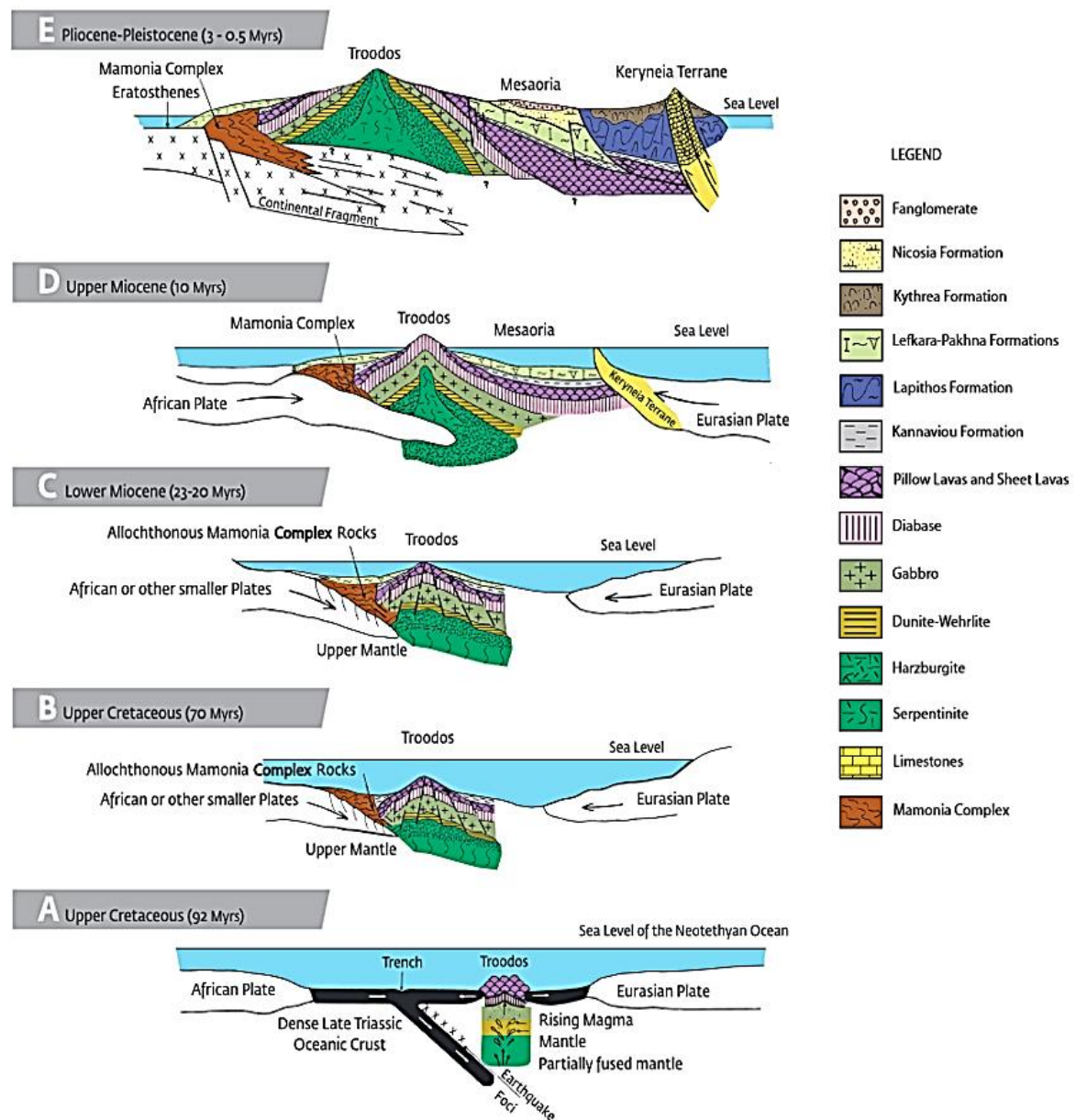
Εικ.3 : Οι τρεις γεωμορφολογικές ενότητες της Κύπρου (Google Earth)

2.2 Η γεωτεκτονική εξέλιξη της Κύπρου

Η γεωτεκτονική εξέλιξη της Κύπρου χαρακτηρίζεται από μία σειρά πολύπλοκων γεωτεκτονικών διεργασιών (Εικ.4) που περιλαμβάνει άνοιγμα-κλείσιμο ωκεανών και άλλων γεωδυναμικών φαινομένων. Σύμφωνα με τον Μουντράκη (2010) η εξέλιξη της Κύπρου άρχισε κατά το Τριαδικό με ηπειρωτική διάρρηξη στο ηπειρωτικό περιθώριο της Γκοντβάνα την οποία ακολούθησε ταφρογένεση-ωκεανογένεση με δημιουργία νέας ωκεάνιας λεκάνης, στο νότιο κλάδο της Νεοτηθύος, με ανάπτυξη τυπικής μεσοωκεάνιας ράχης με σχηματισμό ωκεάνιου πυθμένα και φλοιού. Η ωκεάνια λεκάνη καταστράφηκε στο Άνω Κρητιδικό (Καμπάνιο – Μαιστρίχτιο) με υποβύθιση της κάτω από το Ευρασιατικό περιθώριο της Ανατολίας που συγκροτήθηκε προηγουμένως από άλλες υποβυθίσεις ωκεάνιων λεκανών της Τηθύος και τις συγκολλήσεις αντίστοιχων ηπειρωτικών τεμαχών. Από την υποβύθιση αυτή προκλήθηκε επώθηση των οφιολίθων της ωκεάνιας λεκάνης του Τροόδους πάνω στην Αφρικανική πλάκα και στα 75 εκατ. έτη περίπου ακολούθησε συγκόλληση των οφιολίθων με τα παλαιότερα πετρώματα του ηπειρωτικού περιθωρίου, ηλικίας 230 μέχρι 75 εκατ. ετών, γνωστά ως melange των Μαμωνίων που σήμερα συναντώνται στο νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού.

Σύμφωνα με το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης της Κύπρου στο διάστημα μεταξύ 75 έως 10 εκατομμυρίων ετών επικράτησε στον χώρο σχετική τεκτονική ηρεμία χαρακτηριζόμενη από σταδιακή μείωση του βάθους των θαλασσών που συνοδεύτηκε από την απόθεση ασβεστολιθικών ιζημάτων (Σχηματισμοί Λευκάρων και Πάχνας). Πριν 10-15 εκατ. έτη ξεκίνησε η προσκόλληση της οροσειράς του Πενταδακτύλου στη βόρεια πλευρά της ζώνης του Τροόδους και ολοκληρώθηκε πριν 6 εκατ. έτη στο τέλος του Μειόκαινου όταν μια σειρά από αλλόχθονους ασβεστόλιθους (Ζώνη Κερύνειας), ηλικίας 350 μέχρι 135 εκατ. ετών, επωθήθηκε στο βορειότερο τμήμα των οφιολίθων του Τροόδους πτυχώνοντας και εκτοπίζοντας όλα τα νεότερα ιζήματα που συνάντησε στην πορεία της. Στο ίδιο χρονικό διάστημα διακόπηκε η επικοινωνία της Μεσογείου με τον Ατλαντικό ωκεανό και η έντονη εξάτμιση που ακολούθησε οδήγησε σε δραστική μείωση της στάθμης της θάλασσας, αύξηση της αλατότητας του νερού της και απόθεση ιζημάτων γύψου και αλατιού σε ολόκληρη τη Μεσόγειο, πάχους έως και 3 χιλιομέτρων. Στο μεταξύ η Τηθύς θάλασσα νότια της Κύπρου κλείνει και η Μεσόγειος αποκτά τη σημερινή της σχήμα. Πριν 5,3 εκατ. έτη επανενώθηκε η Μεσόγειος με τον Ατλαντικό ωκεανό και καθώς κατακλύστηκε από τα νερά σημειώθηκε σημαντική άνοδος της στάθμης της θάλασσας η οποία σηματοδότησε την έναρξη νέου κύκλου

ιζηματογένεσης με απόθεση μαργών και ασβεστολιθικών ψαμμιτών (πωρόλιθοι) των σχηματισμών Λευκωσίας και Αθαλάσσης. Πριν 2 περίπου εκατ. έτη στο Πλειστόκαινο συντελέστηκε απότομη ανύψωση του χώρου της Κύπρου με ανάδυση των οροσειρών του Τροόδους και Πενταδακτύλου και διαμόρφωση της σημερινής μορφής του νησιού. Η ανύψωση αυτή είχε ως αποτέλεσμα την έντονη αποσάθρωση των οροσειρών και τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων κλαστικών ιζημάτων στις κοιλάδες των μεγάλων ποταμών του νησιού καθώς και στον πεδινό χώρο της Μεσαορίας. Έτσι σχηματίστηκαν τα κλαστικά ιζήματα του Πλειστοκαίνου γνωστά ως Σύναγμα καθώς και χαρακτηριστικές θαλάσσιες αναβαθμίδες.

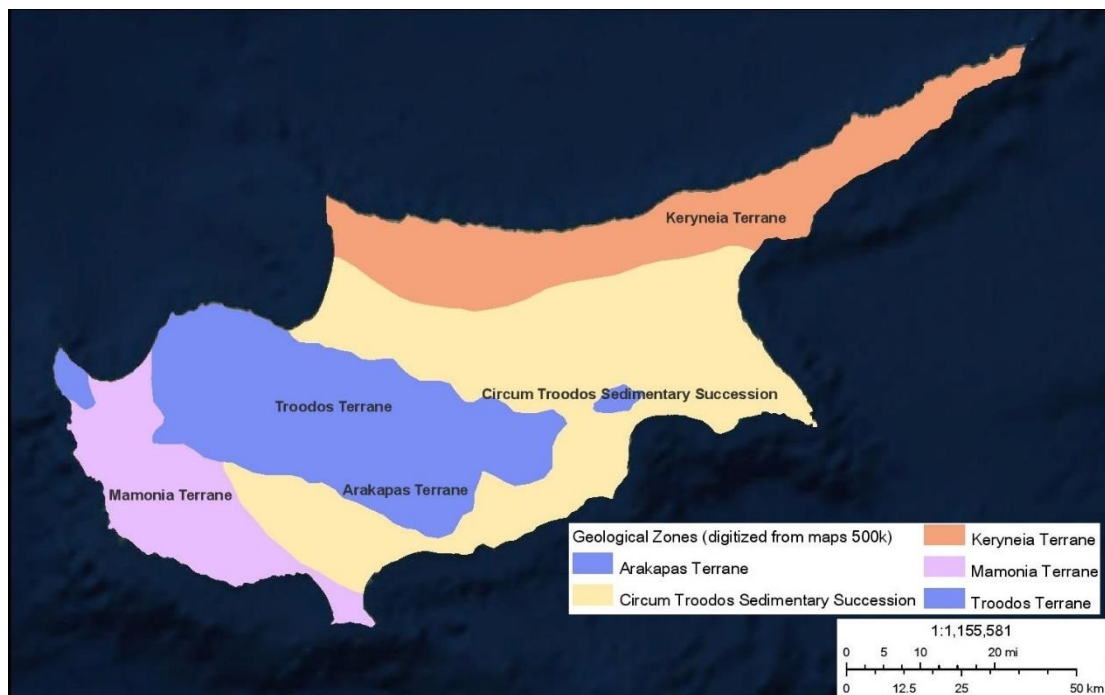


Εικ.4 : Σχηματική απεικόνιση της γεωτεκτονικής εξέλιξης της Κύπρου (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου)

2.3 Οι γεωλογικές ζώνες της Κύπρου

Η γεωλογία της Κύπρου υποδιαιρείται σε τέσσερις γεωλογικές ζώνες (Εικ.5) που αντιπροσωπεύονται από:

- 1) Τη ζώνη του Τροόδους (Troodos Terrane) με τα οφιολιθικά πετρώματα που βρίσκονται στην ομώνυμη οροσειρά
- 2) Τη ζώνη των αυτόχθονων ιζηματογενών πετρωμάτων (Circum Troodos Sedimentary Succession) που τοποθετείται στην ιζηματογενή λεκάνη της Μεσαορίας και στην νότια και ανατολική περιφέρεια του Τροόδους
- 3) Τη ζώνη της Κερύνειας ή Πενταδακτύλου (Keryneia Terrane) με τα αλπικά ιζηματογενή πετρώματα
- 4) Τη ζώνη ή σύμπλεγμα των Μαμωνίων (Mamonia Terrane) στο ΝΔ τμήμα της Κύπρου



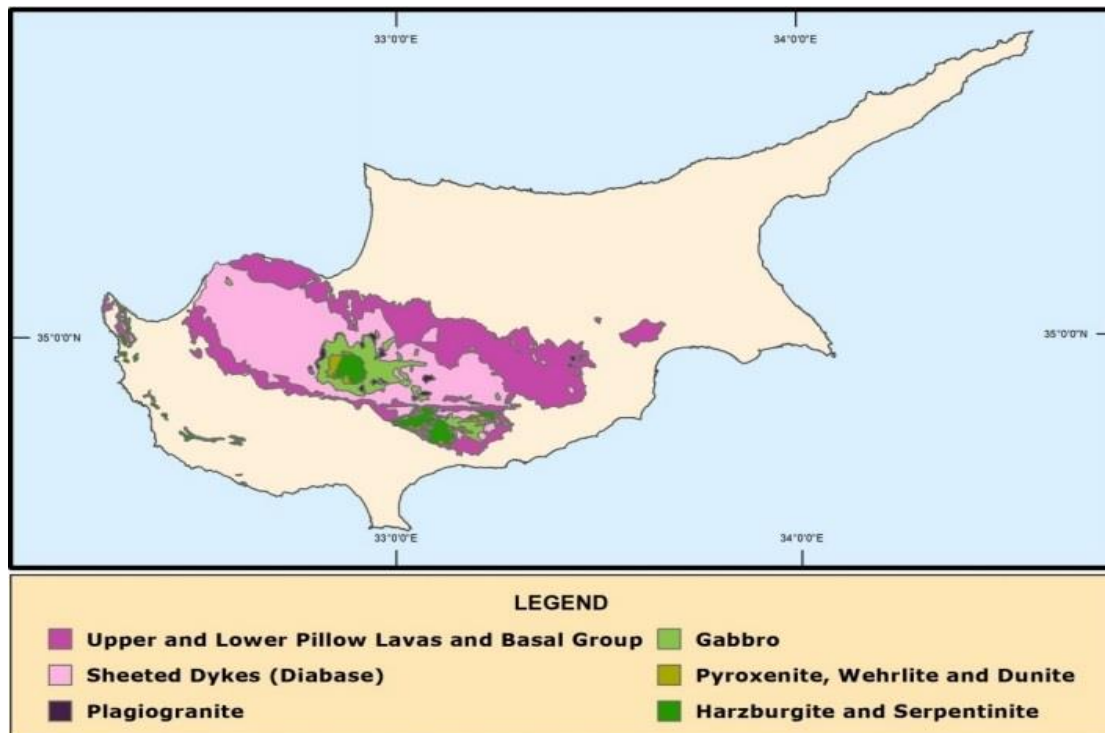
Εικ. 5: Οι γεωλογικές ζώνες της Κύπρου (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου)

2.3.1 Η ζώνη του Τροόδους

Το οφιολιθικό σύμπλεγμα του Τροόδους (Εικ.6) αντιπροσωπεύει ένα πλήρως ανεπτυγμένο τμήμα ωκεάνιου φλοιού (Ανω Κρητιδικό, 92 εκατ. έτη) στο οποίο συναντώνται πλουτωνικά, ηφαιστειακά πετρώματα καθώς και άλλα χημικά ιζήματα.

Οι οφιόλιθοι του Τροόδους διατηρούν μια σχεδόν ανέπαφη στρωματογραφία που προσομοιάζει την τυπική στρωματώδη δομή των μεσοωκεάνιων ραχών . Σε μια τυπική λιθοστρωματογραφική στήλη της οφιολιθικής ακολουθίας από κάτω προς τα πάνω συναντώνται:

- (α) Πετρώματα της ακολουθίας του μανδύα
- (β) Πλουτωνικά πετρώματα
- (γ) Φλεβικά πετρώματα βασαλτικής σύστασης
- (δ) Ηφαιστειακά πετρώματα και ροές pillow λαβών
- (ε) Ραδιολαριτικοί κερατόλιθοι και πηλίτες με ενδιάμεσες ασυνεχείς εμφανίσεις φαιοχωμάτων.



Εικ. 6: Η ζώνη του Τροόδους (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου)

Τα πλουτωνικά πετρώματα αν και στρωματογραφικά κατώτερα, εντοπίζονται στο υψηλότερο σημείο της οροσειράς ενώ τα στρωματογραφικά ανώτερα πετρώματα εμφανίζονται στις παρυφές της οροσειράς. Αυτή η τοπογραφική αναστροφή οφείλεται στη διαφορετική διάβρωση της οροσειράς καθώς και στον τρόπο ανύψωσης της (δημιουργία δόμου).

Η **ακολουθία των πετρωμάτων του μανδύα** περιλαμβάνει σε ποσοστό εμφάνισης 90% χαρτζβουργίτη, 10% δουνίτη και 0-2% χρωμίτη. Τα πετρώματα αυτά κυρίως στα νότια του Τροόδους υπέστησαν εκτεταμένη εξαλλοίωση με το 50-80% των αρχικών τους ορυκτών να έχει εξαλλοιωθεί σε ορυκτά του σερπεντίνη και σε σερπεντινίτη. Ο δουνίτης απαντάται σποραδικά μέσα στο χαρτζβουργίτη σε σώματα διαφόρων μεγεθών. Σε πολλά από αυτά τα δουνιτικά σώματα περιέχονται σημαντικές συγκεντρώσεις χρωμίτη.

Τα **πλουτωνικά πετρώματα** του Τροόδους περιλαμβάνουν δουνίτες, βερλίτες, πυροξενίτες, και γάββρους ενώ σε μικρές και ασυνεχείς εμφανίσεις συναντώνται οι πλαγιογρανίτες. Εμφανίζονται σε δύο ξεχωριστές περιοχές στο οφιολιθικό σύμπλεγμα με την πρώτη γύρω από την κεντρική κορυφή του Ολύμπου και τη δεύτερη νότια του Τροόδους στο δάσος της Λεμεσού. Στη βάση της στρωματογραφικής στήλης βρίσκεται ο δουνίτης ο οποίος ακολουθείται προς τα πάνω από το βερλίτη με ενδιάμεση ζώνη κλινοπυροξενικού δουνίτη. Προς τα πάνω ο βερλίτης μεταπίπτει σε πυροξενίτη και στη συνέχεια σε γάββρους. Πάνω από τους γάββρους και υπό μορφή μικρών ασυνεχών εμφανίσεων συναντάται ο πλαγιογρανίτης ενώ μετά ακολουθεί το σύστημα πολλαπλών φλεβών.

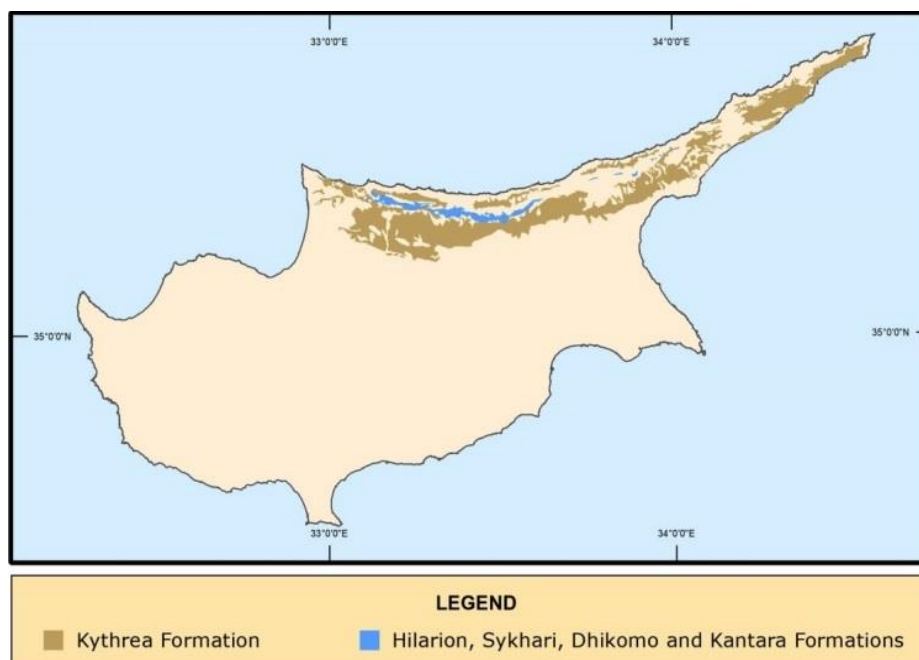
Το **σύμπλεγμα πολλαπλών φλεβών** (διαβάσης) αποτελείται από μια αλληπάλληλη σειρά φλεβών που καλύπτει ολόκληρη σχεδόν την έκταση της οροσειράς του Τροόδους. Τα κύρια χαρακτηριστικά των φλεβών είναι η βασαλτική έως δολεριτική σύσταση, η λεπτοκρυσταλλική έως μεσοκρυσταλλική υφή, η ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση και η σχεδόν κατακόρυφη διάταξη τους. Ανάμεσα στο σύμπλεγμα των πολλαπλών φλεβών και στις pillow λάβες συναντάται μεταβατική ζώνη γνωστή ως ορίζοντας βάσης που στο μεγαλύτερο της ποσοστό αποτελείται από φλέβες.

Τα **ηφαιστειακά πετρώματα** του Τροόδους αποτελούνται από ροές pillow λαβών, βασάλτες και ανδεσίτες. Οι λάβες με βάση το χρώμα τους, τη σύστασή τους και το βαθμό συμμετοχής φλεβών χωρίζονται σε **ανώτερο** και σε **κατώτερο οριζόντα λαβών**. Ο ανώτερος ορίζοντας αποτελείται από 80-90% pillow λάβες και 10-20% από φλέβες. Οι pillow λάβες έχουν χαρακτηριστικό σφαιρικό ή ελλειψοειδές σχήμα με διάμετρο 30 έως 70 εκατοστά. Ο κατώτερος ορίζοντας αποτελείται κυρίως από βασάλτες και ανδεσίτες ενώ σε μικρότερο ποσοστό συναντώνται pillow λάβες και φλέβες. Το μέγιστο πάχος των δύο οριζόντων δεν ξεπερνά το 1,5 χλμ.

Ο σχηματισμός του Πέρα Πέδι συνδέεται στενά με την εξέλιξη της οφιολιθικής ακολουθίας. Στο σχηματισμό αυτό συναντώνται φαιοχώματα (σύμπρες), ραδιολαρίτες και ραδιολαριτικοί πηλίτες και αντιπροσωπεύουν τα πρώτα ιζήματα που αποτέθηκαν στα οφιολιθικά πετρώματα και συγκεκριμένα πάνω στις pillow λάβες. Τα φαιοχώματα ή σύμπρες είναι λεπτόκοκκα άμορφα χημικά ιζήματα πλούσια σε οξείδια σιδήρου και μαγγανίου. Το χρώμα τους ποικίλλει από καφέ, καστανό έως μαύρο. Συνήθως εμφανίζονται σε στρώσεις ή ακόμα και σε συμπαγείς μορφές και το μέγιστο πάχος τους έχει υπολογιστεί στα 35 μέτρα (Robertson, 1975). Τα φαιοχώματα σύμφωνα με τις επικρατέστερες απόψεις θεωρούνται χημικά ιζήματα που προέκυψαν έπειτα από υδροθερμικές διεργασίες και χημική ιζηματογένεση σε περιβάλλον μεσοωκεάνιας ράχης.

2.3.2 Η ζώνη της Κερύνειας

Η ζώνη της Κερύνειας ή Πενταδακτύλου (Εικ.7) είναι η βορειότερη γεωλογική ζώνη της Κύπρου και αποτελεί τη νοτιότερη προέκταση της Ταυρο-Δειναρικής αλπικής ζώνης.



Εικ.7: Η γεωλογική ζώνη της Κερύνειας (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου)

Εμφανίζει τοξοειδή διάταξη με διεύθυνση Ανατολή-Δύση και κυρίαρχο

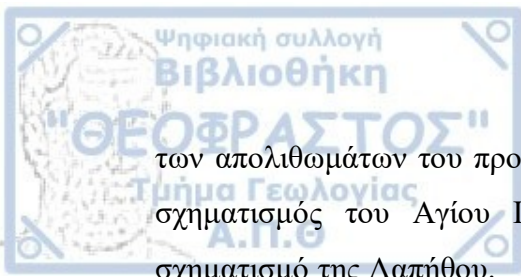
χαρακτηριστικό της είναι οι επωθήσεις τεμαχίων προς Νότο. Η γεωλογική ζώνη συμπίπτει με τη γεωμορφολογική ζώνη της οροσειράς του Πενταδακτύλου, μία επιμήκη κρημνώδη οροσειρά με κορυφή τα 1024 μέτρα. Αλλόχθονα πετρώματα δομούν τους κατώτερους και παλαιότερους σχηματισμούς της ζώνης με πετρώματα Μεσοζωικής ηλικίας. Ακολουθούν τα νεότερα αυτόχθονα ιζηματογενή πετρώματα (ηλικίας 67 μέχρι 15 εκατ. ετών) πάνω από τα οποία επωθήθηκαν στα νοτιότερα της ζώνης οι παλαιότεροι αλλόχθονοι σχηματισμοί.

2.3.2.1 Αλλόχθονοι σχηματισμοί

Ο σχηματισμός του Δικόμου αποτελεί τη βάση της σειράς των μεσοζωικών ασβεστόλιθων της Κερύνειας και διακρίνεται από τα υπερκείμενα πετρώματα του σχηματισμού του Συγχαρί με τεκτονική επαφή. Περιλαμβάνει παραμορφωμένους λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους, ενίοτε μαρμαρυγιούχους, με ενστρώσεις πράσινων και γκριζών φυλλιτών. Τα στρώματα έχουν συνήθως μαύρο χρώμα με φλεβίδια ασβεστίτη και το πάχος τους κυμαίνεται από μερικά χιλιοστά έως και τρία μέτρα. Η ηλικία του σχηματισμού είναι Τριαδική και το πάχος του κυμαίνεται από 20 μέχρι 100 μέτρα.

Ο σχηματισμός του Συγχαρί αποτελείται από συμπαγείς και παχυστρωματώδεις δολομιτικούς ασβεστόλιθους χρώματος ανοικτού έως σκούρου γκρι. Στα σημεία ρηγμάτων και ζωνών επώθησης του σχηματισμού οι ασβεστόλιθοι είναι έντονα κερματισμένοι και δύσκολα αναγνωρίζονται. Στις ισχυρά θρυμματισμένες ζώνες τα κενά πληρούνται από χονδρόκοκκο ψαμμίτη με χαμηλό βαθμό συγκόλλησης. Η μικροσκοπική ανάλυση του ασβεστόλιθου έδειξε την παρουσία λεπτοκέλυφων οστρακοειδών Μεσοζωικής ηλικίας, που υποδηλώνει περιβάλλον απόθεσης των ασβεστόλιθων σε αβαθή και υφάλμυρα νερά. Η ηλικία του σχηματισμού θεωρείται Ιουρασική (200-140 εκατ. έτη).

Ο σχηματισμός του Αγίου Ιλαρίωνα αποτελείται από συμπαγείς μεσοστρωματώδεις και φυλλώδεις ασβεστόλιθους οι οποίοι υπέστησαν μία χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση. Στους ανώτερους ορίζοντες του σχηματισμού οι ασβεστόλιθοι είναι λευκοί και φυλλώδεις. Στους κατώτερους ορίζοντες οι ασβεστόλιθοι εμφανίζονται γκριζογάλαζοι και μεσοστρωματώδεις ενώ περιλαμβάνουν επίσης απολιθώματα του φύκους *Cladocoropsis* (200 – 140 εκατ. έτη). Το πάχος του σχηματισμού κυμαίνεται από 100 έως 200 μέτρα ενώ η ηλικία του με βάση την ηλικία



των απολιθωμάτων του προσδιορίστηκε στο Ιουρασικό έως κατώτερο Κρητιδικό. Ο σχηματισμός του Αγίου Παρίωνα μεταπίπτει προς τα πάνω στον αυτόχθονο σχηματισμό της Λαπήθου.

Ο ασβεστόλιθοι της Καντάρας αποτελούν τα αρχαιότερα πετρώματα στο χώρο της Κύπρου και απαντώνται στο ανατολικότερο τμήμα της οροσειράς του Πενταδακτύλου. Το μέγιστο πάχος και μήκος τους φτάνει τα 200 και 1500 μέτρα αντίστοιχα. Οι ασβεστόλιθοι εμφανίζονται συμπαγείς, σκληροί και λεπτόκοκκοι ενώ δεν παρουσιάζουν ενδείξεις επηρεασμού από τεκτονισμό. Χαρακτηριστικές είναι οι εμφανίσεις των ασβεστόλιθων στο σχηματισμό Καλογραίας-Αρδάνων υπό τη μορφή ολισθόλιθων. Οι χρονολογήσεις των απολιθωμάτων που περιέχονται στους ασβεστόλιθους τους προσδίδουν ηλικία Περμίου.

2.3.2.2 Αυτόχθονοι σχηματισμοί

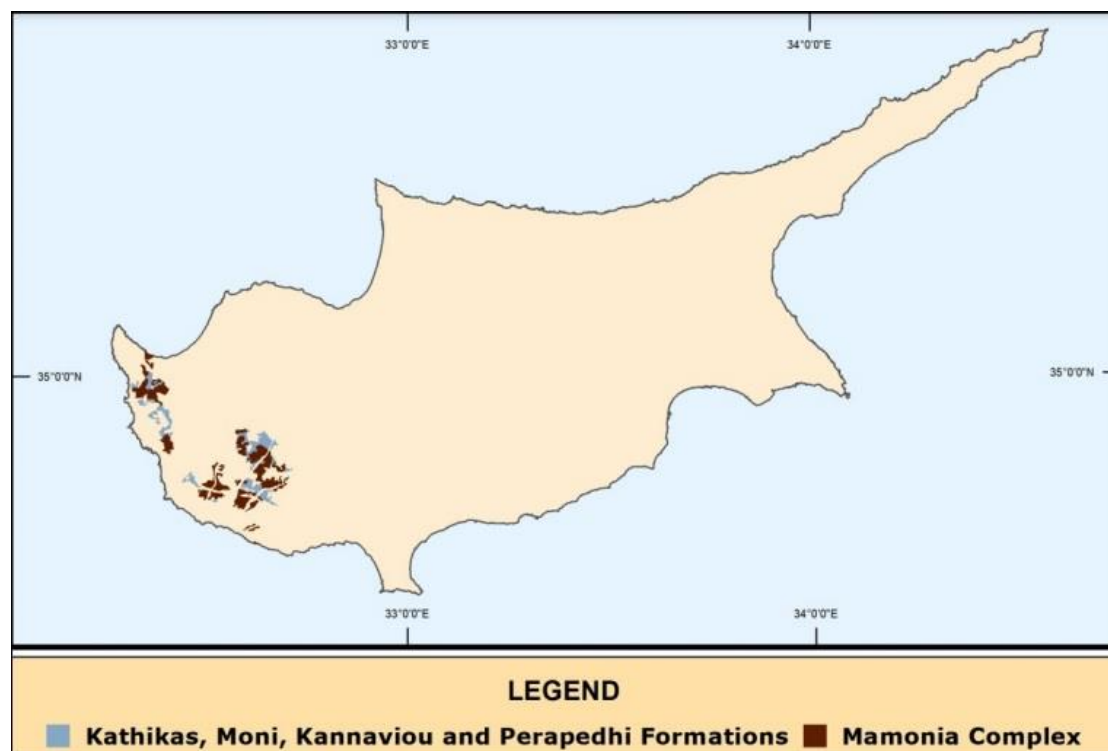
Ο σχηματισμός της Λάπηθου αποτελεί τον παλαιότερο αυτόχθονο σχηματισμό της ζώνης της Κερύνειας και η ηλικία του προσδιορίζεται στο Άνω Κρητιδικό έως Μειόκαινο. Περιλαμβάνει μια σειρά από ανακρυσταλλωμένες κρητίδες και λατυποπαγή, ροδόχρωμους αργιλικούς σχιστόλιθους και κρητίδες με κερατόλιθους. Στα κατώτερα μέλη του σχηματισμού παρεμβάλλονται ροές pillow λαβών ενώ τα λατυποπαγή χαρακτηρίζονται από τοπικές εξαπλώσεις με πάχος 200 μέτρα. Τα ιζήματα του σχηματισμού Λαπήθου στο χρονικό διάστημα από το ανώτερο Κρητιδικό (67 εκατ. έτη) έως το Ηώκαινο (38 εκατ. έτη) υπέστησαν ισχυρές τεκτονικές παραμορφώσεις. Το τέλος των τεκτονικών γεγονότων ακολούθησε η εναπόθεση των υπερκείμενων κλαστικών ιζημάτων του σχηματισμού της Καλογραίας-Αρδάνων.

Ο σχηματισμός της Καλογραίας-Αρδάνων επικάθεται ασύμφωνα στα έντονα τεκτονισμένα πετρώματα του σχηματισμού της Λάπηθου. Στη βάση του σχηματισμού συναντάται ανακρυσταλλωμένο λατυποπαγές βάσης το οποίο περιέχει κυρίως γωνιώδη τεμάχια ασβεστόλιθων, κρητίδων και λαβών μέσα σε ασβεστούχα μάζα. Τα λατυποπαγή ακολουθούν προς τα πάνω αμμούχες μάργες, μαργαϊκές κρητίδες και κρητίδες εναλλασσόμενες με λατυποπαγή τα οποία αντιπροσωπεύουν ασβεστούχες φάσεις ιζηματογένεσης. Τα ανώτερα τμήματα του σχηματισμού συμπληρώνει ο Ηωκαινικός φλύσχης (προϊόν αμμούχας φάσης ιζηματογένεσης) ο οποίος περιλαμβάνει εναλλασσόμενα στρώματα χονδρόκοκκων άμμων, ψαμιτιών και μαργών με ενστρώσεις ασβεστολιθικού κροκαλοπαγούς.

Ο σχηματισμός της Κυθρέας υπέρκειται με τεκτονική επαφή του Ηωκαινικού φλύσχη και συναντάται κατά μήκος των δύο πλαγιών της οροσειράς του Πενταδακτύλου. Περιλαμβάνει μεγάλου πάχους φλύσχη (πτυχωμένοι ψαμμίτες, ιλύολιθοι και μάργες) και το μέγιστο πάχος του υπολογίζεται στα 2300 μέτρα. Ο φλύσχη της Κυθρέας εναποτέθηκε κατά το μέσο Μειόκαινο (16-11 εκατ. έτη) σε μια επιμήκη τάφρο που πιστεύεται ότι υπήρχε βόρεια του Τροόδους. Στο φλύσχη της Κυθρέας επικάθονται με ασυμφωνία κρητίδες και μάργες πάχους 120 μέτρων που ανήκουν στο σχηματισμό Λαπάτσας (Μέσο-Άνω Μειόκαινο).

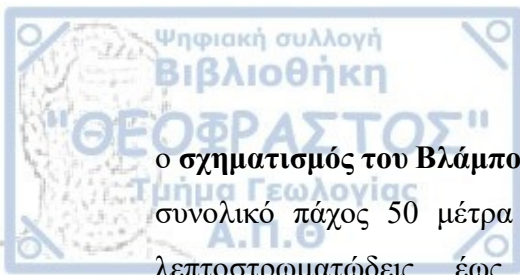
2.3.3 Η ζώνη (σύμπλεγμα) των Μαμωνίων

Το σύμπλεγμα των Μαμωνίων (Εικ.8) διαχωρίζεται σε τρεις γεωλογικές ενότητες: την ομάδα Αγίου Φωτίου (Agios Photios Group), την ομάδα του Διάριζου (Dhiarizos Group) και την ενότητα της Αγίας Βαρβάρας (Ayia Varvara Formation).

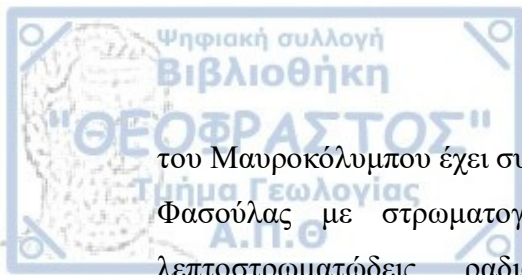


Εικ. 8: Η γεωλογική ζώνη των Μαμωνίων (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου)

Η ομάδα Αγίου Φωτίου αποτελείται από μια σειρά Άνω-Τριαδικών έως Μέσο-Κρητιδικών ιζηματογενών πετρωμάτων τα οποία υπέρκεινται των πετρωμάτων της ομάδας Διάριζου. Το μέγιστο πάχος της ομάδας φτάνει τα 235 μέτρα και συγκροτείται από τρεις γεωλογικούς σχηματισμούς. Στη βάση της ομάδας Αγίου Φωτίου συναντάται



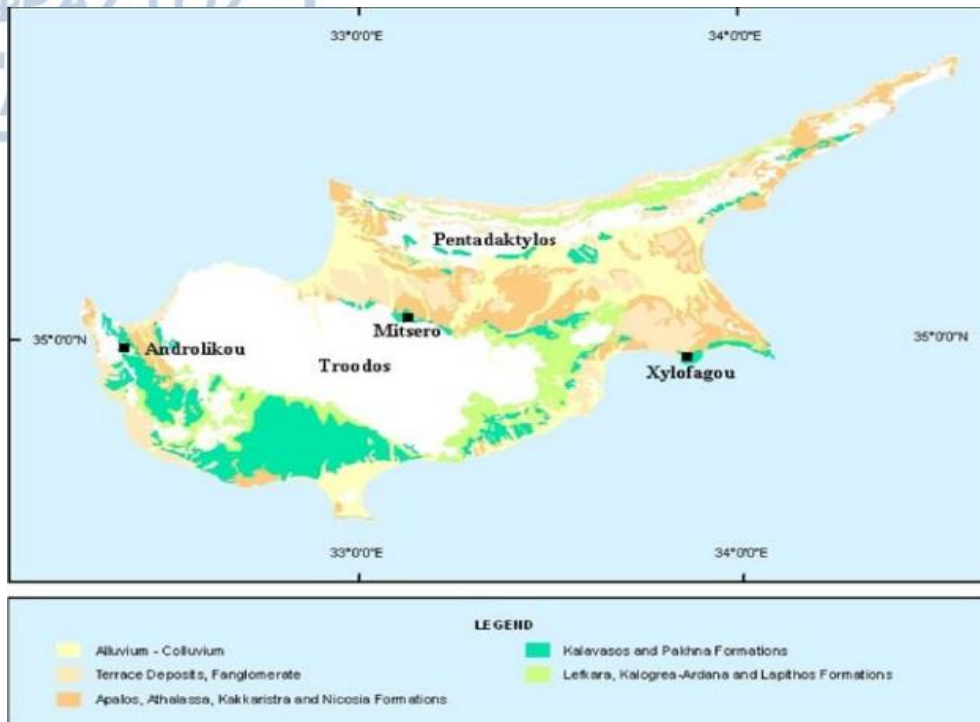
ο **σχηματισμός του Βλάμπουρου** (Vlambouros Formation). Ο σχηματισμός αυτός έχει συνολικό πάχος 50 μέτρα και συνίσταται από Άνω-Τριαδικούς (210 εκατ. έτη) λεπτοστρωματώδεις έως παχυστρωματώδεις ψαμμίτες σε εναλλαγές με ραδιολαριτικούς πηλίτες και ασβεστολουτίτες. Οι ψαμμίτες στα ανώτερα του σχηματισμού μεταπίπτουν σε ασβεστιτικούς. Ο σχηματισμός του Βλάμπουρου υπέρκειται τεκτονικά της ομάδας Διάριζου. Πάνω από το σχηματισμό του Βλάμπουρου επικάθεται ο **σχηματισμός του Μάρωνα** (Marona Formation) ο οποίος συνίσταται από μερικώς ανακρυσταλλωμένους πελαγικούς ασβεστόλιθους με πάχος 20 μέτρα. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί είναι γκρίζοι, λεπτόκοκκοι και περιλαμβάνουν πληθώρα απολιθωμάτων με σημαντικότερο το ελασματοβράγχιο Halobia βάσει του οποίου προσδιορίστηκε η ηλικία του σχηματισμού ως Άνω-Τριαδική (210 εκατ. έτη). Στην κορυφή της ομάδας Αγίου Φωτίου συναντάται ο **σχηματισμός της Επισκοπής** (Episkopi Formation) ο οποίος υπέρκειται του σχηματισμού του Μάρωνα. Ο σχηματισμός αυτός περιλαμβάνει ιλυόλιθους, ραδιολαριτικούς κερατόλιθους, πηλίτες, ασβεστολουτίτες με μικρές τοπικές εμφανίσεις ασβεστολιθικών κροκαλοπαγών και χαλαζιακών-ασβεστιτικών ψαμμιτών. Η ηλικία του σχηματισμού προσδιορίστηκε ως Κάτω-Ιουρασική έως Μέσο- Κρητιδική (190-100 εκατ. έτη) και το πάχος του φτάνει τα 165 μέτρα. Τα ιζήματα πετρωμάτων όπως οι ψαμμίτες που έχουν χερσογενή προέλευση εκτιμάται ότι μεταφέρθηκαν πολύ γρήγορα και αποτέθηκαν σε περιβάλλον βαθιάς θάλασσας όπου επικρατούσαν συνθήκες ιζηματογένεσης ραδιολαριτών, κερατόλιθων και πηλιτών. Η ομάδα του Διάριζου είναι υποκείμενη της ομάδας Αγίου Φωτίου και μεταξύ τους διαχωρίζονται από μια τεκτονική επαφή μικρής γωνίας. Στην ομάδα περιλαμβάνεται μια σειρά ηφαιστειακών πετρωμάτων Άνω-Τριαδικής ηλικίας (210 εκατ. έτη) με υπερκείμενα ιζηματογενή πετρώματα βαθιάς θάλασσας Ιουρασικής έως Μέσο-Κρητιδικής ηλικίας (190-100 εκατ. έτη). Η ομάδα Διάριζου υποδιαιρείται στο **σχηματισμό της Φασούλας** (Phasoula Formation), στο **σχηματισμό της Πέτρας του Ρωμιού** (Petra του Romiou Formation) και στον **σχηματισμό του Μαυροκόλυμπου** (Mavrokolymbos Formation). Ο σχηματισμός της Φασούλας περιλαμβάνει κυρίως προσκεφαλοειδείς λάβες (pillow lavas) βασαλτικής και ανδεσιτικής σύστασης. Μεταξύ των λαβών παρεμβάλλεται λεπτόκοκκος ασβεστόλιθος ο οποίος τις διακρίνει από τις νεότερες λάβες του Τροόδους. Ο ασβεστόλιθος έχει μικρό πάχος όμως λόγω των μικροαπολιθωμάτων που περιέχει η ηλικία των λαβών προσδιορίστηκε ως Άνω-Τριαδική (200 εκατ.έτη). Η βάση του σχηματισμού δεν εμφανίζεται όμως εκτιμάται ότι το πάχος του ξεπερνάει τα 200 μέτρα. Ο σχηματισμός



του Μαυροκόλυμπου έχει συνολικό πάχος 45 μέτρων και υπέρκειται του σχηματισμού Φασούλας με στρωματογραφική ασυμφωνία. Περιλαμβάνει μια σειρά από λεπτοστρωματώδεις ραδιολαριτικούς πηλίτες, μαγγανιούχους ιλυόλιθους, ασβεστολουτίτες και λευκούς ραδιολαριτικούς ιλυόλιθους. Στη βάση του σχηματισμού συναντάται ένα γκρι στρώμα αργίλου στο οποίο περιέχονται κομμάτια λάβας. Τα ανώτερα όρια του σχηματισμού διαχωρίζονται με τεκτονική επαφή από την υπερκείμενη ομάδα του Αγίου Φωτίου. Ο σχηματισμός της Πέτρας του Ρωμιού συνίσταται από διάσπαρτα στο χώρο της ΝΔ Κύπρου ογκώδη τεμάχια υφαλογενών ασβεστόλιθων. Οι ασβεστόλιθοι είναι μερικώς ανακρυσταλλωμένοι και περιέχουν κομμάτια λάβας όμοιας σύστασης με τις λάβες του σχηματισμού Φασούλας. Το πάχος του σχηματισμού κατέστη αδύνατο να εξακριβωθεί καθώς τα πετρώματα του εμφανίζονται ως τεμάχια μέσα στο οφιολιθικό μίγμα (melange) των Μαμωνίων. Η ηλικία του σχηματισμού βάση των απολιθωμάτων που περιέχονται στους ασβεστόλιθους προσδιορίζεται ως Άνω-Τριαδική (200 εκατ. έτη). Ο σχηματισμός της Αγίας Βαρβάρας αποτελείται από μια σειρά μεταμορφωμένων πετρωμάτων τα οποία πιστεύεται ότι προήλθαν από μεταμόρφωση των πετρωμάτων της ομάδας του Διάριζου στην πρασινοσχιστολιθική έως αμφιβολιτική φάση. Το συνολικό πάχος του σχηματισμού είναι περίπου 200 μέτρα και περιλαμβάνει αμφιβολίτες, σχιστόλιθους και μάρμαρα.

2.3.4 Η αυτόχθονη ιζηματογενής σειρά του Τροόδου

Η αυτόχθονη ιζηματογενής ακολουθία του Τροόδου (Εικ.9) περιλαμβάνει ιζηματογενή πετρώματα (Άνω Κρητιδικό – Πλειστόκαινο) τα οποία υπέρκεινται των οφιολίθων του Τροόδου καθώς και του Συμπλέγματος των Μαμωνίων. Η ιζηματογένεση στο γεωλογικό χώρο της Κύπρου άρχισε πριν από 80 εκατ. έτη στο Άνω Κρητιδικό σε μια θάλασσα που γινόταν ολοένα και πιο αβαθής. Με τον όρο αυτόχθονα στην γεωλογία εννοούνται τα πετρώματα που δεν έχουν μετακινηθεί από την αρχική θέση σχηματισμού τους ενώ τα αλλόχθονα είναι πετρώματα που μετακινήθηκαν από τη θέση σχηματισμού τους.



Εικ. 9: Η αυτόχθονη ιζηματογενής σειρά του Τροόδους (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου)

Ο **σηματισμός της Κανναβιού** αποτελεί τα πρώτα ιζήματα της αυτόχθονης ακολουθίας. Η μεγαλύτερη του ανάπτυξη είναι στη δυτική Κύπρο, όπου υπέρκειται των rillow λαβών και του σχηματισμού του Πέρα Πέδι. Ο σχηματισμός της Κανναβιού περιλαμβάνει μια σειρά από μεντονιτικές άργιλους με ενστρώσεις ηφαιστειοκλαστικών ιυολίθων, ραδιολαριτών και μαγγανιούχων πηλιτών. Στα ανώτερα τμήματα του σχηματισμού συναντώνται παχυστρωματώδεις ηφαιστειοκλαστικοί ψαμμίτες. Η ηλικία του σχηματισμού υπολογίστηκε στο Καμπάνιο μέχρι Μέσο Μαιστρίχτιο (75-70 εκατ. έτη) βάσει χρονολογήσεων τρηματοφόρων και ακτινόζωων. Στην Νοτιοδυτική Κύπρο ο σχηματισμός εμφανίζεται μέσα από τεκτονικά παράθυρα των υπερκείμενων και επωθημένων πετρωμάτων του συμπλέγματος των Μαμωνίων.

Οι **σηματισμοί Μονής και Κάθηκα** εμφανίζονται στη Δυτική Κύπρο και η δημιουργία τους είναι στενά συνδεδεμένη με την επώθηση του Συμπλέγματος των Μαμωνίων κατά το Μαιστρίχτιο στους οφιόλιθους του Τροόδους καθώς εμφανίζονται σε αρκετές περιοχές να επικάθονται στην εν λόγω ζώνη. Οι σχηματισμοί περιλαμβάνουν κλαστικά ιζήματα και ογκόλιθους με τυπικές λιθολογίες των πετρωμάτων του Συμπλέγματος των Μαμωνίων και του Τροόδους.



Ο **σχηματισμός των Λευκάρων** (Παλαιόκαινο- Κάτω Μειόκαινο), περιλαμβάνει πελαγικές μάργες και άσπρες κρητίδες με παρουσία ή μη κερατόλιθων. Διαθέτει τα παλαιότερα ιζηματογενή πετρώματα που αποτέθηκαν πάνω και στις τρεις γεωτεκτονικές ζώνες της Κύπρου. Ο σχηματισμός έχει πάχος που κυμαίνεται από 50 έως 80 μέτρα. Η πλήρης στρωματογραφική ανάπτυξη του σχηματισμού αντιπροσωπεύεται από τέσσερα στρωματογραφικά μέλη:

- Το μέλος των κατώτερων μαργών το οποίο περιλαμβάνει γκριζες ή ροδόχροες λεπτοστρωματώδεις μάργες με φακοειδή σώματα κερατόλιθων
- Το μέλος των κρητίδων και κερατόλιθων που περιλαμβάνει πολύ καλά στρωμένες λευκές κρητίδες, γκριζες μαργαϊκές κρητίδες και πυριτικά στρώματα
- Το μέλος των κρητίδων που περιλαμβάνει συμπαγείς έως φυλλώδεις κρητίδες
- Το μέλος των ανώτερων μαργών που περιλαμβάνει γκριζες μάργες με στρώματα οργανικής ύλης

Ο **σχηματισμός της Πάχνας** εναποτέθηκε πριν 22 εκατ. έτη στο τέλος του Ολιγοκαίνου ενώ το πάχος του κυμαίνεται από 300 έως 400 μέτρα, και είναι υπερκείμενος του σχηματισμού των Λευκάρων. Τα ιζήματα του σχηματισμού της Πάχνας είναι υποκίτρινες κρητίδες και μάργες οι οποίες διακρίνονται εύκολα από τις κατάλευκες κρητίδες του σχηματισμού των Λευκάρων. Τον σχηματισμό χαρακτηρίζει η παρουσία στρωμάτων ασβεστιτικού ψαμμίτη και η κατά τόπους ανάπτυξη κροκαλοπαγών. Η ιζηματογένεση του σχηματισμού άρχισε και τελείωσε σε περιβάλλον αβαθούς θάλασσας με το σχηματισμό υφαλογενών ασβεστόλιθων του Μέλους Τέρρα στη βάση και του Μέλους Κορώνια στην κορυφή του σχηματισμού.

Ο **σχηματισμός της Καλαβασού** αποτελείται από γύψους και γυψούχες μάργες που διατάσσονται περιμετρικά της οεροσειράς του Τροόδους. Τα κοιτάσματα γύψου (γνωστά ως εβαπορίτες) σχηματίστηκαν στο Μεσσήνιο (Άνω Μειόκαινο) ως αποτέλεσμα της αποκοπής της Μεσογείου Θάλασσας από τον Ατλαντικό Ωκεανό και της επακόλουθης πτώσης της στάθμης της θάλασσας λόγω εξάτμισης. Η γύψος εμφανίζεται στην Κύπρο με τέσσερις τύπους. Τον ελασματοειδή, τον σακχαροειδή (ή κρυσταλλικό), το αλάβαστρο (ημιδιαφανής συμπαγής γύψος) και τον σελενίτη (μεγάλοι διαφανείς δίδυμοι κρύσταλλοι).



Ο **σχηματισμός της Λευκωσίας** εναποτέθηκε σε νέο κύκλο ιζηματογένεσης που άρχισε με την αποκατάσταση της Μεσογείου θάλασσας με τον Ατλαντικό ωκεανό. Ο σχηματισμός περιλαμβάνει μάργες με ενστρώσεις λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων ασβεστιτικών ψαμμιτών ενώ από τα κάτω προς τα πάνω παρατηρείται μια κλιμακωτή μετάβαση από λεπτόκοκκα προς αδρόκοκκα ιζήματα. Στην πλήρη του ανάπτυξη ο σχηματισμός της Λευκωσίας έχει πάχος 900 μέτρων και περιλαμβάνει τρία μέλη:

- Το κατώτερο μέλος της Μάργας, το οποίο επικάθεται ασύμφωνα στα υποκείμενα πετρώματα του σχηματισμού της Καλαβασού και περιλαμβάνει κίτρινους ιλύολιθους
- Το μέλος της Αθαλάσσας που αποτελείται από ασβεστιτικό ψαμμίτη με μαργαϊκές ενστρώσεις. Το πέτρωμα αυτό παρουσιάζει καλές μηχανικές ιδιότητες που του επέτρεψαν να χρησιμοποιηθεί ως δομικό υλικό
- Το ανώτερο μέλος Άμμου το οποίο περιλαμβάνει παχυστρωματώδη ασβεστιτικό ψαμμίτη με τοπικές παρεμβολές στρωμάτων ασβεστιτικής μάργας

Ο **σχηματισμός του Απαλού** καλύπτει εξολοκλήρου την κοιλάδα της Μεσσαορίας και επικάθεται των ιζημάτων του σχηματισμού Λευκωσίας. Αποτελείται από ποτάμιες αποθέσεις χαλικιών, άμμων και ιλύων και χρονολογείται στο Πλειστόκαινο.

Το **Σύνναγμα** περιλαμβάνει Πλειστοκαινικές αποθέσεις αμμοχαλικών που προήλθαν από την έντονη διάβρωση των οφιολίθων του Τροόδους. Παρατηρούνται άμμοι, ιλύες και γωνιώδη τεμάχια οφιολιθικών πετρωμάτων τα οποία στην κορυφή του Σύνναγματος είναι ισχυρά συγκολλημένα με ασβεστιτικό υλικό και συγκροτούν σκληρά λατυποπαγή ανθεκτικά στη διάβρωση.

Κεφάλαιο 3. Οι χρωστικές της Κύπρου

3.1. Γενικά στοιχεία

Η αγορά των φυσικών χρωστικών ουσιών στην Κύπρο περιλαμβάνει τις ούμπρες, τη σιέννα, την ψημένη ούμπρα, την ώχρα, και την πράσινη γη. Οι ούμπρες (umber, Εικ.10) είναι συμπαγή, καφεκόκκινα έως μαύρα, λεπτόκοκκα ιζήματα (συμπαγείς πηλίτες) τα οποία είναι πολύ πλούσια σε οξειδία μαγγανίου και σιδήρου. Είναι γνωστές στην ελληνική βιβλιογραφία και ως φαιοχρώματα και απαντώνται στο γεωλογικό σχηματισμό του Πέρα Πέδι της ζώνης Τροόδους. Στο ύπαιθρο συναντώνται με φακοειδή σώματα σε καταπτώσεις της επιφάνειας των ανώτερων pillow λαβών. Τα αποθέματα ούμπρας έχουν έκταση μερικών δεκάδων μέτρων και τα μεγαλύτερα από αυτά συναντώνται σε ρηξιγενείς ζώνες (Robertson & Hudson, 1973). Τα επιφανειακά αποθέματα ούμπρας διατηρούν μέσο πάχος 2,5 μέτρων, με εξαίρεση την περιοχή Δράπεια (Εικ.13) όπου το πάχος της φτάνει μέχρι τα 35 μέτρα (Robertson, 1975). Οι ώχρες (ochre) σύμφωνα με τον Constantinou (1972) είναι μεταλλοφόρα ιζήματα, είναι λεπτόκοκκες και πλούσιες σε οξειδία σιδήρου όμως φτωχές σε οξειδία μαγγανίου. Εμφανίζουν καλή στρώση και εναλλασσόμενες σκούρες καστανές και καστανοκίτρινες ζώνες. Φαίνεται να υπερκαλύπτουν τα μεταλλεύματα σουλφιδίων και περιορίζονται στα όρια τους με τα μεταλλεύματα. Οι ώχρες διαχωρίζονται με τις ούμπρες από τις ανώτερες pillow λάβες γεγονός που αποδεικνύει ότι σχηματίστηκαν νωρίτερα και δεν σχετίζονται γενετικά μεταξύ τους (Constantinou, 1972). Αποθέματα ώχρας έχουν αναφερθεί στο Απλίκι, Μαυροβούνι και Αγροκητιά όμως μεγαλύτερα και καλύτερα εκτεθειμένα εντοπίζονται στην Καλαβασό, Μαθιάτη και στη Σκουριώτισσα. Στρωματογραφικά οι ώχρες τοποθετούνται στη σειρά των κατώτερων pillow λαβών της οφιολιθικής ακολουθίας του Τροόδους και συνδέονται γενετικά με τα κοιτάσματα σουλφιδίων (Constantinou & Govett, 1972). Την τρίτη σε σειρά παραγωγής φυσική ορυκτή χρωστική της Κύπρου αποτελεί η πράσινη γη (green earth), γνωστή από την αρχαιότητα με την ονομασία terra verde.

3.2 Η σύσταση των φυσικών χρωστικών

Οι ούμπρες αποτελούνται κυρίως από γκαιτίτη και φτωχά κρυσταλλικά οξειδία μαγγανίου (Helderfield et al., 1972, Constantinou & Govett, 1972), όμως συναντώνται και μικρότερες ποσότητες χαλαζία, απατίτη, σμεκτίτη και μαγγανιούχα ορυκτά όπως πυρολουσίτης και παλυγκορσκίτης (Robertson & Hudson, 1973, Robertson, 1975,

Boyle, 1984). Σύμφωνα με τον Boyle (1984) ο γκαιίτης σχηματίστηκε από το μετασχηματισμό άμορφων οξειδίων σιδήρου στα στάδια της διαγένεσης των ιζημάτων της ούμπρας. Ο πυρολουσίτης είναι το πιο κοινό μαγγανιούχο ορυκτό στις ούμπρες και συναντάται με τη μορφή φλεβιδίων και μαύρων συγκριμάτων. Ανάμεσα στα πολυάριθμα φλεβίδια που διατρέχουν τις ούμπρες εμφανίζονται και λιγότερο κρυσταλλικές φάσεις μαγγανιούχων ορυκτών όπως ο βερναδίτης, τοντοροκίτης και παλυγκορσκίτης. Τα φλεβίδια και τα συγκρίματα μαγγανιούχας σύστασης είναι προϊόντα υδροθερμικών διεργασιών. Από την ομάδα των σμεκτιτών τα μόνα ορυκτά που συναντώνται στις ούμπρες αποτελούν ο μοντμοριλλονίτης και ο σαπωνίτης (Boyle,1984).



Εικ.10: Η κυπριακή ούμπρα (πηγή: unitedumber.com)

Οι ώχρες της Κύπρου εμφανίζονται στο ύπαιθρο με σκούρα καστανά, καστανοκίτρινα και κόκκινα χρώματα. Αυτό το εύρος χρωμάτων οφείλεται στις διάφορες παραλλαγές της ορυκτολογικής και χημικής τους σύστασης. Οι καστανοκίτρινες ώχρες κατά τον Constantinou(1972) είναι οι αφθονότερες και συναντώνται συνήθως σε στρώματα ή μαζώδεις. Ορυκτολογικά αποτελούνται κυρίως από γκαιίτη με μικρότερες ποσότητες σιδηροπυρίτη και χαλαζία. Οι καστανές ώχρες αποτελούνται κυρίως από γκαιίτη, χαλαζία και ιλλίτη. Οι κίτρινες ώχρες (Εικ.11) αποτελούνται κυρίως από αδροκρυσταλλικό γκαιίτη με ποικίλες αναλογίες χαλαζία.

Στις καστανοκίτρινες ώχρες εκτός από καλή στρώση διακρίνονται επίσης εναλλασσόμενες ζώνες χρώματος σκούρου καστανού και κίτρινου. Το σκούρο καστανό χρώμα αρχικά αποδόθηκε στο υψηλό περιεχόμενο μαγγανίου όμως αποδείχθηκε αργότερα πως το πολύ χαμηλό περιεχόμενο μαγγανίου της ώχρας δεν μπορεί να προσδώσει τέτοιο χρώμα. Ο Constantinou (1972) υποστηρίζει ότι το χρώμα των ζωνών οφείλεται στο μέγεθος των κόκκων και το βαθμό κρυστάλλωσης. Συνεπώς στις σκούρες καστανές ώχρες ο γκαιίτης εμφανίζεται λεπτόκοκκος και φτωχά κρυσταλλικός ενώ στις καφεκίτρινες ώχρες ο γκαιίτης είναι αδροκρυσταλλικός.



Εικ.11: Αριστερά: κίτρινη ώχρα , Δεξιά: κόκκινη ώχρα (από ocre-de-france.com)

Η κόκκινη ώχρα (Εικ.11) κατά τον Constantinou (1972) αποτελείται κυρίως από μαγκεμίτη, γκαιίτη και χαλαζία. Σε λεπτές τομές εμφανίζονται ζώνες γκαιίτη να εναλλάσσονται με ζώνες αδροκρυσταλλικού μαγκεμίτη που περικλείει τμήματα γκαιίτη και χαλαζία. Ο σιδηροπυρίτης είναι το αφθονότερο σουλφίδιο στις κόκκινες ώχρες όμως είναι ισχυρά διακλασμένος και αντικαθίσταται από μαγκεμίτη. Ο κοβελλίτης είναι το δεύτερο αφθονότερο σουλφίδιο στις κόκκινες ώχρες και συχνά συναντάται αναπτυγμένος με διγενίτη. Συναντάται επίσης και ο σπάνιος χαλκοπυρίτης. Ο ταινιωτός σιδηροπυρίτης συναντάται εξαιρετικά σπάνια στις ώχρες ενώ ο μη ταινιωτός που είναι ανθεκτικότερος στην αντικατάσταση είναι αφθονότερος. Σε κάθε περίπτωση η αναλογία του σιδηροπυρίτη μακριά από την επαφή της ώχρας με τα μεταλλεύματα μειώνεται εξαιρετικά. Ο Constantinou (1972) αναφέρει αντικατάσταση του σιδηροπυρίτη από τον γκαιίτη και σε μικρότερο ποσοστό από μαγκεμίτη. Η

αντικατάσταση ξεκινά κατά μήκος των διακλάσεων, περιμετρικά των κόκκων και στις ζώνες ανάπτυξης του σιδηροπυρίτη. Στην επαφή ώχρας-μεταλλεύματος εκτός από σιδηροπυρίτη συναντώνται και άλλα σουλφίδια όπως κοβελλίτης, χαλκοπυρίτης, διγενίτης, βορνίτης η αναλογία τους όμως μερικά εκατοστά μακριά από την επαφή μειώνεται ραγδαία.

Η πράσινη γη (Εικ.12), $K[(Al,Fe^{III}), (Fe^{II},Mg)(AlSi_3, Si_4)O_{10}(OH)_2]$, εμφανίζει χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα και στην ορυκτολογία της συμμετέχουν τα ορυκτά κελαδονίτης και γλαυκονίτης. Είναι και τα δυο πυριτικά ορυκτά με παρόμοια σύσταση και η κρυσταλλική δομή τους είναι παρόμοια με τους μαρμαρυγίτες. Η πράσινη γη αποτελεί προϊόν της χημικής αλλοίωσης των κατώτερων pillow λαβών και συναντάται μέσα σε ακανόνιστες φλέβες μέσα στις λάβες. Η εκμετάλλευση της συνεχίζεται μέχρι σήμερα.



Εικ. 12: Κονιοποιημένη πράσινη γη (από ocrs-de-france.com)

3.3 Ο σχηματισμός των φυσικών χρωστικών

Παρόλο που διατυπώθηκαν ποικίλες απόψεις για την προέλευση των ούμπρων, με μερικές μάλιστα να διαφέρουν σημαντικά, μόνο τέσσερις από αυτές κέντρισαν το ενδιαφέρον των γεωεπιστημόνων. Η **πρώτη υπόθεση** που υποστηρίχθηκε από τον Corliss (1971) προσέδωσε στις ούμπρες υδροθερμική προέλευση και προσπάθησε να τις συνδέσει με το σχηματισμό της ώχρας και των υποκείμενων σουλφιδίων. Η θεωρία

αυτή απορρίφθηκε από τους Constantinou & Govett (1972) και Robertson (1975) καθώς θεωρούν ότι οι ούμπρες και οι ώχρες δεν σχετίζονται γενετικά αφού διαχωρίζονται μεταξύ τους από τον ανώτερο ορίζοντα pillow λαβών. Η **δεύτερη υπόθεση** υποστηρίζει ότι οι ούμπρες σχηματίστηκαν από διαλύματα που προέκυψαν από την αντίδραση νέας θερμής λάβας με το θαλασσινό νερό (Helderfield et al, 1972). Οι Robertson & Hudson (1973) θεωρούν ότι ο μηχανισμός αυτός αν και μπορεί να οδηγήσει στον εμπλουτισμό μερικών στοιχείων, είναι ποσοτικά ανεπαρκής για να εξηγήσει το μεγάλο πάχος των ούμπρων σε τοποθεσίες που φθάνει τα πενήντα μέτρα. Ο Boyle (1984) θεωρεί ανεπαρκή αυτό το μηχανισμό καθώς δεν μπορεί να αιτιολογήσει τη μεγάλη αφθονία και ομοιομορφία των ούμπρων στο χώρο. Η **τρίτη υπόθεση** υποστηρίζει ότι οι ούμπρες δημιουργήθηκαν από την αργή υποθαλάσσια αποσάθρωση και διάβρωση των λαβών (Constantinou & Govett, 1972). Οι Robertson & Hudson (1973) απορρίπτουν τη θεωρία αυτή καθώς θεωρούν ότι η υποθαλάσσια αλλοίωση ψυχρής λάβας είναι αδύνατο να συμβεί τόσο γρήγορα ώστε: α) να δικαιολογήσει τον υψηλό ρυθμό ιζηματοπόθεσης που χαρακτηρίζει τις ούμπρες και β) να προκύψει σχηματισμός τέτοιου λεπτόκοκκου υλικού που να μπορεί να μεταφερθεί και να αποτεθεί μακριά από την πηγή του. Ο Boyle (1984) αναφέρει ότι οι ούμπρες αν προέκυπταν μέσω της αποσάθρωσης των λαβών θα ήταν ασύμβατες με τη τυπική σύσταση των ούμπρων καθώς και με την αδιάκοπη εμφάνιση τους διαμέσου των λαβών. Η **τέταρτη υπόθεση** υποστηρίζει ότι οι ούμπρες σχηματίστηκαν σε οξειδωτικές συνθήκες από τη δραστηριότητα χαμηλής θερμοκρασίας υδροθερμικών διαλυμάτων και εκτενή έκπλυση των μη κρυσταλλωμένων ανώτερων pillow λαβών σε ένα σύστημα φλεβών που αναπτύχθηκε στα τελικά στάδια της ηφαιστειακής δραστηριότητας (Robertson & Hudson, 1973, 1974, Robertson 1975). Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό η επίκλιση και ρηγμάτωση των λαβών στα τελευταία στάδια της έκχυσης του μάγματος επέτρεψε στο θαλασσινό νερό να κατέλθει κατά μήκος των ρηξιγενών ζωνών στις κατώτερες θερμές λάβες. Ακολούθως η αντίδραση του θαλασσινού νερού με τις θερμές λάβες και τα υπολειμματικά τους υγρά επέτρεψε σε διεργασίες έκπλυσης να λάβουν χώρα. Κατά τις διεργασίες έκπλυσης θερμά ρευστά πλούσια σε μέταλλα μετακινήθηκαν ανοδικά, διαμέσου των λαβών προς τον ωκεάνιο πυθμένα οδηγώντας στη σταδιακή ανάπτυξη δικτύου φλεβών. Όταν τα ρευστά αυτά, διαμέσου των φλεβών, ήρθαν σε επαφή με το ψυχρό οξειδωτικό θαλασσινό νερό προέκυψαν αλυσιδωτές αντιδράσεις οξείδωσης που είχαν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία οξειδίων μαγγανίου και σιδήρου που αργότερα καταβυθίστηκαν και έδωσαν τα ιζήματα των ούμπρων.



Εικ.13: Το ανεκμετάλλευτο επιφανειακό απόθεμα φαιοχώματος στη Δράπεια (Προσωπικό αρχείο)

Ο Boyle (1984) υποστηρίζει ότι οι ούμπρες σχηματίστηκαν από υδροθερμική δραστηριότητα υψηλών θερμοκρασιών και επαναπροσδιορίζει τη σχέση τους με τα μεταλλεύματα σουλφιδίων. Κατά το μοντέλο αυτό είναι οι φλέβες υψηλής θερμοκρασίας που προμηθεύσαν τα οξειδία σιδήρου και όχι οι χαμηλής θερμοκρασίας φλέβες όπως υποστηρίζεται στην τέταρτη άποψη. Ωστόσο τα οξειδία μαγγανίου προκύπτει ότι προμηθεύτηκαν από φλέβες χαμηλής θερμοκρασίας. Αναφέρει επίσης ότι δεν σχετίζονται όλες οι εμφανίσεις ούμπρας με τα σουλφίδια όμως οι περισσότερες δείχνουν να σχετίζονται με υδροθερμικά κέντρα τα οποία παρήγαγαν και τα μεταλλεύματα σουλφιδίων.

Όσον αφορά τις ώχρες διατυπώθηκαν πολλές απόψεις ως προς την προέλευση τους όμως στους κύκλους των γεωεπιστημόνων που μελέτησαν τη γεωλογία της Κύπρου γίνεται ευρύτερα αποδεκτή η θεωρία του Constantinou (1972) στην οποία υποστηρίζει ότι οι ώχρες σχηματίστηκαν από την υποθαλάσσια οξείδωση και τοπική έκπλυση των μεταλλευμάτων σουλφιδίων. Στην κύρια διεργασία οξείδωσης εμπλέκεται η αντικατάσταση του σιδηροπυρίτη από τον γκαιτίτη και σε μικρότερο βαθμό από μαγκεμίτη. Ο Constantinou (1972) αναφέρει ότι το θαλασσινό νερό έχει ιδιότητες

οξειδωτικού διαλύματος και ότι ο σιδηροπυρίτης είναι ασταθής σε αυτό ακόμα και όταν έχει χαμηλά ποσοστά διαλυμένου οξυγόνου. Επομένως σε κάποιο στάδιο της γεωλογικής τους ιστορίας τα μεταλλεύματα σουλφιδίων του Τροόδου βρέθηκαν εκτεθειμένα στον ωκεάνιο πυθμένα και ήλθαν σε επαφή με το οξειδωτικό θαλασσινό νερό. Ο ασταθής σιδηροπυρίτης άρχισε να οξειδώνεται πρώτος και να απελευθερώνει το σίδηρο του. Τα υδροθερμικά διαλύματα που κυκλοφορούσαν εκπλύναν το Fe και άλλα μέταλλα από τα ορυκτά και τα μετέφεραν στην επιφάνεια του πυθμένα όπου καθίζαναν για να σχηματίσουν τις ώχρες. Η κάλυψη των σουλφιδίων από τις κατώτερες pillow λάβες θεωρείται κρίσιμη από τον Constantinou (1972) καθώς απέτρεψε την πολύ γρήγορη οξείδωση τους. Οι Robertson & Hudson (1973, 1974) συμφωνούν με τη θεωρία αυτή και αναφέρουν ότι ο τρόπος σχηματισμού της ώχρας είναι παρόμοιος με αυτόν της ούμπρας. Προσθέτουν ακόμα ότι ο χώρος σχηματισμού της ώχρας είναι πιθανό να χαρακτηρίζεται από λιγότερο οξειδωτικές συνθήκες στις οποίες η απόθεση μαγγανίου ήταν περιορισμένη.

3.4 Χαρακτηριστικά των χρωστικών της Κύπρου

Το χρώμα των χρωστικών σιδηροξειδίων προέρχεται από τρία συστατικά μέρη: το κύριο χρωματικό συστατικό, τα δευτερεύοντα χρωματικά συστατικά και μια βάση χρωματισμού. Ο συνδυασμός αυτών των συστατικών παράγει το ιδιαίτερο χρώμα των χρωστικών γαιών. Οι αναρίθμητες μορφές και παραλλαγές με τις οποίες συνδυάζονται αυτά τα συστατικά έχουν ως αποτέλεσμα ένα ευρύ φάσμα πιθανών κίτρινων, κόκκινων και καφέ χρωμάτων.

Κύριο χρωματικό συστατικό: Τα οξείδια σιδήρου είναι τα κύρια συστατικά παραγωγής χρώματος στις χρωστικές γαίες. Οι ιδιότητες και η φύση των σιδηροξειδίων καθορίζουν το χρώμα τους.

Δευτερεύοντα χρωματικά συστατικά: Ο ασβεστίτης, ο χαλαζίας και ο πυρολουσίτης είναι μερικά από τα κοινά ορυκτά που μπορούν να επηρεάσουν το συγκεκριμένο χρώμα των φυσικών σιδηροξειδίων. Το οξείδιο του μαγγανίου για παράδειγμα εμπλουτίζει το καφέ χρώμα στην ούμπρα.

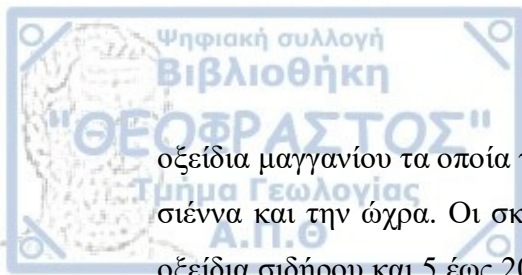
Χρωματική βάση: Σχεδόν όλα τα οξείδια του σιδήρου περιλαμβάνουν μια αργλική βάση. Η άργιλος είναι προϊόν της αποσάθρωσης πυριτικών πετρωμάτων και καθώς



ποικίλλει εξαιρετικά στη σύσταση έχει πολυάριθμες επιδράσεις στο χρώμα των χρωστικών γαιών.

Οι χρωστικές σιδηροξειδίων αποτελούν τις πλέον πολυχρησιμοποιούμενες ανόργανες χρωστικές και είναι γνωστές για τη χαμηλή αντιδραστικότητα τους, την υψηλή θερμοκρασιακή σταθερότητα, την υψηλή αντοχή χρωματισμού και τη χαμηλή τοξικότητα. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό των χρωστικών σιδηροξειδίων όσων περιέχουν γκαϊτίτη-λειμωνίτη είναι η ικανότητα τους να αλλάζουν χρώμα όταν θερμαίνονται. Η θέρμανση προκαλεί στα ενυδατωμένα οξειδία σιδήρου την αποβολή νερού και με την προκύπτουσα αφυδάτωση τους σκουραίνουν στο χρώμα ενώ αποκτούν και πιο έντονους τόνους. Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή ως φρύξη ή ξήρανση (calcination) και αποσκοπεί με θέρμανση ενός στερεού σε υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλότερες του σημείου τήξης του στην απομάκρυνση άχρηστων ή πτητικών ουσιών. Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 300° C οι κίτρινες και καφέ ορυκτές χρωστικές αποκτούν καφεκόκκινους τόνους. Οι πιο έντονοι κόκκινοι τόνοι προκύπτουν ως αποτέλεσμα της φρύξης του γκαϊτίτη σε θερμοκρασίες μεταξύ 500-600° C. Η αλλαγή στο χρώμα σχετίζεται άμεσα με την αφυδάτωση του γκαϊτίτη και την μετατροπή του σε αιματίτη. Η παρατεταμένη θέρμανση σε υψηλές θερμοκρασίες προκαλεί ακόμη μια μετατροπή προς το σκουρότεφο ορυκτό τον μαγνητίτη. Η ψημένη ούμπρα δίνει μια χρωστική σκούρου καφέ χρώματος που είναι γνωστή ως καμένη ούμπρα (burnt umber).

Η ούμπρα είναι μια φυσικής προέλευσης καφέ ή καφεκόκκινη ορυκτή χρωστική που χρησιμοποιείται στην τέμπερα, στις ελαιογραφίες και υδατογραφίες και είναι πλούσια σε οξειδία σιδήρου και μαγγανίου. Όπως και με τη σιέννα, η χημική σύσταση της ούμπρας σχετίζεται άμεσα με το περιεχόμενο της σε οξειδία σιδήρου. Σε αυτό που διαφέρει η ούμπρα είναι το αυξημένο περιεχόμενο της σε οξειδία μαγγανίου. Άλλες ουσίες που συναντώνται στις ούμπρες όπως η άργιλος, ο χαλαζίας και ο ασβεστίτης δεν επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό το χρώμα τους. Οι ούμπρες με την υψηλότερη χρωματική αντοχή είναι εκείνες με τα υψηλότερα περιεχόμενα σιδήρου και μαγγανίου. Οι ούμπρες της Κύπρου που θεωρούνται υψηλής ποιότητας περιλαμβάνουν έως και 16% οξειδία μαγγανίου. Όταν θερμανθεί η ούμπρα αποκτά εντονότερο χρώμα και είναι γνωστό ως καμένη ούμπρα (burnt umber). Το χρώμα της ούμπρας δεν αποτελεί ένα συγκεκριμένο χρώμα, αλλά ένα εύρος διαφορετικών χρωμάτων κίτρινων, κοκκινωπών και σκούρων καφέ χρωμάτων το οποίο εξαρτάται από της ποσότητα της αργίλου σε οξειδία σιδήρου και μαγγανίου. Συνήθως οι ούμπρες αποτελούνται από 5 έως 20%



οξειδία μαγγανίου τα οποία τους προσδίδουν σκουρότερα χρώματα σε σύγκριση με τη σιέννα και την ώχρα. Οι σκούρες καστανές ούμπρες αποτελούνται από 45 έως 70% οξειδία σιδήρου και 5 έως 20% οξειδία μαγγανίου.

Η ώχρα είναι φυσική χρωστική γαία η οποία περιλαμβάνει ένυδρα οξειδία σιδήρου και το χρώμα της ποικίλλει από κίτρινο σε σκούρο πορτοκαλί ή καφέ. Η ώχρα αντιπροσωπεύει μια οικογένεια χρωστικών γαιών στην οποία περιλαμβάνονται η κίτρινη ώχρα, η κόκκινη ώχρα, η μωβ ώχρα, η σιέννα και η ούμπρα. Το κύριο συστατικό όλων των χρωστικών είναι το ορυκτό γκαιτίτης το οποίο τους προσδίδει ένα κίτρινο χρώμα.

Η κίτρινη ώχρα, $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$, αποτελείται κυρίως από ένυδρο γκαιτίτη. Η κόκκινη ώχρα, Fe_2O_3 , αποτελείται από το ορυκτό αιματίτης (άνυδρο σιδηροοξείδιο) το οποίο προσδίδει πιο ερυθρούς τόνους. Η μωβ ώχρα είναι όμοια στη χημική σύσταση με την κόκκινη ώχρα όμως με διαφορετικές αποχρώσεις που προκύπτουν από διαφορετικές διαθλάσεις του φωτός και συνδέονται με μεγαλύτερο μέσο μέγεθος σωματιδίων. Οι ώχρες και γενικά οι χρωστικές σιδηροοξειδίων δεν είναι τοξικές και αυτό επιτρέπει τη χρησιμοποίησή τους στις λαδομπογιές όπου στεγνώνουν γρήγορα και καλύπτουν όλες τις επιφάνειες διεξοδικά.

Η σιέννα είναι μία χρωστική γαία που περιλαμβάνει οξειδία σιδήρου (80-95%) και μικρότερη ποσότητα οξειδία μαγγανίου (5-20%). Στην ακατέργαστη της μορφή έχει καφεκίτρινο χρώμα όταν όμως θερμανθεί αποκτά κοκκινωπό καφέ χρώμα και ονομάζεται καμένη σιέννα (burnt sienna). Όπως τα άλλα γήινα χρώματα, της κίτρινης ώχρας και της ούμπρας, έτσι και η σιέννα αποτελείται από αργλική βάση και κύριο της χρωματικό συστατικό αποτελεί ο γκαιτίτης ενώ δευτερεύων χρωματικό συστατικό τα οξειδία του μαγγανίου. Όταν θερμανθεί η σιέννα τα οξειδία σιδήρου αφυδατώνονται και μετατρέπονται μερικώς σε αιματίτη που της προσδίδει καφεκόκκινες αποχρώσεις. Η σιέννα εμφανίζει ελαφρύτερες σκιές από την ακατέργαστη ούμπρα και αυτό οφείλεται στο υψηλότερο ποσοστό των οξειδίων μαγγανίου που περιέχει η δεύτερη.

Η πράσινη γη (green earth) είναι μια φυσική ανόργανη χρωστική που προέρχεται από τα ορυκτά γλαυκονίτης και κελαδονίτης. Εμφανίζει χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα, είναι διαλυτή στα οξέα και κατά τη θέρμανση της αποκτά καφέ χρώμα (burnt green earth). Η χρωστική αυτή δεν επηρεάζεται από το φως και συνδυάζεται εύκολα με όλες τις άλλες χρωστικές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Ανακεφαλαίωση – Συμπεράσματα

Το φαιόχωμα (ούμπρα) είναι η κύρια φυσική χρωστική ουσία που εξορύσσει η Κύπρος, σε σχέση με άλλες φυσικές χρωστικές ουσίες όπως η ώχρα και η κόκκινη και πράσινη γη των οποίων τα αποθέματα λιγότεψαν δραματικά. Τα φαιοχώματα που προορίζονται για εξαγωγές μεταφέρονται σε εργοστάσιο όπου γίνεται επεξεργασία πριν την εξαγωγή. Η ποιότητα της πρώτης ύλης που καταλήγει στην αγορά είναι μεταβαλλόμενη και εξαρτάται από τα ποσοστά μείξης (blending) που χρησιμοποιούνται και τα οποία γίνονται εμπειρικά. Τα τελευταία χρόνια τα φαιοχώματα, λόγω του υψηλού ποσοστού οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου που περιέχουν, χρησιμοποιούνται και στην τσιμεντοβιομηχανία για τη ρύθμιση της απαιτούμενης περιεκτικότητας σιδήρου στο τσιμέντο. Τα φαιοχώματα με περιεκτικότητα σε πυρίτιο δημιουργούν πρόβλημα στη διαδικασία επεξεργασίας και στη ποιότητα τους, γεγονός που τα καθιστά ακατάλληλα για χρήση ως χρωστική ουσία. Το πυρίτιο που περιέχουν τα φαιοχώματα όμως δεν επηρεάζει τη ποιότητα του τσιμέντου και ως εκ τούτου τα φαιοχώματα αυτά δύναται να χρησιμοποιηθούν στην τσιμεντοβιομηχανία. Τα φαιοχώματα ως χρωστική ουσία έχουν πολύ μεγαλύτερη προστιθέμενη αξία σε σχέση με την χρήση τους στην τσιμεντοβιομηχανία για το λόγο αυτό το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης θεωρεί αναγκαίο να τα διαφυλάξει, έτσι ώστε τα καλής ποιότητας φαιοχώματα να χρησιμοποιούνται μόνο ως χρωστική ουσία.

Λόγω της σταδιακής μείωσης των αποθεμάτων φαιοχώματος και της αυξημένης ζήτησης τους, το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης της Κύπρου εκπόνησε το ερευνητικό πρόγραμμα με τίτλο «Χαρτογράφηση, αξιολόγηση και ποιοτικός χαρακτηρισμός των αποθεμάτων φαιοχώματος (ούμπρας) στην Κύπρο, 2015» που ολοκληρώθηκε το 2015 με σκοπό την επικαιροποίηση, τη συλλογή και τη δημιουργία γεωλογικής, γεωχημικής και άλλης τεχνικής πληροφορίας η οποία θα υποβοηθήσει στην ορθολογική εκμετάλλευση γνωστών και άγνωστων μέχρι στιγμής αποθεμάτων ούμπρας. Με βάση τις πληροφορίες και τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν στο ερευνητικό πρόγραμμα προέκυψε ότι τα επιφανειακά αποθέματα των φαιοχωμάτων στην Κύπρο έχουν σε μεγάλο βαθμό εξαντληθεί. Μόνο μικρές ποσότητες της ετήσιας παραγωγής εξάγονται ως φυσικές χρωστικές ουσίες. Πιθανότατα το μεγαλύτερο μέρος του υπολοίπου καταλήγει στην παραγωγή τσιμέντου ανεξαρτήτως της ποιότητας του υλικού. Αποτέλεσμα της πιο πάνω πρακτικής θα είναι η ολοκληρωτική εξάντληση των

όποιων αποθεμάτων σε πολύ λίγο χρονικό διάστημα. Σύμφωνα με τα υφιστάμενα αποθέματα και τους ρυθμούς εξόρυξης αυτό υπολογίζεται σε **λιγότερο από δέκα χρόνια**. Στη σχετική έρευνα έγινε εκ νέου εκτίμηση των αποθεμάτων φαιοχώματος με σύγχρονες μεθόδους και οι οποίες κατέδειξαν εκτιμώμενα αποθέματα στην επαρχία Λεμεσού στα 114881 m³, στην επαρχία της Πάφου περίπου 1205 m³, στην επαρχία Λευκωσίας 59255 m³ και στην επαρχία Λάρνακας 149160 m³. Στο πρόγραμμα γίνονται εισηγήσεις για ορθολογική αξιοποίηση των αποθεμάτων που αφορούν: την διεξαγωγή μελέτης για διασφάλιση εναλλακτικών πηγών σιδήρου για την τσιμεντοβιομηχανία έτσι ώστε να περιοριστεί η χρήση των φαιοχωμάτων ως ρυθμιστικό υλικό στην παραγωγή του clinker, τη διεξαγωγή έρευνας για την αξιολόγηση των περιοχών με δυνητικά αποθέματα ενώ υπόγεια αποθέματα θα πρέπει να εντοπιστούν και να αξιολογηθούν.

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται η ετήσια παραγωγή και εξαγωγή σύμπρας και ώχρας της τελευταίας εικοσαετίας βάσει ετήσιων αναφορών της Υπηρεσίας Μεταλλείων Κύπρου:

Έτος	Παραγωγή σύμπρας και ώχρας (μετρικοί τόνοι)	Εξαγωγές σύμπρας και ώχρας (μετρικοί τόνοι)	Ποσότητα που χρησιμοποιήθηκε στην τσιμεντοβιομηχανία (μετρικοί τόνοι)
2000	8000	7427	-
2001	5250	4842	-
2002	6000	5464	-
2003	6000	5471	-
2004	5200	5200	-
2005	5100	5086	-
2006	5800	5757	-
2007	8650	4363	4287
2008	26623	4471	22152
2009	50235	1605	48630
2010	56164	4125	52039
2011	64782	3219	61563
2012	41351	3394	37957
2013	61310	4016	57294
2014	24536	3793	20743
2015	60562	3503	57059
2016	17805	3816	13989
2017	27239	3335	23904
2018	10599	5189	5410
2019	50105	3013	47092
Σύνολο	541311	87089	452119

Σύμφωνα με τις ετήσιες αναφορές της Υπηρεσίας Μεταλλείων Κύπρου για τα έτη 2007-2012 εξορύχτηκαν συνολικά 247.805 μετρικοί τόνοι ούμπρας και ώχρας, από τους οποίους οι 21177 (8,55% της συνολικής παραγωγής) μετρικοί τόνοι διατέθηκαν για εξαγωγές ενώ οι 226.628 μετρικοί τόνοι (91,45% της συνολικής παραγωγής) χρησιμοποιήθηκαν στην τσιμεντοβιομηχανία. Για τα έτη 2013-2019 εξορύχτηκαν συνολικά 252.156 μετρικοί τόνοι, από τους οποίους οι 26.665 τόνοι (10,57% της συνολικής παραγωγής) διατέθηκαν για εξαγωγές ενώ οι 225.491 τόνοι (89,43% της συνολικής παραγωγής) χρησιμοποιήθηκαν στην τσιμεντοβιομηχανία.

Κατά την δεκαετία του '80 υπήρχαν πέντε περίπου μικρές βιομηχανίες εξόρυξης του υλικού οι οποίες κυρίως εξήγαγαν στο εξωτερικό. Σήμερα υπάρχουν μόνο δυο ενεργές βιομηχανίες επεξεργασίας της ούμπρας, οι εταιρείες United Umber και η Ορυκτάκο λτδ. Το εργοστάσιο της εταιρείας Ορυκτάκο λτδ βρίσκεται στην περιοχή της Μαλούντας και διαθέτει μηχανήματα σύνθλιψης (crusher) και καμίνι για εκκαμίνευση (calcination) του υλικού. Από πλευράς χρωστικών παράγει κυρίως την καφέ ούμπρα μετά από στέγνωμα, λειοτρίβιση και ακολούθως εκκαμίνευση. Σε μικρότερες ποσότητες παράγει το «Σιμιλλωτό» (κιτρινωπό χρώμα) το οποίο με το ψήσιμο γίνεται κόκκινο. Τα προϊόντα της Ορυκτάκο εξάγονται στην Αίγυπτο και στο Πακιστάν. Ενδεικτικά το 2013 έχει εξάγει περίπου γύρω στους 280 τόνους φυσικών χρωστικών υλών. Η επεξεργασία της πρώτης ύλης γίνεται μετά από διαχωρισμό της ούμπρας που έρχεται από το μεταλλείο από τα σκληρά υλικά τις «πέτρες και τους κόννους». Το υλικό σε γενικές γραμμές πρέπει να είναι συνεκτικό και να μην έχει μέσα τεμάχια ασβεστόλιθου. Δεν γίνεται οποιαδήποτε διαλογή σε σχέση με τους χρωματισμούς. Στο εργοστάσιο της United Umber η επεξεργασία της πρώτης ύλης γίνεται με διαχωρισμό της ούμπρας όπως έρχεται από τα διάφορα μεταλλεία από τα σκληρότερα υλικά που προκαλούν προβλήματα στα μηχανήματα του εργοστασίου. Το υλικό ψήνεται στους 400° βαθμούς περίπου αλέθεται και συσκευάζεται για εξαγωγή. Η διαδικασία επιλογής της πρώτης ύλης γίνεται εμπειρικά μετά από δοκιμές που γίνονται σε πειραματική κλίμακα στο εργοστάσιο. Το αρχικό στάδιο περιλαμβάνει το ψήσιμο του υλικού και μετέπειτα επαναφορά του στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ακολούθως γίνεται οπτική αξιολόγηση του χρώματος στον ήλιο το οποίο πρέπει να συμπίπτει με υφιστάμενο χρωματολόγιο. Οι κυριότερες πηγές πρώτης ύλης σήμερα για το εργοστάσιο προέρχονται από τις περιοχές Κοτσιάτη, Μαθιάτη, Πυργά και Αγία Βαρβάρα. Το εργοστάσιο χρησιμοποιεί 4000 τόνους υλικού το χρόνο. Το πρόβλημα που



αντιμετωπίζει είναι η έλλειψη πρώτης ύλης η οποία διευρύνεται μακροπρόθεσμα λόγω της εξάντλησης των υφιστάμενων γνωστών καλής ποιότητας αποθεμάτων.



Ζήσιμος Α., Χατζηγεωργίου Γ., Χριστοφόρου Ε., Μορισσώ Ε., Χατζηγεωργίου Χ., 2015. Χαρτογράφηση αξιολόγηση και ποιοτικός χαρακτηρισμός των αποθεμάτων φαιοχώματος (σύμπρας) στην Κύπρο. Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης 2015

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

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

Ξενόγλωσση

A.H.F. Robertson, A.J. Fleet, The origins of rare earths in metalliferous sediments of the Troodos Massif. Cyprus, Earth and Planetary Science Letters, Volume 28, Issue 3, 1976, Pages 385-394, ISSN 0012-821X,

Boyle J.F. (1984). The origin and geochemistry of the metalliferous sediments of the Troodos massif, Cyprus, Unpublished PhD. Thesis. Univ. Edinburgh.

Buxbaum, G. & Pfaff, Gerhard (2005). Industrial Inorganic Pigments: Third Edition

Constantinou G. (1972). The geology and genesis of the sulphide ores of Cyprus. Ph.D. thesis, Imperial College, University of London

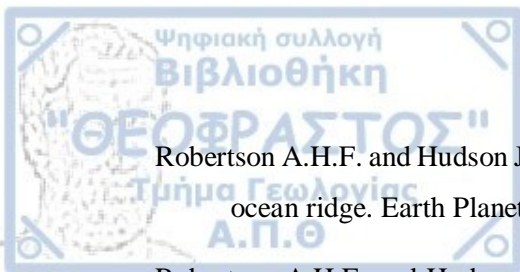
Constantinou G. and Govett G.J. (1972). Genesis of sulphide deposits, ochre and umber of Cyprus. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. 81, B34-46.

Corliss J.B. (1971). The Origin of Metal-Bearing Submarine Hydrothermal Solutions. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 76(33), 8128-8138.

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

Goffe Z. (2007). Archaeological Chemistry (2nd ed.). New Jersey: John Wiley & Sons Inc.

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



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

Robertson A.H.F. (1975). Cyprus umbers: basalt-sediment relationships on a Mesozoic ocean ridge. Journal of Geological Society of London, 131, 511-531.

Διαδικτυακή βιβλιογραφία

<https://3icindustries.com> (3IC Group of Companies)

<http://www.unitedumber.com> (United UMBER Industries)

<https://www.ocres-de-france.com>

<https://www.google.com/earth/> (Google Earth)

<https://www.chemistryworld.com>

Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου:

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

Υπηρεσία Μεταλλείων Κύπρου:

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