



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



ΙΩΑΝΝΑ Χ. ΤΑΚΟΥΔΗ
ΑΕΜ 5475

ΠΟΛΥΤΙΜΟΙ ΛΙΘΟΙ: ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΠΟΛΥΤΙΜΩΝ ΛΙΘΩΝ ΣΤΟΝ
ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2023





ΙΩANNA X. TAKOYΔH

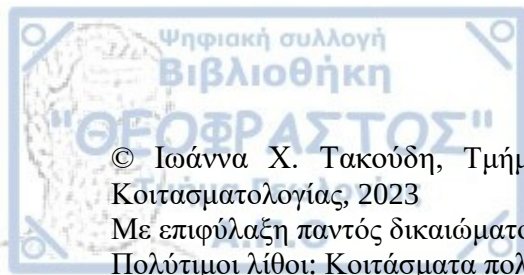
ΠΟΛΥΤΙΜΟΙ ΛΙΘΟΙ: ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΠΟΛΥΤΙΜΩΝ ΛΙΘΩΝ ΣΤΟΝ
ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Βασίλης Μέλφος, Καθηγητής

© Ιωάννα Χ. Τακούδη, 2023
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.



© Ιωάννα Χ. Τακούδη, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, 2023
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
Πολύτιμοι λίθοι: Κοιτάσματα πολύτιμων λίθων στον Ελλαδικό χώρο – *Διπλωματική Εργασία*

© Ioanna C. Takoudi, School of Geology, Department of Mineralogy, Petrology, Economic Geology, 2023
All rights reserved.
Precious stones: Deposits of precious stones in Greece– *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: Χαλαζίας ποικιλίας Αμέθυστου, Guanajuato, Mexico (geo.auth.gr)





ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ABSTRACT	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4-13
1.1. Ορυκτά και πολύτιμοι λίθοι.....	4
1.2. Ιστορία των πολύτιμων λίθων.....	6
1.3. Κοπές πολύτιμων λίθων	8
1.4. Βελτιωτικές διεργασίες πολύτιμων λίθων.....	10
1.5. Εμπόριο πολύτιμων λίθων.....	11
2. ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ- ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΕΛΛΑΔΟΣ.....	14-19
2.1. Οι πολύτιμοι λίθοι και χωρικός εντοπισμός τους στην Ελλάδα.....	14
2.2. Γεωλογία Ελλάδος.....	15
2.3. Σημαντικότητα μελέτης των πολύτιμων λίθων στην Ελλάδα.....	19
3. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΚΟΡΟΥΝΔΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	19-24
3.1. Το κορούνδιο	19
3.2. Τοπική Γεωλογία κορουνδίου.....	20
3.3. Ορυκτολογία του κορουνδίου	22
3.4. Χημική σύσταση του κορουνδίου.....	23
4. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΧΑΛΑΖΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	24-28
4.1. Ο Χαλαζίας.....	24
4.2. Γεωλογία και Ορυκτολογία.....	26
4.2.1. Διακλάσεις αλπικού τύπου.....	26
4.2.2. Επιθερμικά ηφαιστειακά περιβάλλοντα.....	27
4.3. Εγκλείσματα	28
5. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΑΜΕΘΥΣΤΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	29-33
5.1. Ο Αμέθυστος	29
5.2. Γεωλογία αμέθυστου	30
5.3. Ορυκτολογία αμέθυστου.....	32
6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	33-35
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	36-38



ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Σχήμα 1. Διαφορετικές εικόνες του νέου ορυκτού Λαζαρασκείτης (Lazaraskeite).

Σχήμα 2. Παραδείγματα διαφορετικών συστημάτων κρυστάλλωσης που μπορούν να απαντηθούν τα διάφορα ορυκτά.

Σχήμα 3. Κλίμακα σκληρότητας ορυκτών κατά Mohs.

Σχήμα 4. Εικόνες αντικειμένων που παράχθηκαν από το μπλε της Αιγύπτου (Α) Πυξίδα η οποία παρήχθη το 750–700 π.Χ. και βρίσκεται στο Μουσείο Altes στο Βερολίνο και (Β) Μπλε πιατάκι και βάση το οποίο παρήχθη στο Νέο Βασίλειο το 1400–1325 π.Χ.

Σχήμα 5. Διάφορες κοπές πολύτιμων λίθων (Α) Στρογγυλή κοπή (Round brilliant), κάτοψη (2) Οβάλ κοπή (Oval brilliant), κάτοψη (3) Κοπή Τριαντάφυλλου (Rose cut), κάτοψη (4) Στρογγυλή κοπή, πλάγια όψη (5) κοπή Pillow (Cushion brilliant), κάτοψη (6) Κοπή Τριαντάφυλλου, πλάγια όψη (7) Κλιμακωτή κοπή οκταγώνου (Step cut, octagon) (8) Απιοειδής κοπή (Pear brilliant), , κάτοψη (9) Κλιμακωτή κοπή παραλληλογράμμου (Step cut, oblong) (10) κοπή High cabochon, πλάγια όψη (11) κοπή Cabochon, πλάγια όψη (12) Φακοειδής κοπή (Lentil-shaped), πλάγια όψη.

Σχήμα 6. Εικόνες του χρώματος που λαμβάνει ο αμέθυστος σε διαφορετικές θερμοκρασίες και το προσομοιωμένο χρώμα.

Σχήμα 7. Κορυφαίες χώρες σε εξαγωγή και εισαγωγή πολύτιμων λίθων για το έτος 2022.

Σχήμα 8. Χάρτης που απεικονίζει το καθαρό εμπόριο (Net trade) των πολύτιμων λίθων ανά τον κόσμο για το έτος 2020. Κάθε χώρα χρωματίζεται με βάση τη διαφορά στις εξαγωγές και τις εισαγωγές.

Σχήμα 9. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας που απεικονίζει εμφανίσεις διαφόρων πολύτιμων λίθων σε μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα της Ελλάδας. 1. Θεράπιο/Εβρος, 2. Βυρσίνη/Εβρος, 3. Μαρώνεια/Ροδόπη 4. Γοργόνα-Κιμμέρια/Ξάνθη, 5. Παρανέστι/Δράμα, 6. Τρίκορφο/Θάσος, 7. Στρατώνι-Ολυμπιάδα/Χαλκιδική, 8. Φακός/Νήσος Λήμνος, 9. Μεγάλα Θέρμα/Νήσος Λέσβος, 10. Λάρισα, 11. Κύμη/Εύβοια, 12. Κριεζά. -Κόσκινα/Εύβοια, 13. Πέταλο/Ανδρος, 14. Άμπελος/Σάμος, 15. Πούντα/Ικαρία, 16. Λαύριο/Αττική, 17. Κάμπος/Νήσος Σύρος, 18. Αγία Μαρίνα-Αβεσσαλός/Σέριφος, 19, Θάψανα/Νήσος Πάρος, 20. Κινίδαρος-Καβαλάρης/Νήσος Νάξος, 21. Καρδάμaina/Νήσος Κως, 22. Λάκκοι/Κρήτη.

Σχήμα 10. Οι γεωλογικές ζώνες του ελλαδικού χώρου.

Σχήμα 11. Το Ελληνικό νησιωτικό τόξο.

Σχήμα 12. Φωτογραφίες δειγμάτων που απεικονίζουν διαφορετικούς κρυστάλλους από την Ελλάδα: (a,b) αλβίτης από τα Κριεζά της Εύβοιας, (c) τιτανίτης και χαλαζίας από το Τρίκορφο της Θάσου, (d) βεζουβιανίτης από το σκαρν της Μαρώνειας, (e) σπινέλιος σε μάρμαρο από τη Γοργόνα, Ξάνθη, (f) απατίτης και Κ-άστριος από καολινιωμένο μονζονίτη από το Φακό/Λήμνος, (g) πορφυρός φθορίτης επικαλυμμένος με οξειδία σιδήρου από την Άμπελο της Σάμου, (h) αζουρίτης, Καμάριζα/Λαύριο, (i) μπλε σμιθσονίτης εντός μαρμάρου με οξειδία σιδήρου από την Καμάριζα/Λαύριο (πηγή : Voudouris, 2019a)

Σχήμα 13. Φωτογραφίες κορουνδίου (Α) Κορούνδιο από τα όρη του Πακιστάν (Β) Άχρωμο ζαφείρι με μέγεθος 1,5 cm από τη Σρι Λάνκα (Γ) Μπλε ζαφείρι μεγέθους 1 cm από τη Σρι Λάνκα (Δ) Ρουμπίνι μεγέθους 3 cm από την Ινδία.

Σχήμα 14. Φωτογραφίες Χαλαζία (Α) Χαλαζίας με εγκλείσματα αιματίτη (Β) Χαλαζίας από την περιοχή θερμών πηγών στις ΗΠΑ (Γ) Φλέβα χαλαζία στο νησί της Σάμου (Δ) Χαλαζίας καπνίας.

Σχήμα 15. Κρύσταλλοι χαλαζία από επιθερμικά ηφαιστειακά περιβάλλοντα (Α, Β) Τριγωνικά σκήπτρα αμέθυστου που αναπτύσσουν δομές παραθύρων από τη Λέσβο μεγέθους 3 και 4 εκατοστών αντίστοιχα, (Γ) Αμέθυστος με σχήμα Muzo και δομές παραθύρων από τη Λέσβο (4 εκατοστά). (Δ) Τριγωνικός αμέθυστος με δομές παραθύρων από τη Λέσβο (4 εκατοστά). (Ε) ροζ χαλαζίας σε σχήμα σταλαγμίτη από τη Λέσβο (6 εκατοστά).

Σχήμα 16. Φωτογραφίες αμέθυστου (Α) Αμέθυστος από τα όρη της Ναμίμπια (Β) Αμέθυστος από τα όρη της Ναμίμπια.

Σχήμα 17. Εικόνα από το κοίτασμα σπάνιου ίασπι που βρέθηκε στην οροσειρά της Ροδόπης, από την πλευρά της Βουλγαρίας.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Πολύτιμοι λίθοι: Κοιτάσματα πολύτιμων λίθων στον Ελλαδικό χώρο

Ιωάννα Τακούδη

Στη παρούσα διπλωματική πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται ποιοτική μελέτη του ορυκτού πλούτου των πολύτιμων λίθων στην Ελλάδα μέσω συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης της διεθνούς βιβλιογραφίας. Η Ελλάδα, λόγω της τεκτονικής και γεωλογικής της σύστασης φιλοξενεί αρκετά κοιτάσματα πολύτιμων λίθων, τα περισσότερα εκ των οποίων εντοπίζονται σε μικρή έκταση. Από αυτά, κυριότερα είναι τα κοιτάσματα κορουνδίου, χαλαζία και αμέθυστου. Κοιτάσματα κορουνδίου, εντοπίζονται στις περιοχές της Ξάνθης, της Δράμας και στα νησιά της Νάξου και της Ικαρίας. Στη περιοχή της Ξάνθης εντοπίζονται ζαφείρια σε διάφορους χρωματισμούς, ενώ στην Δράμα ρουμπίνια με χρώμα που κυμαίνεται από ανοιχτό ροζ έως βαθύ κόκκινο. Η Νάξος και η Ικαρία είναι περιοχές με κοιτάσματα μπλε ζαφειριών. Ο χαλαζίας εντοπίζεται σε πολλές περιοχές όπως στην Αττική, τη Δράμα, την Εύβοια, την Ίο, τη Θάσο και την Κρήτη και σε διάφορες ποικιλίες. Από αυτές η μεγαλύτερη σε μέγεθος ποικιλία είναι ο αμέθυστος ο οποίος απαντάται σε περιοχές όπως στη Κορνοφωλιά του Έβρου, στις Σάπες της Ροδόπης, στη Λέσβο και τη Μήλο. Η αύξηση της συστηματικής έρευνας των πολύτιμων λίθων στη χώρα που καταγράφει τις ακριβείς ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά τους, μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην αύξηση της εξόρυξης και, κατ' επέκταση, σε μια βιώσιμη και ανταγωνιστική οικονομία.



ABSTRACT

Precious stones: Deposits of precious stones in Greece

Ioanna Takoudi

In this diploma thesis, a qualitative study of the mineral wealth in Greece is carried out through a systematic bibliographic review of the international literature. Greece, due to its tectonic and geological composition, is home to several deposits of precious stones, most of which are located in small areas. Of these, the most important are the corundum, quartz and amethyst deposits. Corundum deposits are found in the areas of Xanthi, Drama and the islands of Naxos and Ikaria. In the area of Xanthi, sapphires in various colors are found, while in Drama, rubies ranging in color from light pink to deep red. Naxos and Ikaria are areas with deposits of blue sapphires. Quartz is found in many areas such as Attica, Drama, Evia, Ios, Thassos and Crete and in various varieties. Of these, the largest variety is amethyst, which is found in areas such as Kornofolia of Evros, Sapes of the Rhodopes, Lesvos and Milos. Increasing the systematic research of precious stones in the country that records their exact properties and characteristics, can contribute significantly to the increase of mining leading to a sustainable and competitive economy.



Το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας μου ανατέθηκε από τον Καθηγητή του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, κ. Βασίλειο Μέλφο, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την υπόδειξη του θέματος, την καθοδήγηση και τις συμβουλές κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία επιχειρεί να αναδείξει τον ορυκτό πλούτο στην Ελλάδα με έμφαση τα κοιτάσματα πολύτιμων λίθων. Η αύξηση της συστηματικής έρευνας και καταγραφή των ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών των διαφόρων κοιτασμάτων θα οδηγήσει σε καλύτερη αξιοποίηση και εμπορευματοποίηση των πολύτιμων λίθων στη χώρα.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον Καθηγητή κ. Β. Μέλφο, που ήταν ο επιβλέπων της πτυχιακής αυτής εργασίας, για την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος, όπως και για την συνεχή καθοδήγησή του κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη στήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Ορυκτά και πολύτιμοι λίθοι

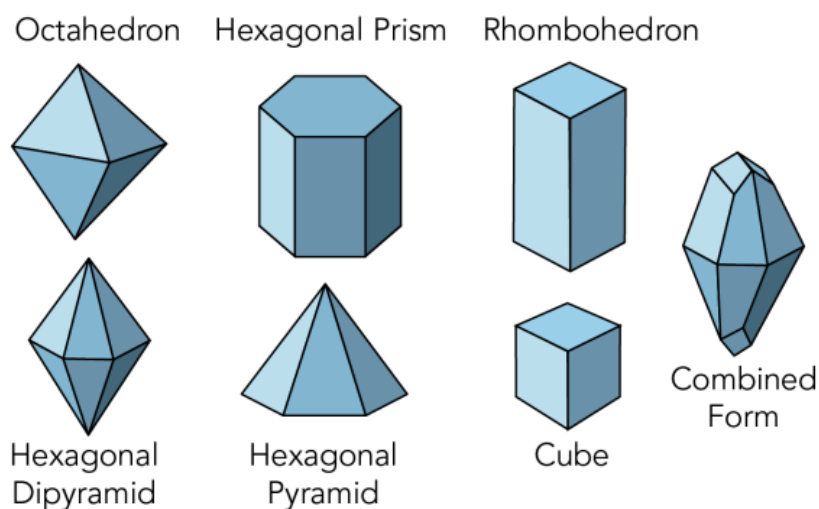
Ως ορυκτά ορίζονται οι στερεές χημικές ενώσεις, του στερεού φλοιού της γης, οι οποίες έχουν καλά καθορισμένη χημική σύσταση και συγκεκριμένη κρυσταλλική δομή και εμφανίζονται κάτω από συγκεκριμένες φυσικοχημικές συνθήκες φυσικά σε καθαρή μορφή. Ως εκ τούτου, κάθε ορυκτό έχει διαφορετική χημική σύσταση και μοναδική δομή που κατ' επέκταση προσδιορίζει την προέλευσή του. Η κρυσταλλική δομή του κάθε ορυκτού καθορίζεται από τη διάταξη των ατόμων και των χημικών δεσμών στο χώρο κατά την δημιουργία του και μπορεί να μεταβληθεί καθώς επηρεάζεται από τις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Για παράδειγμα, το διαμάντι και ο γραφίτης αποτελούν διαφορετικές μορφές του ορυκτού άνθρακα, ενώ ο χαλαζίας και ο στισοβίτης, αποτελούμενα από το διοξείδιο του πυριτίου, είναι διαφορετικά ορυκτά λόγω της διαφορετικής κρυσταλλικής δομής τους (Rafferty 2011). Επίσης, αξιοσημείωτο παράδειγμα αποτελεί το νέο ορυκτό λαζαρασκείτης, το πρώτο οργανικό ορυκτό που περιέχει γλυκολικό (Σχ. 1). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στην κατηγορία των ορυκτών εντάσσονται και ενώσεις σε άμορφη κατάσταση, χωρίς συγκεκριμένη κρυσταλλική μορφή, όπως είναι ο αχάτης και ο οπάλιος.



Σχήμα 1. Διαφορετικές εικόνες του νέου ορυκτού λαζαρασκείτης (Lazaraskeite) (Πηγή: τροποποίηση από Yangand 2022).

Τα ορυκτά που εξ ορισμού πρέπει να παραχθούν με φυσική διαδικασία διαφέρουν από τα συνθετικά ορυκτά που παράγονται με τεχνητούς τρόπους. Σήμερα, υπάρχουν διάφορα ορυκτά που παράγονται από βιομηχανικές δραστηριότητες, όπως σμαράγδια, ρουμπίνια και διαμάντια, τα οποία τις περισσότερες των περιπτώσεων έχουν πολύ μεγάλη ομοιότητα με τα φυσικά.

Σύμφωνα με την Διεθνή Ορυκτολογική Ένωση (International Mineralogical Association, IMA) υπάρχουν 5.863 επίσημα ορυκτά. Πέραν της χημικής σύστασης και της κρυσταλλικής δομής, η κατηγοριοποίηση πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη και τις φυσικές ιδιότητες τους όπως τη σκληρότητα, τη λάμψη, τη διαφάνεια, το χρώμα, το σχισμό, την αντοχή, τη διάσπαση, τη θραύση, το ειδικό βάρος, το μαγνητισμό, το φθορισμό, τη ραδιενέργεια κ.ά. (Marco, 2022). Σημαντικό στην κατηγοριοποίηση είναι επίσης και το σύστημα κρυστάλλωσης του ορυκτού το οποίο δύναται να απαντάται σε πολλαπλές μορφές (Σχ. 2).

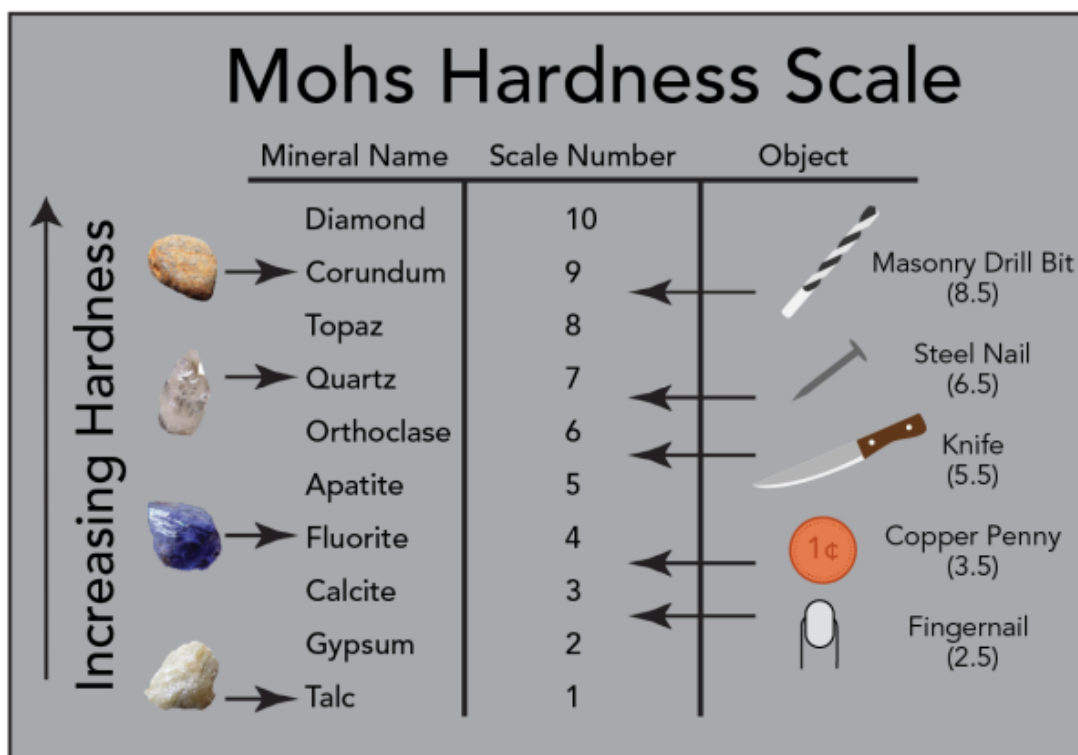


Σχήμα 2. Παραδείγματα διαφορετικών συστημάτων κρυστάλλωσης που μπορούν να απαντηθούν τα διάφορα ορυκτά (πηγή : τροποποίηση από etstalkscience.ca).

Τα ορυκτά σχηματίζονται με τέσσερις κύριους τρόπους και χωρίζονται σε πρωτογενή και δευτερογενή. Κάποια πρωτογενή ορυκτά σχηματίζονται μετά από συνένωση και βαθμιαία κρυστάλλωση σε μάγματα. Άλλα, μετά από στερεοποίηση όταν κομμάτια ιζηματογενούς πετρώματος ενώνονται κάτω από συνθήκες αυξανόμενης πίεσης. Επίσης, μπορούν να προκύψουν από μεταμόρφωση παλαιότερων ορυκτών ενώ τέλος, από ιζηματογένεση και ανάμειξη του μάγματος με θαλασσινό ή υπόγειο νερό (Rafferty 2011).

Από το σύνολο των ορυκτών ιδιαίτερη αξία έχουν οι πολύτιμοι λίθοι. Οι πολύτιμοι λίθοι είναι ορυκτά υλικά που χρησιμοποιούνται ως κοσμήματα ή για στολισμό αντικειμένων, τα οποία πληρούν κριτήρια όπως σπανιότητα και ανθεκτικότητα στο πέρασμα του χρόνου και στη διάβρωση στην επαφή με τον άνθρωπο και τα καλλυντικά του (Fritsch and Rondeau, 2009). Οι πολύτιμοι λίθοι αποτελούν σχετικά σπάνιες ποικιλίες ορυκτών και ξεχωρίζουν εδώ και χιλιάδες χρόνια για την ομορφιά, το χρώμα, τη διαφάνεια, την αντοχή και την υψηλή

οικονομική τους αξία. Πιο συγκεκριμένα, για να χαρακτηριστεί ένα ορυκτό ως πολύτιμος λίθος θα πρέπει να πληροί κάποιες βασικές προϋποθέσεις. Αυτές είναι η μεγάλη σκληρότητα, το χρώμα, η διαύγεια, ο μεγάλος δείκτης διάθλασης και η σπανιότητα. Για κάθε ένα από αυτά τα χαρακτηριστικά τηρούνται αυστηροί κανόνες και μετρήσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η κλίμακα σκληρότητας ορυκτών Mohs που εφαρμόζεται πάντοτε για να κατατάξει τα ορυκτά με βάση τη σκληρότητά τους (Σχ. 3). Κατά τη διαδικασία κατάταξης, το ως προς μελέτη ορυκτό χαράσσεται χρησιμοποιώντας διαφορετικά αντικείμενα. Όσο πιο σκληρό είναι το αντικείμενο, τόσο μεγαλύτερη σκληρότητα έχει το ορυκτό.



Σχήμα 3. Κλίμακα σκληρότητας ορυκτών κατά Mohs (Πηγή : The Mohs Scale of Mineral Hardness).

1.2. Ιστορία των πολύτιμων λίθων

Η σχέση των ανθρώπων με τους πολύτιμους λίθους είναι μακρά στην ιστορία σύμφωνα με τα τεκμήρια των αρχαιολογικών ανασκαφών. Ενδείξεις από τη Λίθινη εποχή μαρτυρούν την χρήση ορυκτών όπως αποδεικνύεται από τάφους, ναούς και αρχαιολογικούς χώρους. Η χρήση τους σχετιζόταν με λόγους που αφορούσαν την επιβίωση (σχηματισμός εργαλείων, όπλων), τον καλλωπισμό και τη διακόσμηση. Επιπροσθέτως, οι πολύτιμοι λίθοι

έχουν χρησιμοποιηθεί ανά τους αιώνες ως θρησκευτικά σύμβολα, φυλαχτά καθώς και για ιατρικούς σκοπούς. Η αναζήτηση της ιστορίας και της προέλευσης των πολύτιμων λίθων συχνά αποκαλύπτει τη σύνδεσή τους με ενδιαφέρουσες και περίπλοκες ιστορίες οι οποίες σχετίζονται με τη μεγάλη αξία και μοναδικότητα των πολύτιμων αυτών αντικειμένων (Sotheby, 2021).

Από τους αρχαίους χρόνους διαφαίνεται η ανάγκη για την καλή γνώση της γεωλογίας –καλή σχέση με τα ορυκτά και έντονη παρατηρητικότητα– η οποία βοηθούσε τους ανθρώπους να διαχωρίσουν τους πολύτιμους με τους μη πολύτιμους λίθους. Αναφορές υποστηρίζουν ότι ο Πλίνιος, πριν από δύο χιλιάδες χρόνια, ονόμασε όλες τις κόκκινες πέτρες *carbunculus* (υποκοριστικό του *carbo*- άνθρακας). Επίσης ο Θεόφραστος συσχέτισε το ρουμπίνι με τον άνθρακα περίπου το 400 π.Χ.. Τον 11ο αιώνα, ο Marbode διαχώρισε τρεις διαφορετικούς τύπους κάρβουνου οι οποίοι σήμερα αντιστοιχούν στις τρεις αποχρώσεις του ρουμπινιού ενώ χρησιμοποίησε τον όρο *υάκινθος* για να αναφερθεί σε όλα τα χρωματιστά ζαφείρια. Η ανάγκη για τροποποίηση των πολύτιμων λίθων μαρτυρείται επίσης από τα αρχαία χρόνια. Χαρακτηριστικό είναι ότι οι αρχαίοι Αιγύπτιοι θερμαίναν τον *αχάτη* για να λάβει ένα πιο ελκυστικό χρώμα (Giuliani, 2014).

Η παραγωγή του μπλε της Αιγύπτου, «Egyptian blue» (Σχ. 4), με χαρακτηριστικό τirkουάζ χρώμα μπορεί να θεωρηθεί η απαρχή της ανάπτυξης της τεχνολογίας των κρυστάλλων. Το μπλε της Αιγύπτου αποτελεί μια συνθετική μπλε χρωστική ουσία παραγόμενη από μείγμα πυριτίου, ασβέστη, χαλκού και αλκαλίου η οποία άρχισε να συντίθενται στην Αίγυπτο κατά τη διάρκεια της τέταρτης Δυναστείας. Η χρήση του είχε να κάνει με τον χρωματισμό και την παραγωγή διαφόρων αντικειμένων με χαρακτηριστικό μπλε χρώμα (Eastaugh, 2004). Ακολούθως, τον 19^ο αιώνα συναντάται η παραγωγή τεχνητών πολύτιμων λίθων, όπως ρουμπίνια και σμαράγδια, προερχόμενα από τον άνθρωπο. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι για πολλούς αιώνες η γεμολογία ήταν αποκλειστικά κλάδος των μεταλλωρύχων, καθώς τα περισσότερα πετράδια ήταν φυσικά ορυκτά. Ωστόσο, η επέκταση στην παραγωγή τεχνητών πολύτιμων λίθων τις δεκαετίες του 1970 και του 1980 και η έκρηξη στον αριθμό και την πολυπλοκότητα αυτών είχε ως αποτέλεσμα την αλλαγή σε μια διεπιστημονική προσέγγιση όπου ο κλάδος της γεμολογίας πλέον ενσωματώνει στοιχεία φασματοσκοπίας, φυσική των υλικών, χημεία και ακόμη και κάποια βιολογία (π.χ. σε εργασίες για μαργαριτάρια). Σήμερα, η γεμολογία αποτελεί αναγνωρισμένη επιστήμη με οικονομικό πεδίο εφαρμογής τα πετράδια και το εμπόριο κοσμημάτων.



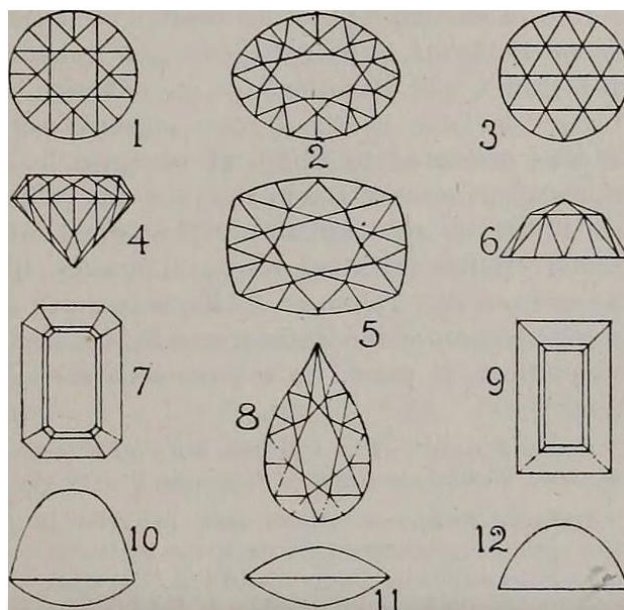
Σχήμα 4. Εικόνες αντικειμένων που παράχθηκαν από το μπλε της Αιγύπτου (Α) Πυξίδα η οποία παρήχθη το 750–700 π.Χ. και βρίσκεται στο Μουσείο Altes στο Βερολίνο και (Β) Μπλε πιατάκι και βάση το οποίο παρήχθη στο Νέο Βασίλειο το 1400–1325 π.Χ. (Πηγή : en.wikipedia.org).

1.3. Κοπές πολύτιμων λίθων

Οι πολύτιμοι λίθοι στη φυσική τους μορφή συχνά έχουν σχήμα το οποίο καθορίζεται από την κρυσταλλική τους δομή και από το φυσικό περιβάλλον και τις συνθήκες κάτω από τις οποίες αναπτύχθηκε ο κρύσταλλος. Ωστόσο, οι πολύτιμοι λίθοι στη φυσική τους μορφή δεν έχουν τη μέγιστη δυνατή ομορφιά και, κατ' επέκταση, αξία. Για το λόγο αυτό, υφίστανται διαδικασία κοπής και λείανσης από τους λιθογλύφους. Αρχικά, ο ακατέργαστος λίθος σφυρηλατείται ελαφρά με σκοπό να απομακρυνθεί το εύθραυστο σπασμένο υλικό που περιβάλλει τους φυσικούς λίθους. Έπειτα, το τραχύ αυτό ακατέργαστο υλικό κόβεται σε συγκεκριμένα σχήματα. Τα σχήματα που παίρνει ο λίθος από την κοπή έχουν σκοπό την μέγιστη δυνατή αντανάκλαση του φωτός στον τελικό λίθο με αποτέλεσμα την απόδοση λάμψης και στιλπνότητας. Αυτά επιλέγονται από τους λιθογλύφους, υπολογίζοντας την ακριβή γωνία διάθλασης των ακτίνων φωτός που θα περνούν μέσα από τον εκάστοτε λίθο βάση του δείκτη διάθλασης που τον χαρακτηρίζει. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η βελτιστοποίηση της φυσικής του ομορφιάς.

Το πιο επικρατές σχήμα κοπής είναι το κυκλικό (Round), ωστόσο υπάρχει μια πληθώρα σχημάτων ιδιαίτερης κοπής που περιλαμβάνουν ισόπεδα συμμετρικά επίπεδα που ονομάζονται έδρες. Η κυκλική κοπή θεωρείται ότι χρησιμοποιείται από τον 18ο αιώνα όπου αρχικά αναπτύχθηκε για την κοπή των διαμαντιών. Σήμερα χρησιμοποιείται ευρέως για διαφορετικούς πολύτιμους λίθους καθώς είναι πολύ αποδοτική στην ανάδειξη της λάμψης και της στιλπνότητας. Η οβάλ κοπή περιλαμβάνει 57 έδρες. Η κοπή “princess” είναι η

δεύτερη πιο δημοφιλής, έχει τετράγωνο σχήμα και ουσιαστικά αποτελεί την τετράγωνη εκδοχή της οβάλ κοπής. Η κοπή αποτελείται από 58 έως 76 έδρες οι οποίες αντανακλούν το φως από την επιφάνεια του λίθου και αναδεικνύει καλύτερα ανοιχτόχρωμους και διαφανείς λίθους. Η κοπή αναπτύχθηκε τον 19^ο αιώνα και είναι αρκετά διαδεδομένη καθώς ο τρόπος κοπής επιτρέπει τη διατήρηση περίπου του 80% του αρχικού λίθου καθιστώντας την οικονομικά συμφέρουσα για τους εμπόρους. Άλλες συχνά χρησιμοποιούμενες κοπές είναι η οβάλ, η καρδιά, η παραλληλόγραμμη, η τετράγωνη και η απιοειδής (Σχ. 5).



Σχήμα 5. Διάφορες κοπές πολύτιμων λίθων (Α) Στρογγυλή κοπή (Round brilliant), κάτοψη (2) Οβάλ κοπή (Oval brilliant), κάτοψη (3) Κοπή Τριαντάφυλλου (Rose cut), κάτοψη (4)) Στρογγυλή κοπή, πλάγια όψη (5) κοπή Pillow (Cushion brilliant), κάτοψη (6) Κοπή Τριαντάφυλλου, πλάγια όψη (7) Κλιμακωτή κοπή οκταγώνου (Step cut, octagon) (8) Απιοειδής κοπή (Pear brilliant), κάτοψη (9) Κλιμακωτή κοπή παραλληλογράμμου (Step cut, oblong) (10) κοπή High cabochon, πλάγια όψη (11) κοπή Cabochon, πλάγια όψη (12) Φακοειδής κοπή (Lentil-shaped), πλάγια όψη (Πηγή : www.gemsociety.org).

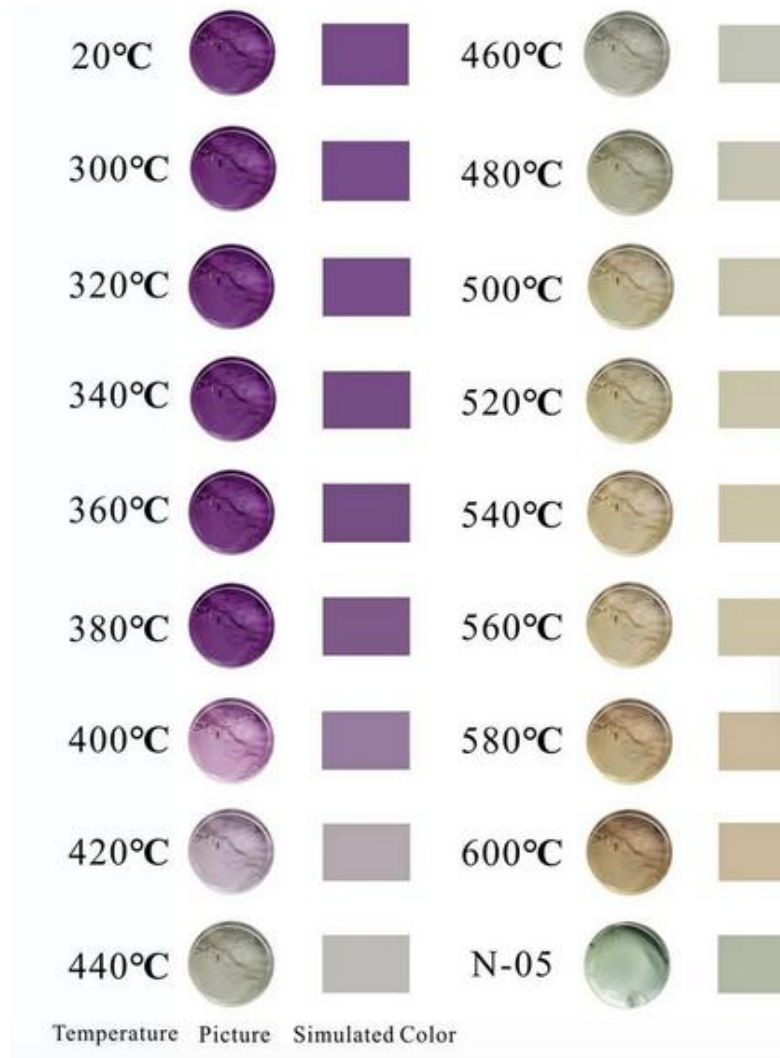
Οι τεχνικές κοπής οι οποίες χρησιμοποιούνται είναι διάφορες και περιλαμβάνουν το κόψιμο, τη λείανση, τη στίλβωση. Στη διαδικασία της κοπής, μια λεπτή κυκλική λεπίδα που αποτελείται συνήθως από χάλυβα ή χαλκό έχοντας κατά μήκος της εξωτερικής άκρης άμμο διαμαντιού, περιστρέφεται με πολλές χιλιάδες στροφές ανά λεπτό και χαράζει τον πολύτιμο λίθο. Ένα υγρό, όπως λάδι ή νερό, χρησιμοποιείται για να ξεπλύνει τα υπολείμματα κοπής και να αποτρέψει την υπερθέρμανση του κρυστάλλου. Τα μεγέθη κυκλικών λεπίδων που χρησιμοποιούνται εξαρτώνται από το μέγεθος του λίθου που προορίζεται για κοπή.

Υπάρχουν, επίσης, σέγες που χρησιμοποιούν είτε ένα παλινδρομικό σύρμα είτε μια συνεχή λεπτή μεταλλική ταινία. Αυτά τα εργαλεία είναι χρήσιμα για την κοπή καμπύλων γραμμών που είναι αδύνατο να γίνουν με κυκλικά πριόνια. Είναι, επίσης, χρήσιμα για την ελαχιστοποίηση των απορριμμάτων σε εξαιρετικά πολύτιμο ακατέργαστο υλικό. Η τεχνική της λείανσης, πραγματοποιείται συνήθως με τροχούς καρβιδίου του πυριτίου (ανθρακοπυριτίου) ή τροχούς εμποτισμένους με διαμάντια και χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση μιας τραχιάς μορφής του πολύτιμου λίθου που ονομάζεται προφόρμα. Όπως και στην τεχνική της κοπής, χρησιμοποιείται ψυκτικό/λιπαντικό (νερό ή λάδι) για την απομάκρυνση των υπολειμμάτων και την πρόληψη της υπερθέρμανσης. Πολύ χοντρό διαμάντι ή καρβίδιο του πυριτίου χρησιμοποιείται για την ταχεία αφαίρεση της πέτρας και λεπτό στρώμα λειαντικού μέσου χρησιμοποιείται για την τελική διαμόρφωση και στίλβωση του πολύτιμου λίθου (nature.berkeley.edu).

1.4. Βελτιωτικές διεργασίες πολύτιμων λίθων

Με σκοπό τα ορυκτά και οι πολύτιμοι λίθοι να βελτιστοποιηθούν έτσι ώστε να γίνουν πιο επιθυμητοί και κατ' επέκταση να αυξηθεί το κέρδος υφίστανται διάφορες τεχνικές βελτιστοποίησης. Η επεξεργασία αναφέρεται σε οποιαδήποτε διαδικασία, εκτός από την παραδοσιακή κοπή και στίλβωση, που βελτιώνει ή αλλάζει την εμφάνιση του χρώματος, τη διαύγεια, την αντοχή ή την αξία ενός πετραδιού. Οι πιο κοινές επεξεργασίες που χρησιμοποιούνται σήμερα στο εμπόριο πολύτιμων λίθων περιλαμβάνουν θέρμανση, ακτινοβολήση, βαφή, λίπανση, λεύκανση, διαδικασίες επιφανειακής επίστρωσης, επεξεργασία υψηλής πίεσης σε υψηλή θερμοκρασία (HP-HT), εμποτισμό, διάτρηση με λέιζερ και διάχυση πλέγματος. Παράδειγμα αποτελεί η έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες η οποία μπορεί να τροποποιήσει το χρώμα ή τη διαύγειά τους. Με θέρμανση, ο αμέθυστος, μοβ χαλαζίας, μπορεί να μετατραπεί σε κίτρινο χαλαζία (Σχ. 6), ενώ κάποια ζirkόνια που έχουν χρώμα κόκκινο-καφέ μπορούν να μετατραπούν σε έντονο μπλε. Επιπλέον, η έκθεση ενός διαμαντιού σε υψηλή θερμοκρασία εφαρμόζοντας ταυτόχρονα υψηλή πίεση χρησιμοποιείται συχνά για την δημιουργία άχρωμων διαμαντιών, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο τον καφέ χρωματισμό τους. Επίσης, η θέρμανση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μετατρέψει τα καφέ διαμάντια σε αποχρώσεις του κίτρινου, του πράσινου ή του μπλε. Ένας διαφορετικός τρόπος αλλαγής χρώματος των πολύτιμων λίθων είναι η έκθεση σε νετρόνια ή και ακτινοβολία. Η διαδικασία ακτινοβολήσης συχνά ακολουθείται από θερμική επεξεργασία για περαιτέρω

τροποποίηση του χρώματος. Το μεγαλύτερο μέρος του βαθύ και σκούρου μπλε τοπάζιου στην αγορά πολύτιμων λίθων παράγεται με θέρμανση και ακτινοβολήση άχρωμου και απαλού μπλε τοπάζιου (Wise, 2021).



Σχήμα 6. Εικόνες του χρώματος που λαμβάνει ο αμέθυστος σε διαφορετικές θερμοκρασίες και το προσομοιωμένο χρώμα (Πηγή : Guo, 2020).

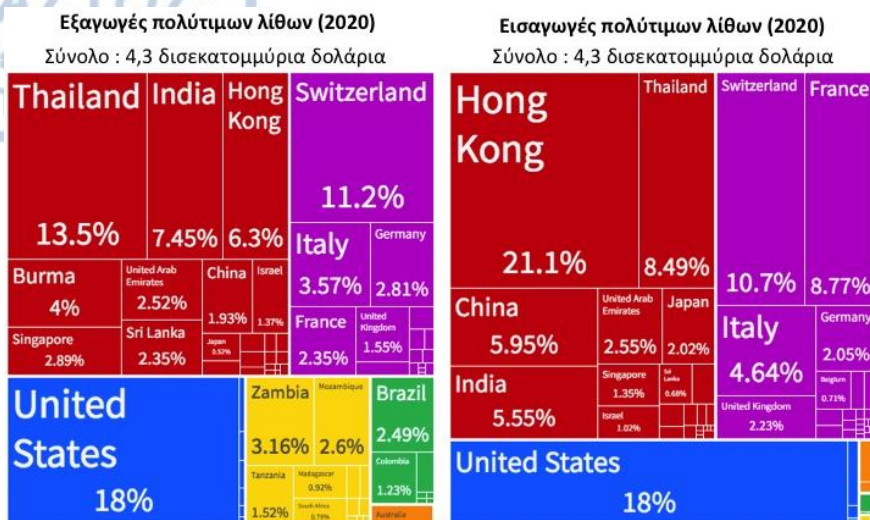
1.5. Εμπόριο πολύτιμων λίθων

Η εξόρυξη και η εμπορία των πολύτιμων λίθων είναι πολύπλοκες και πολύτιμες διαδικασίες. Ιστορικά, θεωρείται ότι το Αφγανιστάν διαδραμάτισε πολύ σημαντικό ρόλο στο παρελθόν σχετικά με την εξόρυξη και το εμπόριο των πολύτιμων λίθων. Στη χώρα υπάρχουν άφθονες τοποθεσίες εξόρυξης πολύτιμων λίθων, ιδιαίτερα στα βορειοανατολικά. Στον σημαντικό ρόλο της χώρας σε σχέση με το εμπόριο μαρτυρούν πολλαπλά αρχαιολογικά ευρήματα από χώρες της Μέσης Ανατολής, της νότιας Ευρώπης και της Νότιας Ασίας. Οι

χαρακτηριστικοί πολύτιμοι λίθοι που είναι πιο επιθυμητοί για εμπόριο από το Αφγανιστάν περιλαμβάνουν σμαράγδι, τουρμαλίνη, τρκουάζ, κουνζίτη, τοπάζι, γρανάτες, ακόμη και φθορίτη. Σημαντικό είναι ότι τεράστιες ποσότητες των κοιτασμάτων από το Αφγανιστάν έχουν εξαχθεί παράνομα με περίπου το 95% αυτών να πηγαίνει στο Πακιστάν για διαλογή και στη συνέχεια σε άλλες χώρες για κοπή. Υπολογίζεται ότι σε αυτή τη μαύρη αγορά μετακινήθηκαν πολύτιμοι λίθοι συνολικής αξίας 160 εκατομμυρίων δολαρίων σε μια παγκόσμια αγορά περίπου 320 εκατομμυρίων δολαρίων ετησίως (Shroder, 2014).

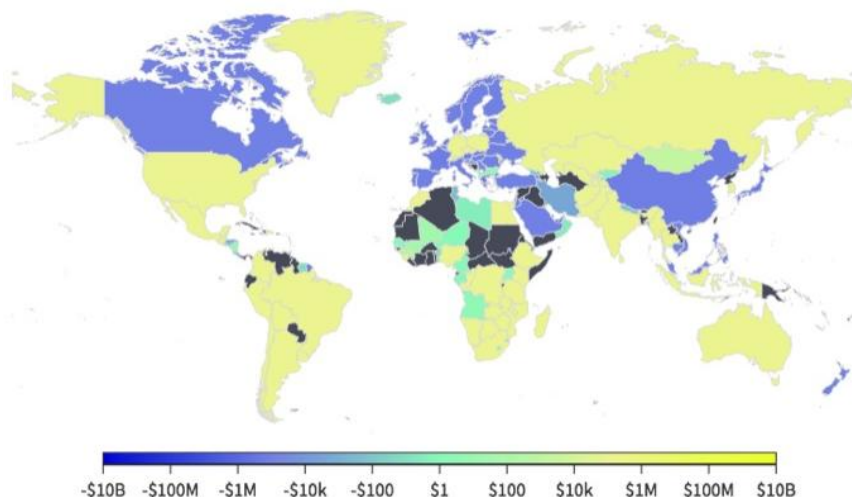
Σήμερα, οι πολύτιμοι λίθοι εξορύσσονται σε όλο τον κόσμο, αλλά ορισμένες χώρες, όπως η Βραζιλία, η Σρι Λάνκα, Μιανμάρ, Αυστραλία και Μαδαγασκάρη, έχουν αποκτήσει ιδιαίτερη φήμη για την εξόρυξη πολλών ή ιδιαίτερα όμορφων λίθων. Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία για το 2020, οι κορυφαίοι εξαγωγείς πολύτιμων λίθων ανά τον κόσμο ήταν οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής με έσοδα 788 εκ. δολ., η Ταϊλάνδη με 591 εκ. δολ. η Ελβετία, η Ινδία και το Χονγκ Κονγκ. Από την άλλη πλευρά, οι κορυφαίοι εισαγωγείς πολύτιμων λίθων ήταν το Χονγκ Κονγκ, οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, η Ελβετία, η Γαλλία και η Ταϊλάνδη (Σχ. 7, Σχ. 8) (OEC, 2022). Όσον αφορά τη δυναμική της αγοράς, αυξήσεις στις εξαγωγές μεταξύ των ετών 2019 και 2020 παρατηρήθηκαν στη Νότια Αφρική, τη Ναμίμπια, την Ιαπωνία, την Κινεζική Ταϊπέι και τη Γροιλανδία.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι σε κάθε χώρα εντοπίζονται και διαφορετικοί πολύτιμοι λίθοι. Η Μοζαμβίκη διαθέτει τα μεγαλύτερα κοιτάσματα σε ρουμπίνι παγκοσμίως τα οποία εντοπίζονται κυρίως στο ορυχείο Montepuez στα βορειοανατολικά της χώρας. Χαρακτηριστικό τους είναι ότι αποτελούν τα παλαιότερα ρουμπίνια στον κόσμο τα οποία υπολογίζεται ότι σχηματίστηκαν 500 εκατομμύρια χρόνια πριν. Η Ζάμπια φιλοξενεί τη μεγαλύτερη επιχείρηση σμαραγδιών στον κόσμο που εξορύσσονται από το ορυχείο Kagem. Η παραγωγή αντιπροσωπεύει το ένα τέταρτο της παγκόσμιας αγοράς με σμαράγδια ηλικίας έως και 1,3 δισεκατομμυρίων ετών. Η Μαδαγασκάρη παράγει περίπου τα μισά από τα ζαφείρια υψηλής ποιότητας στον κόσμο, ωστόσο, το 70% αυτών που εξορύσσονται μεταφέρονται λαθραία στη Σρι Λάνκα από εμπόρους. Υπολογίζεται ότι ζαφείρια αξίας 150 εκατομμυρίων δολαρίων εγκαταλείπουν τη χώρα κάθε χρόνο. Στην Τανζανία, ο τανζανίτης απαντάται μόνο στους πρόποδες του όρους Κιλιμάντζαρο σε μία περιοχή 4 km². Αυτό συμβαίνει λόγω των ασυνήθιστων κινήσεων των τεκτονικών πλακών και των ακραίων υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούσαν στην περιοχή πριν από 585 εκατομμύρια χρόνια.



Σχήμα 7. Κορυφαίες χώρες σε εξαγωγή και εισαγωγή πολύτιμων λίθων για το έτος 2022 (Πηγή: Τροποποίηση από OEC, 2022).

Τον πυρήνα της παραγωγής φυσικών διαμαντιών αποτελεί η Αφρική από τη δεκαετία του 1870. Ωστόσο, τις τελευταίες δεκαετίες η παραγωγή διαμαντιών έχει εξαπλωθεί σε πολλά μέρη του κόσμου με ραγδαία αύξηση από τη Ρωσία και τον Καναδά. Πέρα από τους κυρίαρχους παραγωγούς, πολλές χώρες παράγουν λιγότερο από ένα εκατομμύριο καράτια ετησίως, όπως η Γκάνα, η Γουινέα, η Γουιάνα, το Λεσότο, η Σιέρα Λεόνε και η Ζιμπάμπουε (Geology, 2023).

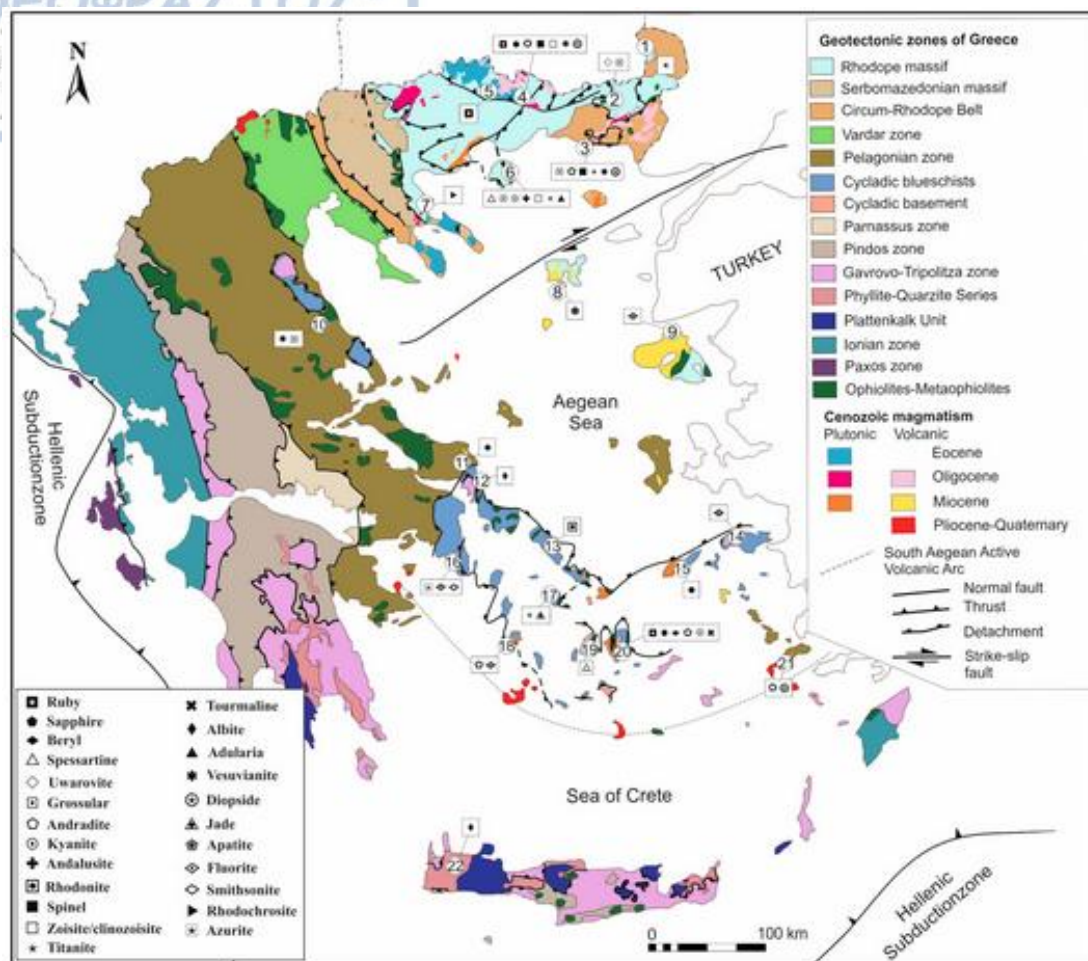


Σχήμα 8. Χάρτης που απεικονίζει το καθαρό εμπόριο (Net trade) των πολύτιμων λίθων ανά τον κόσμο για το έτος 2020. Κάθε χώρα χρωματίζεται με βάση τη διαφορά στις εξαγωγές και τις εισαγωγές (Πηγή: Τροποποίηση από OEC, 2022).

2. ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ- ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΕΛΛΑΔΟΣ

2.1. Οι πολύτιμοι λίθοι και χωρικός εντοπισμός τους στην Ελλάδα

Παραδοσιακά, η Ελλάδα δεν θεωρείται ως χώρα μαζικής προέλευσης πολύτιμων λίθων. Ωστόσο, διαφορετικοί πολύτιμοι λίθοι απαντώνται σε διαφορετικές περιοχές της χώρας (Σχ. 9). Η Σαμοθράκη φιλοξενεί ζαφείρια, σμαράγδια και ρουμπίνια. Στη Λήμνο, στο βόρειο Αιγαίο, υπάρχουν αποθέματα αμέθυστου και περίδοτου. Τα όρη της Ροδόπης φιλοξενούν μεγάλη ποικιλία ορυκτών και πετρωμάτων με πιο χαρακτηριστικούς τους πολύτιμους λίθους Μαρώνειας που απαντώνται σε μοναδικά χρώματα και σχήματα. Το νησί της Τήνου είναι γνωστό για τα κοιτάσματα αμέθυστου, ενώ ευρίσκονται επίσης και ημιπολύτιμοι λίθοι, όπως χαλαζίας, αχάτης και ίασπης (Bispenda, 2022). Στη Νάξο απαντάται το ζαφείρι και η βήρυλλος, στην Πάρο ο κόκκινος σπεςαρτίνης, στα ορυχεία του Λαυρίου σμιθσονίτης και στη Σέριφο πράσινος χαλαζίας (πράσιος). Οι εργασίες εξερεύνησης στην Ελλάδα τις τελευταίες τρεις δεκαετίες έχουν οδηγήσει στην ανακάλυψη νέων ορυκτών φαινοκρυστάλλων, πολλοί από τους οποίους είναι πολύτιμοι λίθοι (Voudouris, 2019a). Αξίζει να αναφερθεί ότι η εκμετάλλευση των περισσότερων ορυκτών στην Ελλάδα δεν είναι εφικτή καθώς οι θέσεις που αυτά εμφανίζονται είναι δύσβατες και η έκταση που καταλαμβάνουν μικρή. Ανασταλτικό παράγοντα της εκμετάλλευσης τους διαδραματίζει, επίσης, η έλλειψη εξειδικευμένων εργαστηρίων για την κατεργασία τους.



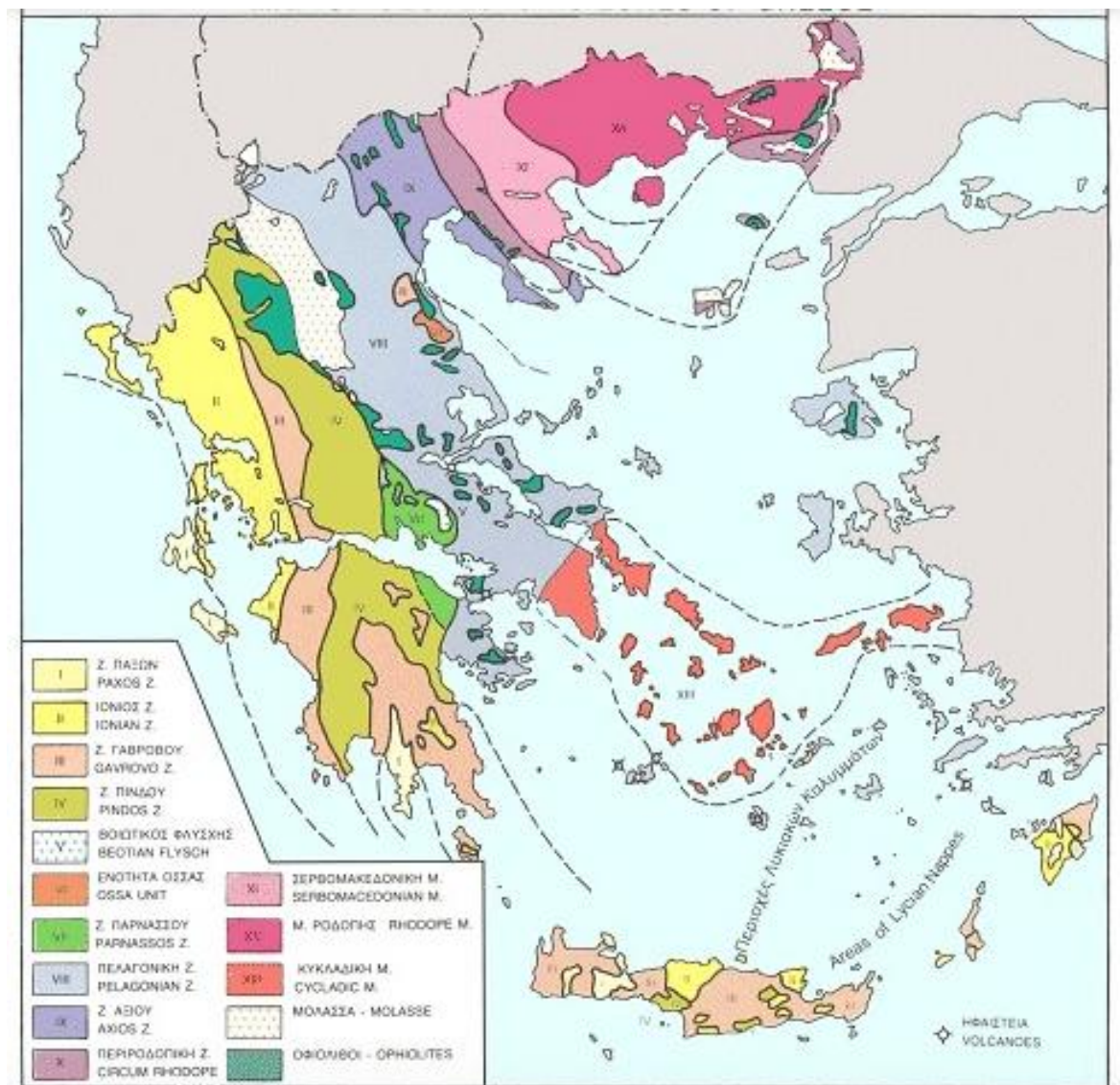
Σχήμα 9. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας που απεικονίζει εμφανίσεις διαφόρων πολύτιμων λίθων σε μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα της Ελλάδας. 1. Θεράπιο/Εβρος, 2. Βυρσίνη/Εβρος, 3. Μαρώνεια/Ροδόπη 4. Γοργόνα-Κιμμέρια/Ξάνθη, 5. Παρανέστι/Δράμα, 6. Τρίκορφο/Θάσος, 7. Στρατώνι-Ολυμπιάδα/Χαλκιδική, 8. Φακός/Νήσος Λήμνος, 9. Μεγάλα Θέρμα/Νήσος Λέσβος, 10. Λάρισα, 11. Κύμη/Εύβοια, 12. Κριεζά. -Κόσκινα/Εύβοια, 13. Πέταλο/Άνδρος, 14. Άμπελος/Σάμος, 15. Πούντα/Ικαρία, 16. Λαύριο/Αττική, 17. Κάμπος/Νήσος Σύρος, 18. Αγία Μαρίνα-Αβεσσαλός/Σέριφος, 19. Θάψανα/Νήσος Πάρος, 20. Κινίδαρος-Καβαλάρης/Νήσος Νάξος, 21. Καρδάμaina/Νήσος Κως, 22. Λάκκοι/Κρήτη (Πηγή : Voudouris, 2019a).

2.2. Γεωλογία Ελλάδος

Η συστηματική κοιτασματολογική και μεταλλευτική έρευνα προϋποθέτει άριστη γνώση της γεωλογικής κατασκευής και της τεκτονικής δομής μιας περιοχής. Πολλαπλές έρευνες σχετικά με την Ελλάδα έχουν αποδείξει ότι η γεωλογική κατασκευή της είναι αποτέλεσμα αλπικής ορογένεσης. Ιστορικά, οι Ερκύνιες και οι Καληδόνιες ορογενετικές κινήσεις οδήγησαν στη δημιουργία της “Ερκυνίου Χέρσου”. Η διάβρωση της “Ερκυνίου Χέρσου”, λόγω της κατάκλισης της από τα νερά της θάλασσας της Τηθύος, οδήγησε στην

εναπόθεση αλπικών ιζημάτων, από την πτύχωση των οποίων δημιουργήθηκαν οι Ελληνίδες Οροσειρές. Οι Ελληνίδες Οροσειρές αποτελούν μέρος του ορογενούς των Άλπεων-Ιμαλαΐων. Το Ελληνικό Αλπικό Γεωσύγκλινο αποτελούνταν από μη ομαλό πυθμένα που αποτελείτο από επιμήκεις υποθαλάσσιες ράχες διαχωρισμένες από βαθύτερες αύλακες. Ιζήματα της ίδιας σειράς διαδοχής και του ίδιου τεκτονικού ρυθμού, αποτέθηκαν στις ράχες και στις αύλακες ακολουθώντας κατεύθυνση από κάτω προς τα πάνω. Αποτέλεσμα ήταν ο σχηματισμός των ισοτοπικών ζωνών.

Οι γεωτεκτονικές ζώνες του Ελλαδικού χώρου, αποτελούν στρωματογραφικές – τεκτονικές ενότητες οι οποίες προέκυψαν ως αποτέλεσμα της πτύχωσης των ισοτοπικών ζωνών του ελληνικού αλπικού γεωσύγκλινου (Σχ. 10). Παρουσιάζουν όμοια λιθολογικά χαρακτηριστικά, έχουν μεγάλο μήκος και ακολουθούν τη διεύθυνση των οροσειρών.



Σχήμα 10. Οι γεωτεκτονικές ζώνες του ελλαδικού χώρου (Πηγή: Μουντράκης 2021).

Η αλπική ορογένεση, που προέκυψε από τη σύγκρουση της Απουλίας με την Λαυρασία κατά την Ύστερη Κρητιδική περίοδο, οδήγησε στην εκδήλωση πλουτώνιας και ηφαιστειακής δραστηριότητας, προϊόντα των οποίων ήταν διάφορα ηφαιστειακά, βασικά και υπερβασικά πετρώματα. Τα πετρώματα αυτά είναι πλούσια σε πολλά και διαφορετικά μεταλλοφόρα κοιτάσματα. Στην περίοδο που ακολούθησε, πολλαπλές διαρρήξεις είχαν ως αποτέλεσμα την απόθεση μεταλλικών ιζημάτων στη μεσοελληνική αύλακα ή στις νεογενείς και τεταρτογενείς λεκάνες.

Το ηπειρωτικό σύστημα διάρρηξης, είναι στενά συνδεδεμένο με το νησιωτικό τόξο το οποίο αναπτύσσεται στα περιθώρια του ηπειρωτικού φλοιού. Η ανάπτυξή του είναι τοξοειδής και αποτελείται από το ιζηματογενές τόξο και το ηφαιστειακό τόξο (Σχ. 11). Στην Ελλάδα το ηφαιστειακό τόξο περιλαμβάνει τα ηφαιστειογενή νησιά Θήρα, Μήλο, Νίσυρο κ.ά.

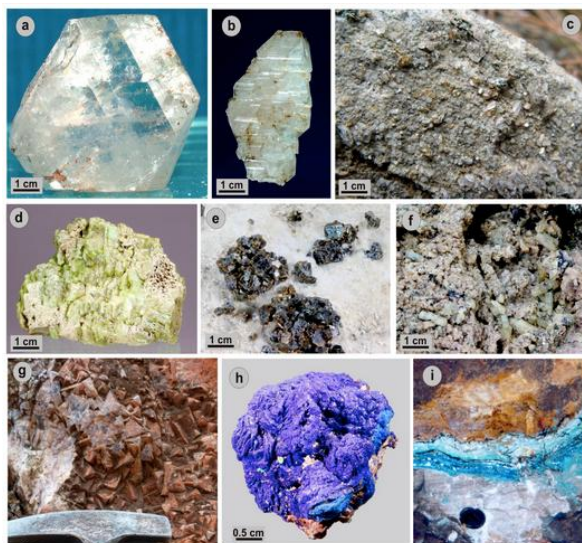


Σχήμα 11. Το Ελληνικό νησιωτικό τόξο (Πηγή : oryktosploutos.net).

Έτσι, οι Ελληνίδες Οροσειρές υποδιαιρούνται σε διάφορες ενότητες, τις Εσωτερικές Ελληνίδες και τις Εξωτερικές Ελληνίδες. Στις Εσωτερικές ανήκουν οι ζώνες Περιοδοπική, Παιονίας, Πάικου, Αλμωπίας, Πελαγονική, Αττικοκυκλαδική και Υποπελαγονική. Στις Εξωτερικές Ελληνίδες ανήκουν οι ζώνες Παρνασσού-Γκιώνας, Ωλονού-Πίνδου, Γαβρόβου-Τρίπολης, Αδριατικοϊόνιος και Παξών. Η μάζα της Ροδόπης και η Σερβομακεδονική μάζα ανήκουν στην Ελληνική Ενδοχώρα.

Στην Ελλάδα απαντώνται διάφορα γεωλογικά περιβάλλοντα τα οποία έχουν επιτρέψει το σχηματισμό διαφορετικών πολύτιμων λίθων. Σε αυτά περιλαμβάνονται μεταμορφικά-μετασωματικά περιβάλλοντα, αλπικού τύπου διακλάσεις, πλουτωνικές-υποηφαιστειακές διεισδύσεις και πηγματίτες, ζώνες μεταμόρφωσης επαφής καθώς και περιφερειακά ηφαιστειακά πετρώματα. Πρώιμα γεγονότα ήταν υπεύθυνα για το σχηματισμό των περισσότερων πολύτιμων λίθων που απαντώνται τόσο σε περιφερειακά μεταμορφωμένα

πετρώματα, όσο και σε πρώιμες αλπικές διακλάσεις στην χώρα (Σχ. 12). Το ρουμπίνι και ο νεφρίτης γενικά σχηματίζονται ως αποτέλεσμα της καταβύθισης και της σύγκρουσης των τεκτονικών πλακών και εναλλακτικά ονομάζονται «Πολύτιμοι λίθοι τεκτονικής πλάκας». Ο σχηματισμός των σωμάτων ιαδεΐτη στο νησί της Σύρου προέρχεται από αλληλεπίδραση υγρού μέσα και γύρω από τον περιδοτίτη, προερχόμενο από την ζώνη υποβύθισης. Ο γρανάτης, στην Μάζα της Ροδόπης και στην Πελαγονική ζώνη είναι αποτέλεσμα αλλοίωσης σε ροδιγκίτη γαββρικών και δολεριτικών φλεβών όπου ο ροδιγκίτης σχετίζεται με διαδικασίες μετασωματικής αλλοίωσης. Τα κοιτάσματα κορουνδίου ευρίσκονται σε διάφορα γεωλογικά περιβάλλοντα. Το κοιτάσμα ρουμπινιού στην περιοχή της Δράμας και τα ροζ έως μπλε ζαφείρια εντός μαρμάρων στην περιοχή της Ξάνθης εμφανίζονται κατά μήκος της ζώνης επώθησης του Νέστου. Στην περιοχή Τρίκορφο (Νήσος Θάσος, Μάζα της Ροδόπης, Βόρεια Ελλάδα), που αντιπροσωπεύει μια μοναδική ορυκτολογική τοποθεσία με ορυκτά που περιέχουν Mn όπως κυανίτης, ανδαλουσίτης, γρανάτης και επίδοτο, εντοπίστηκαν μετασωματικές αντιδράσεις που έλαβαν χώρα κατά την ανάδυση τοπικά της ενότητας υψηλής πίεσης της ζώνης επώθησης του Νέστου που περιείχε στρώματα εμπλουτισμένα σε Mn (Voudouris, 2019a).



Σχήμα 12. Φωτογραφίες δειγμάτων που απεικονίζουν διαφορετικούς κρυστάλλους από την Ελλάδα: (a,b) αλβίτης από τα Κριεζά της Εύβοιας, (c) τιτανίτης και χαλαζίας από το Τρίκορφο της Θάσου, (d) βεζουβιανίτης από το σκαρν της Μαρώνειας, (e) σπινέλιος σε μάρμαρο από τη Γοργόνα, Ξάνθη, (f) απατίτης και K-άστριος από καολινιωμένο μονζονίτη από το Φακό/Λήμνος, (g) πορφυρός φθορίτης επικαλυμμένος με οξείδια σιδήρου από την Αμπελο της Σάμου, (h) αζουρίτης, Καμάριζα από το κοιτάσμα Λαυρίου, (i) μπλε σμιθσονίτης εντός μαρμάρου με οξείδια σιδήρου από την Καμάριζα/Λαύριο (πηγή : Voudouris, 2019a)

2.3. Σημαντικότητα μελέτης των πολύτιμων λίθων στην Ελλάδα

Οι πολύτιμοι λίθοι της Ελλάδας, όπως προαναφέρθηκε, βρίσκονται σε ποικίλα γεωλογικά περιβάλλοντα τα οποία ακόμη δεν έχουν επαρκώς μελετηθεί. Ως εκ τούτου, παρουσιάζονται μεγάλα κενά αναφορικά με τη γεωλογία, την ορυκτολογία, τη γεωχημεία και τα χαρακτηριστικά των ρευστών που εμπλέκονται στο σχηματισμό διαφόρων πολύτιμων λίθων στην Ελλάδα. Η συστηματική μελέτη των παραπάνω παραμέτρων δύναται να οδηγήσει τόσο σε εύρεση νέων κοιτασμάτων όσο και να αναπτύξει τον τρόπο εξόρυξης των ήδη γνωστών. Η τοποθεσία Τρίκορφο μπορεί να θεωρηθεί ως μια πολλά υποσχόμενη περιοχή για την εξερεύνηση διάφανων πολύτιμων λίθων λόγω του τρόπου γένεσής τους. Η Θάσος, σύμφωνα με μελέτες, μπορεί να ταξινομηθεί ως η δεύτερη τοποθεσία παγκοσμίως σε πορτοκαλόχρωμο κυανίτη, μετά από αυτόν του κοιτάσματος Loliondo στην Τανζανία. Έτσι, κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω μελέτη με σκοπό τον εντοπισμό οικονομικά βιώσιμων κοιτασμάτων.

3. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΚΟΡΟΥΝΔΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

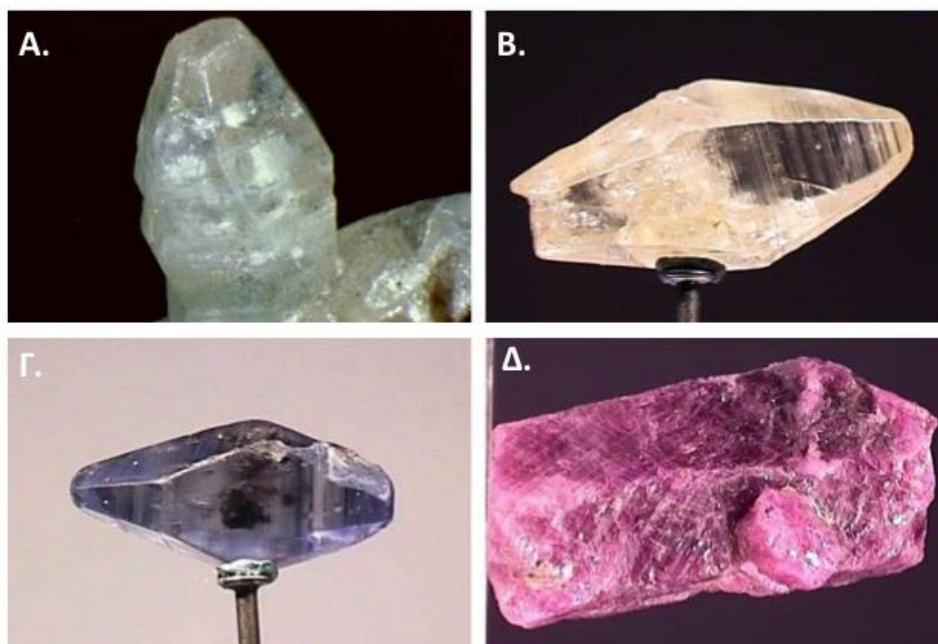
3.1. Το Κορούνδιο

Το κορούνδιο είναι ορυκτό οξείδιο του αργιλίου που εμφανίζει πολύ ισχυρούς δεσμούς Αργιλίου-Οξυγόνου. Λόγω της πυκνότητάς του, αποτελεί ένα πολύ σκληρό ορυκτό και κατατάσσεται δεύτερο σε σκληρότητα μετά το διαμάντι. Αποτελεί ορυκτό που συναντάται σε μια σειρά από πετρώματα. Είναι σχετικά κοινό σε πολλά μεταμορφωμένα πετρώματα ποικίλων λιθολογιών και η περιοχή σταθερότητάς του είναι τεράστια. Για παράδειγμα, μπορεί να εμφανιστεί κατά τη διάρκεια δασικών πυρκαγιών σε εδάφη βωξίτη, κάτω από ατμοσφαιρική πίεση. Λόγω της χημικής του σύστασης, συναντάται σε πετρώματα πλούσια σε αργίλιο και φτωχά σε πυρίτιο. Τα διαφορετικά γεωλογικά περιβάλλοντα εμφάνισής του κάνουν το κορούνδιο να απαντάται σε πολλές διαφορετικές περιοχές ανά τον κόσμο. Ανάλυση της γεωλογίας των κοιτασμάτων κορούνδιου δείχνει ότι τα περισσότερα έχουν μοναδικά χαρακτηριστικά, αν και ορισμένα μπορούν να ομαδοποιηθούν σύμφωνα με κοινά γεωλογικά, πετρογραφικά και γενετικά χαρακτηριστικά (Simonet, 2008).

Το ρουμπίνι και το ζαφείρι αποτελούν ποικιλίες του κορούνδιου. Το ρουμπίνι έχει κόκκινο χρώμα λόγω παρουσίας στη χημική σύστασή του χρωμίου ως ιχνοστοιχείο, ενώ το

ζαφείρι έχει μπλε χρώμα λόγω παρουσίας σιδήρου και τιτανίου ως ιχνοστοιχεία. Οι κύριες χώρες στις οποίες απαντάται το κορούνδιο είναι η Μιανμάρ και η Σρι Λάνκα, ενώ επίσης εξορύσσεται σε πολλές χώρες της Αφρικής, στην Ινδία, στις ΗΠΑ, στην Βραζιλία και τη Μαδαγασκάρη (Σχ. 13). Στην Τανζανία και την Αυστραλία βρίσκονται ζαφείρια σπάνιων αποχρώσεων, όπως μαύρο και πράσινο. Στην Ελλάδα, η κύρια μορφή εξόρυξής του είναι η σμύριδα η οποία απαντάται στο νησί της Νάξου.

Τα τελευταία χρόνια γίνεται μεγάλη προσπάθεια από την ερευνητική κοινότητα να ταξινομηθούν τα κοιτάσματα του κορούνδιου και να ομαδοποιηθούν με βάση τα χαρακτηριστικά τους. Αυτό γιατί με αυτό τον τρόπο δύναται να βρεθούν πολλά νέα γεωλογικά περιβάλλοντα με κοιτάσματα κορούνδιου, η αναζήτηση και η εξόρυξη των οποίων θα προσφέρει τόσο νέες γνώσεις σχετικά με τον σχηματισμό τους όσο και μεγάλα οικονομικά οφέλη.



Σχήμα 13. Φωτογραφίες κορούνδιου (Α) Κορούνδιο από τα όρη του Πακιστάν (Β) Άχρωμο ζαφείρι με μέγεθος 1,5 cm από τη Σρι Λάνκα (Γ) Γαλάζιο ζαφείρι μεγέθους 1 cm από τη Σρι Λάνκα (Δ) Ρουμπίνι μεγέθους 3 cm από την Ινδία. (Πηγή: Τροποποίηση από geo.auth.gr).

3.2. Τοπική Γεωλογία κορούνδιου

Η εμφάνιση κορούνδιου στην περιοχή της Ξάνθης είναι στρωματοειδής και κατανεμημένη σε στρώματα μαρμάρου, που φτάνει τα 50 μέτρα πάχος, και εναλλάσσεται με αμφιβολίτες. Σπινέλλιος χρώματος απαλού πράσινου ως άχρωμος εμφανίζεται μικροσκοπικά

ως κορώνα γύρω από κρυστάλλους κορουνδίου και αποτελεί προϊόν αντίδρασης δολομίτη+κορουνδίου. Το χρώμα του σπινέλλιου κυμαίνεται από μπλε έως πράσινο και καφέ. Αναφορικά με τις παραγενέσεις του κορουνδίου έχουν οριστεί οι ακόλουθες: ασβεστίτης-ανορθίτης-ζοϊσίτης, ασβεστίτης-κορούνδιο-σπινέλλιος, ασβεστίτης-κορούνδιο-ζοϊσίτης και μαργαρίτης-ζοϊσίτης-ανορθίτης-χλωρίτης. Οι κρύσταλλοι εμφανίζονται μέσα σε ζώνες μικροδιάτμησης, πλούσιες σε φυλλοπυριτικά ορυκτά, και ανευρίσκονται κατά μήκος στρωμάτων μαρμάρου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το μπλε κορούνδιο μετατρέπεται σε πράσινο σπινέλιο. Σε αυτή την περιοχή έχει επίσης αναφερθεί και η παρουσία κόκκινου κορουνδίου προερχόμενο κυρίως από αμφιβολίτες που φέρουν ζοϊσίτη (Liati, 1988).

Η εμφάνιση του κορουνδίου στο Παρανέστι, στην περιοχή της Δράμας, είναι στρωματοειδής, προσανατολισμένη παράλληλα με την κύρια περιφερειακή σχιστότητα, και κατανέμεται κυρίως σε φακούς από αμφιβολιτικό σχιστόλιθο. Οι σχιστόλιθοι που φέρουν κορούνδιο περιβάλλονται από μία στενή ζώνη υψηλής σχιστότητας κλινοχλωριτικού σχιστόλιθου και εμφανίζονται μαζί με σπάνιους μικρούς φακούς σχιστόλιθων πλούσιους σε κορούνδιο-κυανίτη-αμφίβολο υπό μορφή μπουντινάζ (boudinage). Αυτή η περιοχή είναι πιθανή για την ύπαρξη μιας διακεκριμένης λευκόχρωμης φλέβας πηγματίτη χαλαζία-άστριου-μαρμαρυγία-γρανάτη η οποία διεισδύει σε αμφιβολιτικό σχιστόλιθο που φιλοξενεί κορούνδιο. Η μετάβαση από την αμφιβολιτική λιθολογία προς την ανοργανοποίηση του κορουνδίου γίνεται μέσω μιας πλούσιας σε κλινοχλωρίτη ζώνης σχιστόλιθου (Wang, 2017).

Στο νησί της Νάξου, τα κορούνδια εμφανίζονται σε δύο τοποθεσίες που αντιπροσωπεύουν διαφορετικά γεωλογικά περιβάλλοντα. Το πρώτο βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του νησιού και περίπου 2 χιλιόμετρα ανατολικά και νοτιοανατολικά του Κυνίδαρου και αφορά δύο πλουμασίτες (αποπυριτωμένοι πηγματίτες) που φιλοξενούν κορούνδιο. Εντοπίζονται μεταπεριδοτίτες που περιβάλλονται από φλογοπίτη, ο οποίος σχηματίστηκε στην επαφή μεταξύ των μεταπεριδοτιτών και των πηγματιτών που διείσδυσαν. Σήμερα, οι περισσότεροι από τους πλουμασίτες και τους μεταπεριδοτίτες εμφανίζονται ως χαλαρά θραύσματα κυρίως λόγω της διάβρωσης και των γεωργικών δραστηριοτήτων στην περιοχή. Οι πλουμασίτες περιβάλλονται από μια ζώνη φλογοπίτη και χλωρίτη πλάτους έως και 20 εκατοστών. Μέσα στους πλουμασίτες, μπορεί να εμφανιστεί άχρωμο έως μπλε, μοβ και ροζ κορούνδιο είτε ως απομονωμένοι κρύσταλλοι εντός μητρικού υλικού από πλαγιόκλαστα, είτε ως σχετιζόμενοι με τον τουρμαλίνη και τον φλογοπίτη. Η δεύτερη περιοχή πλούσια σε κορούνδιο βρίσκεται στο νότιο τμήμα του νησιού, κοντά στο λόφο Καβαλάρη όπου το κορούνδιο αντιπροσωπεύει ένα ενιαίο ορυκτό πέτρωμα, τον κορουνδίτη, το οποίο σχηματίστηκε από τη διάσπαση των διασποριτών σε βωξίτες κατά το πρόδρομο στάδιο

περιοχικής μεταμόρφωσης. Οι κρύσταλλοι κορουνδίου εμφανίζονται κυρίως στην επαφή ανάμεσα σε μάρμαρα και μεταβωξίτες. Το κορούνδιο από αυτή την τοποθεσία είναι συμπαγές με μπλε χρώμα και δεν εμφανίζεται ως καλοσχηματισμένοι κρύσταλλοι.

Στο νησί της Ικαρίας, ο μεταβωξίτης εντοπίζεται στο βουνό Αθέρας. Είναι γνωστό ότι το κορούνδιο αποτελεί ορυκτολογικό συστατικό (σμύριδα) μεταβωξιτικών φακών που βρίσκονται μέσα σε δολομιτικό και ασβεστιτικό μάρμαρο το οποίο είναι τοποθετημένο πάνω σε γνεύσιο, όντας μέρος της ενότητας της Ικαρίας. Ωστόσο, οι φαινοκρύσταλλοι κορουνδίου αντιπροσωπεύουν μια δεύτερη, όψιμη, γενιά κορουνδίου μέσα στη σμύριδα, καθώς γεμίζουν μαζί με μαργαρίτη εκτατικές διακλάσεις και δίκτυα φλεβών που δεν ταιριάζουν με τη σχιστότητα του μεταβωξίτη (Voudouris, 2010a).

3.3. Ορυκτολογία του κορουνδίου

Στην Ελλάδα εντοπίζονται πολύτιμοι λίθοι κορουνδίου κυρίως εντός των τεκτονο-μεταμορφικών ενοτήτων της Ροδόπης, στις περιοχές Ξάνθης και Δράμας, και στα νησιά των Κυκλάδων, στη Νάξο και στην Ικαρία.

Σχετικά με τις περιοχές της Ροδόπης, τα κοιτάσματα ζαφειριού στην περιοχή της Ξάνθης βρίσκονται κυρίως στις τοποθεσίες Γοργόνα – Στήριγμα. Είναι στρωματόμορφα και απαντώνται μέσα σε στρώματα μαρμάρου που εναλλάσσονται με αμφιβολίτες. Τα ρουμπίνια στην περιοχή της Δράμας περιορίζονται σε φακούς παργασιτικού σχιστόλιθου που εναλλάσσονται με αμφιβολίτες και γνεύσιους. Το ζαφείρι από μάρμαρα Ξάνθης, έχει διάφορους χρωματισμούς που κυμαίνονται από ροζ, πορτοκαλί, μοβ έως μπλε. Ανευρίσκονται συνήθως με πινακοειδές σχήμα ή σε σχήμα βαρελιού και το μέγεθός τους φθάνει έως και 4 εκατοστά. Τα κορούνδια Ξάνθης είναι διάφανα εμφανίζοντας καθαρά τον αποχωρισμό και τις λεπτές ρωγμές τους. Η πολυσύνθετη διδυμία είναι συχνά εμφανιζόμενη. Τα μπλε ζαφείρια εμφανίζουν ζώνωση, με εναλλασσόμενες βαθιές μπλε και άχρωμες περιοχές. Αυτή η ζώνωση ή ακανόνιστη κατανομή χρώματος στα ζαφείρια, αποδίδεται σε διαφορετικές περιεκτικότητες σε Fe και Ti των κρυστάλλων. Τα ζαφείρια Ξάνθης συνδέονται με ασβεστίτη, δολομίτη, καφέ ή μπλε σπινέλιο, μαργαρίτη και τουρμαλίνη. Στην περιοχή της Δράμας, τα ρουμπίνια συνδέονται με τον κυανίτη και περικλείονται από μαργαρίτη, μοσχοβίτη, χλωρίτη και χρωμιούχο σπινέλιο. Οι κρύσταλλοι του ρουμπινιού, που κυμαίνονται σε μέγεθος έως 5 cm και χρώματος ανοιχτό ροζ έως βαθύ κόκκινο, είναι κυρίως

επίπεδοι με πινακοειδές σχήμα και λιγότερο συχνά πρισματικοί και σε σχήμα βαρελιού (Wang, 2017).

Στη Νάξο, περίπου 2 χιλιόμετρα Ανατολικά και Νοτιοανατολικά του Κυνίδαρου, μπλε ζαφείρια έως 3 εκατοστά συνδέονται με γρανιτικούς πηγματίτες που διεισδύουν σε υπερμαφικές λιθολογίες (πλουμασίτες), που εμφανίζονται είτε εντός των ίδιων των πηγματιτών είτε στις περιβάλλουσες ζώνες μετασωματικής αντίδρασης. Οι κρύσταλλοι ζαφειριών από τη Νάξο που εντοπίζονται σε πλουμασίτες έχουν σχήμα βαρελιού και εμφανίζουν μακροσκοπική ζώνωση χρωμάτων από μπλε πυρήνα που περιβάλλεται από λευκή ζώνη ή ως εξωτερική μπλε ζώνωση που περιβάλλει έναν άχρωμο πυρήνα, ή ως ροζ πυρήνες με μοβ ζώνωση (Vourdouris, 2019 b).

Στο νησί της Ικαρίας, ζαφείρια χρώματος μπλε εμφανίζονται κυρίως στο όρος Αθέρας και φιλοξενούνται μέσα σε μάρμαρα. Τα κορούνδια έχουν σχήμα πινακοειδές και φτάνουν σε μεγέθη έως και 4 εκατοστά. Συνήθως συνοδεύονται από χλωρίτη, αιματίτη και ρουτίλιο. Επίσης, το κορούνδιο περιέχει εγκλείσματα ιλμενίτη, αιματίτη, ουλβοσπινέλιου, ρουτίλιου και ζirkόνιου (Voudouris, 2010 b).

3.4. Χημική σύσταση του κορουνδίου

Με σκοπό τον χαρακτηρισμό της χημικής σύστασης των κοιτασμάτων κορουνδίου στην Ελλάδα έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες μελέτες με διαφορετικές τεχνικές από τους Voudouris et al. (2019). Μία από τις πιο αξιόπιστες θεωρείται η μέθοδος LA-ICP-MS που αποτελεί μια συνδυαστική τεχνική δειγματοληψίας και ανάλυσης με πολλαπλά οφέλη. Το LA χρησιμοποιείται ως μέθοδος δειγματοληψίας, επιτρέποντας την εξαγωγή λεπτών σωματιδίων από την επιφάνεια ενός δείγματος.

Ανάλυση της χημικής σύστασης των κοιτασμάτων στην περιοχή της Ξάνθης έδειξε ότι τα άχρωμα έως μπλε ζαφείρια εμφανίζουν σημαντικές διακυμάνσεις στο περιεχόμενο Ti το οποίο αντανακλά τον χρωματισμό τους σε ζώνες. Οι γαλαζωπές περιοχές εμφανίζουν υψηλές τιμές ενώ οι ροζ ποικιλίες χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλότερες τιμές. Η περιεκτικότητα σε σίδηρο φτάνει έως και τα 1339 ppm στις άχρωμες και στις μπλε περιοχές ενώ βρίσκονται ελαφρώς πιο αυξημένες και έως τα 1782 ppm στις ροζ ποικιλίες. Τα ροζ κορούνδια χαρακτηρίζονται από σημαντικά υψηλότερες συγκεντρώσεις Cr, σε σύγκριση με τις άχρωμες/μπλε περιοχές. Οι μέγιστες τιμές για περιεκτικότητα σε V και Ga φτάνουν έως 227 και 121 ppm, αντίστοιχα, και καθορίζονται ανεξάρτητα από το χρώμα. Οι τιμές Mg είναι

γενικά υψηλότερες στους άχρωμους έως μπλε κρυστάλλους, σε σύγκριση με τους ροζ κρυστάλλους. Τα ρουμπίνια από τη Δράμα εμφανίζουν πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε Cr και Fe ενώ οι συγκεντρώσεις σε Ti, Mg, Ga και V είναι χαμηλές.

Τα ζαφείρια από τη Νάξο χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις Fe που σχετίζονται με τις μπλε περιοχές που αυτά φέρουν. Το Ti είναι σημαντικά χαμηλότερο, με εξαίρεση τα άχρωμα έως μπλε κορούνδια, όπου ανιχνεύονται υψηλές τιμές. Το χρώμιο σε μπλε έως άχρωμες ποικιλίες είναι χαμηλό ενώ αυξάνεται σε κρυστάλλους με ροζ και μοβ αποχρώσεις. Η περιεκτικότητα σε βανάδιο δεν μεταβάλλεται ιδιαίτερα μεταξύ των δειγμάτων. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις Ga εμφανίζονται στα ζαφείρια που φιλοξενούνται σε μεταβοξίτη. Τα ζαφείρια από την Ικαρία εμφανίζουν υψηλές τιμές Fe και Ti. Οι τιμές Cr, Mg και V φτάνουν σε μέγιστες τιμές έως και 313, 54 και 164 ppm, αντίστοιχα (Voudouris, 2019 a).

4. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΧΑΛΑΖΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

4.1. Ο Χαλαζίας

Ο χαλαζίας αποτελεί ένα πυριτικό ορυκτό. Σχηματίζεται από διοξείδιο του πυριτίου και είναι ένα από τα πιο κοινά ορυκτά στη φύση. Η ισχυρή σύνδεση μεταξύ των ιόντων του χαλαζία έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη σκληρότητά του. Απαντάται σε μια τεράστια ποικιλία μορφών και χρωμάτων. Το χρώμα του κυμαίνεται από σκούρο καφέ-μαύρο (καπνίας) έως τελείως διαφανές (ορεία κρύσταλλος) (Σχ. 14). Οι διαφορετικές συνθήκες, δηλαδή η πίεση και η θερμοκρασία που χαρακτηρίζουν κάθε περιβάλλον, καθορίζουν ποιος τύπος κρυστάλλου χαλαζία θα σχηματιστεί σε κάθε περίπτωση. Έτσι, μπορεί να απαντηθεί σε περιβάλλοντα όπως σε διακλάσεις αλπικού τύπου, σε κοιλότητες που φιλοξενούν γρανίτη ή φλέβες χαλαζία, και σε επιθερμικά ηφαιστειακά περιβάλλοντα. Οι πιο κοινές μορφές του είναι η ορεία κρύσταλλος, ο αμέθυστος, ο κιτρίνης, ο καπνίας, ο πράσσιος και ο αβεντουρίνης. Μία από τις πιο σημαντικές ιδιότητες του χαλαζία είναι η ικανότητά του να πάλλεται με συχνότητα 32.768 κύκλους ανά δευτερόλεπτο όταν διαπερνάται από ηλεκτρικό ρεύμα. Γι' αυτό τον λόγο ο χαλαζίας χρησιμοποιείται ευρέως στην ωρολογοποιία.



Σχήμα 14. Φωτογραφίες Χαλαζία (Α) Χαλαζίας με εγκλείσματα αιματίτη (Β) Χαλαζίας από την περιοχή θερμών πηγών στις ΗΠΑ (Γ) Φλέβα χαλαζία στο νησί της Σάμου (Δ) Χαλαζίας καπνίας (Πηγή: www.britannica.com).

Οι κύριοι παραγωγοί χαλαζία στον κόσμο είναι η Κίνα, η Ιαπωνία και η Ρωσία. Σημαντικές ποσότητες του ορυκτού εξορύσσουν επίσης το Βέλγιο, η Βραζιλία, η Βουλγαρία, η Γαλλία, η Γερμανία, η Νότια Αφρική και το Ηνωμένο Βασίλειο.

Στην Ελλάδα, χαλαζίας αλπικού τύπου ευρίσκεται στην Αττική, τη Δράμα, την Εύβοια, την Ίο, τη Θάσο και την Κρήτη. Οι κρύσταλλοι στην Ελλάδα απαντώνται σε διαφορετικούς τύπους. Κρύσταλλοι χαλαζία έως 50 cm, σε άχρωμες, καπνιστού χρώματος και μαύρες ποικιλίες γεμίζουν μιαρολιθικές κοιλάδες με απλιτικούς γρανίτες στη νήσο Σαμοθράκη. Άχρωμοι κρύσταλλοι χαλαζία σε μέγεθος μέχρι 10 εκατοστών, εμφανίζονται επίσης σε φλέβες χαλαζία που διασχίζουν γρανιτοειδή στη Σαμοθράκη, την Κιμμέρια, τη Μαρώνεια/Ροδόπη και την Τήνο. Ο χαλαζίας είναι ένα πολύ κοινό ορυκτό στα σκαρν της Σερίφου, της Ξάνθης και της Κρέστης Δράμας. Οι συνδυασμοί αμέθυστου και πράσινου χαλαζία που αναπτύσσονται υπό μορφή σκήπτρου στη Σέριφο είναι μοναδικά δείγματα παγκοσμίως. Οι κρύσταλλοι χαλαζία με πράσινο χρώμα, λόγω των εγκλεισμάτων ακτινόλιθου, αναπτύσσονται επίσης μέσα στο βολλαστονιτικό σκαρν στην Κιμμέρια αλλά και στην Κρέστη. Η περιοχή του Αβεσσαλού στη Σέριφο είναι μια από τις καλύτερες τοποθεσίες στον κόσμο όσον αφορά τον πράσινο χαλαζία. Επίσης, χαλαζίας αξίας πολύτιμου λίθου σε κρυστάλλους έως 60 εκατοστών εμφανίζεται στα κοιτάσματα ανθρακικής αντικατάστασης της Χαλκιδικής (Maneta, 2010).

4.2. Γεωλογία και Ορυκτολογία

4.2.1. Διακλάσεις αλπικού τύπου

Στο βόρειο τμήμα της Ελλάδας συναντώνται διακλάσεις αλπικού τύπου σε διάφορα μεταμορφωμένα πετρώματα που ανήκουν στον ορεινό όγκο της Ροδόπης- Σερβομακεδονικής (Papanikolaou, 1981). Κρύσταλλοι χαλαζία έχουν βρεθεί σε τρεις τοποθεσίες, κοντά στο χωριό Δασωτό στη Δράμα, στο νησί της Θάσου και στη Σιθωνία της Χαλκιδικής. Στο Δασωτό, ο χαλαζίας βρίσκεται σε Παλαιοζωικές φλέβες. Σε αυτές τις φλέβες οι κρύσταλλοι εναποτίθενται σε μια τεράστια γαλακτόχρωμη μάζα χαλαζία. Στο νησί της Θάσου, οι κρύσταλλοι χαλαζία εναποτίθενται σε διακλάσεις μέσα σε μεταπηγματιτικούς αμφιβολίτες και μάρμαρα. Οι πιο εντυπωσιακές μορφές κρυστάλλων χαλαζία σε αυτήν την περιοχή είναι τα τριπλά σκήπτρα (Voudouris, 2005).

Στην Αττικοκυκλαδική μάζα ο χαλαζίας μπορεί να συναντηθεί σε πολλές περιοχές. Η περιοχή Κριεζά-Κοσκινά στην Εύβοια (Στερεά Ελλάδα) αποτελείται από σχιστόλιθους, μάρμαρα, αμφιβολίτες και ορθογνεύσιους. Οι κρύσταλλοι χαλαζία έχουν σχηματιστεί σε φλέβες χαλαζία που συνήθως γεμίζουν διακλάσεις τύπου S ή σε διαχωρισμούς που αποτελούνται από άστριο και χαλαζία. Διάφορες κρυσταλλικές μορφές απαντώνται στην περιοχή όπως τυπικοί πρισματικοί κρύσταλλοι, κρύσταλλοι χαλαζία με χλωρίτη, κρύσταλλοι αποχρωματισμένου χαλαζία και πεπλατυσμένες κρυσταλλικές μορφές. Οι κρύσταλλοι είναι διαφανείς και μπορεί να είναι άχρωμοι ή τύπου καπνία. Στην Κάρυστο (νότια Εύβοια) οι πρισματικοί κρύσταλλοι χαλαζία και οι αποχρωματισμένες μορφές απαντώνται σε ορθογνεύσιους και αμφιβολίτες (Katzir, 2000).

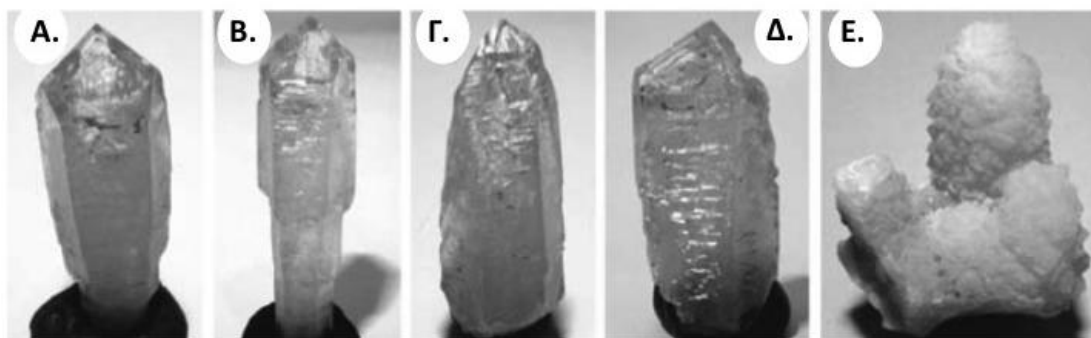
Στην Αττική, κρύσταλλοι χαλαζία απαντώνται σε τρεις περιοχές, τη Σταμάτα, τον Μαραθώνα και το όρος Πεντέλη. Και οι τρεις περιοχές αποτελούνται από ορθογνεύσιους και μάρμαρα τα οποία διασχίζονται από φλέβες χαλαζία που γεμίζουν διακλάσεις αλπικού τύπου. Η περιοχή της Σταμάτας χαρακτηρίζεται από τις ίδιες ορυκτολογίες και περιβάλλοντα κρυστάλλωσης με την περιοχή Κριεζά-Κοσκινά. Στον Μαραθώνα και στο βουνό της Πεντέλης οι διακλάσεις γεμίζουν με παράλληλες φλέβες χαλαζία και προκύπτουν πρισματικοί κρύσταλλοι χαλαζία μεγέθους 50 εκατοστών. Οι τυπικοί κρύσταλλοι που συναντώνται είναι τα κανονικά και αντίστροφα σκήπτρα που αποτελούνται από ορεία κρύσταλλο, αμέθυστο και καπνία (Lozios, 1993).

Στο νησί της Σερύφου, γαλακτόχρωμοι κρύσταλλοι χαλαζία εναποτέθηκαν σε εκτατικές διακλάσεις τύπου S με αποτέλεσμα να αναπτυχθεί ο γρανάτης της Σερύφου (Iglseder, 2009). Στο νησί της Ίου, πρισματικοί κρύσταλλοι άχρωμου χαλαζία και καπνία

έχουν αποτεθεί σε φλέβες χαλαζία όπου βρίσκονται, επίσης, σκήπτρα καπνία (Henjes-Kunst, 1992).

4.2.2. Επιθερμικά ηφαιστειακά περιβάλλοντα

Στη βόρεια Ελλάδα κρύσταλλοι χαλαζία βρίσκονται σε πολλές τοποθεσίες που αντιπροσωπεύουν επιθερμικά αλλοιωμένα ηφαιστειακά περιβάλλοντα. Αυτά αφορούν τις περιοχές Κορνοφωλιά, Σάπες και Κίρκη. Στην Κορνοφωλιά υδροθερμικά ρευστά έχουν εναποθέσει βραχυπρισματικούς εξαγωνικούς κρυστάλλους αμέθυστου, άχρωμους κρυστάλλους χαλαζία και χαλκηδόνιου σε φλέβες στις τριτογενείς λάβες της περιοχής. Στις Σάπες, ο χαλαζίας και ο χαλκηδόνιος εναποτέθηκαν σε φλέβες που αναπτύχθηκαν σε πυροκλαστικά πετρώματα και ανδεσιτικές/δακιτικές λάβες. Εκεί απαντώνται άχρωμα σκήπτρα χαλαζία με τριγωνικές κορυφές, ενώ σπάνια απαντώνται εξαγωνικοί κρύσταλλοι αμέθυστου. Στην Κίρκη φλέβες χαλκηδόνιου διασχίζουν τις υποθαλάσσιες δακιτικές λάβες της περιοχής. Σε κοιλάτητες στο κεντρικό τμήμα των φλεβών σχηματίζονται αμέθυστοι και άχρωμοι κρύσταλλοι χαλαζία. Στο νησί της Λέσβου, οι λάβες του Μειόκαινου είναι εγκάρσιες φλέβες όπου συναντώνται πρισματικοί κρύσταλλοι αμέθυστου και μορφές σκήπτρων (Σχ. 15). Στην περιοχή έχουν βρεθεί επίσης μεγάλοι άχρωμοι κρύσταλλοι. Σε μια άλλη τοποθεσία, ο ροζ χαλαζίας σχηματίζει δομές σταλαγμίτη που καλύπτονται με μικρούς ροζ κρυστάλλους χαλαζία. Στο νησί της Μήλου έχουν εναποτεθεί βραχυπρισματικοί κρύσταλλοι αμέθυστου και άχρωμοι κρύσταλλοι χαλαζία (Maneta, 2010).



Σχήμα 15. Κρύσταλλοι χαλαζία από επιθερμικά ηφαιστειακά περιβάλλοντα (Α, Β) Τριγωνικά σκήπτρα αμέθυστου από τη Λέσβο μεγέθους 3 και 4 εκατοστών αντίστοιχα, (Γ) Αμέθυστος με σχήμα τύπου Muozo από τη Λέσβο (4 εκατοστά). (Δ) Τριγωνικός αμέθυστος από τη Λέσβο (4 εκατοστά). (Ε) ροζ χαλαζίας σε σχήμα σταλαγμίτη από τη Λέσβο (6 εκατοστά) (Πηγή: Τροποποίηση από Maneta, 2010)

4.3. Εγκλείσματα

Ένας σημαντικός αριθμός ορυκτών και ιχνοστοιχείων συναντάται ως εγκλείσματα στους κρυστάλλους χαλαζία. Η παρουσία τους συχνά σχετίζεται άμεσα με το χρώμα των κρυστάλλων και παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τις φυσικοχημικές συνθήκες που χαρακτήριζαν το γεωλογικό περιβάλλον όπου σχηματίστηκαν οι κρύσταλλοι. Ο ακτινόλιθος συναντάται σε αλπικές διακλάσεις ως βελονοειδείς πράσινοι κρύσταλλοι που σχηματίζουν στερεά εγκλείσματα στον χαλαζία. Η παρουσία του στο skarn της Σερίφου είναι ιδιαίτερα σημαντική, αφού δίνει στον χαλαζία το χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα. Ο ασβεστίτης βρίσκεται μαζί με τον χαλαζία σε περιβάλλοντα που σχετίζονται με τριτογενή γρανιτοειδή, όπου είναι υπεύθυνος για την ανάπτυξη ακανόνιστων κρυστάλλων χαλαζία. Ωστόσο, η παρουσία του συνήθως συνδέεται με ηφαιστειακά περιβάλλοντα όπου οι τραπεζοειδείς κρύσταλλοι ασβεστίτη συνοδεύουν τον χαλκηδόνιο, τον χαλαζία και τον αμέθυστο. Ο χλωρίτης συναντάται σε πολλές περιοχές και στους δύο τύπους γεωλογικών περιβαλλόντων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Ο χλωρίτης είναι ιδιαίτερα κοινός σε διακλάσεις αλπικού τύπου όπου σχηματίζει στερεά εγκλείσματα μέσα σε κρυστάλλους χαλαζία και είναι συχνά υπεύθυνος για το πράσινο χρώμα του χαλαζία. Ιδιόμορφοι ψευδοεξαγωνικοί κρύσταλλοι χλωρίτη έχουν βρεθεί στη Θάσο όπου συνοδεύουν το ρουτίλιο και τον χαλαζία σε διακλάσεις. Στη Λέσβο το επίδοτο συνοδεύει τον αμέθυστο στις λάβες. Οι άστριοι βρίσκονται ως δευτερεύοντα ορυκτά και στερεά εγκλείσματα σε κρυστάλλους χαλαζία σε όλους τους τύπους γεωλογικών περιβαλλόντων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Στις αλπικού τύπου διακλάσεις της Εύβοιας ο αδουλαίος σχηματίζει ψευδορομβοεδρικούς γαλακτόχρωμους ή πράσινους κρυστάλλους. Γαλακτόχρωμοι κρύσταλλοι αδουλαίου βρίσκονται επίσης στο νησί της Θάσου. Στη Μαρόνεια το ορθόκλαστο σχηματίζει γαλακτόχρωμους κρυστάλλους, ενώ στη Σαμοθράκη απαντώνται ροζ κρύσταλλοι ορθόκλαστου έως 5 εκατοστά. Γαλακτώδεις κρύσταλλοι αδουλαίου έως 2 εκατοστά συναντώνται επίσης στην Κιμμέρια. Η παρουσία αστρίων είναι ιδιαίτερα σημαντική στις φλέβες αμέθυστου των Σαπών όπου οι κρύσταλλοι σχηματίζουν συμπαγή συσσωματώματα και συνοδεύουν επίσης τον χαλαζία. Ο φθορίτης αξίας πολύτιμου λίθου συνοδεύει τον χαλαζία στα κοιτάσματα ανθρακικής αντικατάστασης του Λαυρίου και τον αμέθυστο σε ηφαιστειακά πετρώματα όπου υπάρχει ως μονοκρυσταλλικές φλέβες φθορίτη που κόβουν εγκάρσια επιθερμικά αλλοιωμένες πυριτιωμένες ζώνες και προπυλικά αλλοιωμένες λάβες στη Λέσβο.

5. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΑΜΕΘΥΣΤΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

5.1. Ο Αμέθυστος

Ο αμέθυστος είναι ένα είδος α-χαλαζία με όμορφο βιολετί χρώμα. Οι προσμίξεις που περιέχει ο χαλαζίας, όπως σίδηρο, άργιλο και τιτάνιο, του προσφέρουν ένα πιο πλούσιο χρώμα (Σχ. 16). Τα χρώματα του αμέθυστου σχετίζονται με το βόριο ή με το σίδηρο και πιο συγκεκριμένα με προσμίξεις τρισθενούς σιδήρου. Η χημική σύσταση του αμέθυστου είναι το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2). Ο αμέθυστος απαντάται σε μακριούς, πρισματικούς κρυστάλλους σε γεώδη ή κοιλότητες πετρωμάτων. Σχηματίζεται όταν υπάρχουν κοιλότητες σε ηφαιστειακά πετρώματα. Καθώς το πέτρωμα ψύχεται, το κορεσμένο σε ορυκτά νερό, τα αέρια και το ηφαιστειακό υλικό αποτίθενται και κρυσταλλώνονται. Όταν αυτοί οι κρύσταλλοι ψύχονται, σχηματίζουν αμέθυστο (Cheng, 2020).



Σχήμα 16. Φωτογραφίες αμέθυστου (Α) Αμέθυστος από τα όρη της Ουρουγουάης (Β) Αμέθυστος από τα όρη της Ναμίμπια (Πηγή: www.mindat.org).

Οι κρύσταλλοι αμέθυστου σε γενικές γραμμές έχουν μικρό μέγεθος, με κρυστάλλους πάνω από 30 εκ. να είναι αρκετά σπάνιοι. Βρίσκονται σε διάφορες μορφές και σχήματα. Τα κρυσταλλικά συσσωματώματα druzy απαντώνται σε ηφαιστειακά πετρώματα, σε υδροθερμικές φλέβες και σε κοιλότητες σε ιζηματογενή πετρώματα έχοντας σχήμα βραχυπρισματικό και συχνά στερούνται πρισματικών εδρών. Τα σκήπτρα απαντώνται σε περιβάλλοντα υψηλής έως μέτριας θερμοκρασίας όπως διακλάσεις αλπικού τύπου και πηγματίτες. Οι κρύσταλλοι με διχαλωτή ανάπτυξη απαντώνται σε υδροθερμικές φλέβες σε κοιτάσματα μεταλλεύματος, αλλά και σε ηφαιστειακά πετρώματα. Μεμονωμένοι καλοσχηματισμένοι κρύσταλλοι απαντώνται επίσης σε μικρές κοιλότητες και διακλάσεις, ιδιαίτερα σε ηφαιστειακά πετρώματα. Τέλος, υδροθερμικές φλέβες είναι πληρωμένες με

κρυστάλλους αμέθυστου συχνά με αρκετές φάσεις ανάπτυξης με ποικίλα χρώματα που προκαλούν ταινιωτή διάταξη.

Οι κρύσταλλοι αμέθυστου είναι από τους πιο δημοφιλείς πολύτιμους λίθους στον κόσμο. Είναι ευρέως διαδεδομένοι στον φλοιό και απαντώνται σε όλο τον κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, μεγάλες ποσότητες αμέθυστου βρίσκονται στη Βραζιλία, την Ουρουγουάη, τον Καναδά, τη Σρι Λάνκα, τη Ρουάντα, το Μαρόκο και την Αριζόνα. Στην Ελλάδα, ο αμέθυστος αποτελεί τη κύρια ποικιλία χαλαζία. Εμφανίζεται στην περιοχή Κορνοφωλιά του Έβρου, στις Σάπες της Ροδόπης, στη Λέσβο και τη Μήλο σε επιθερμικές φλέβες που συνοδεύουν τον ασβεστίτη, τον αδουλαίο και τον βαρύτη (Voudouris, 2004).

5.2. Γεωλογία Αμέθυστου

Στη βορειοανατολική Ελλάδα, ο αμέθυστος εμφανίζεται κυρίως σε τρία επιθερμικά ηφαιστειακά περιβάλλοντα στις περιοχές Κορνοφωλιά, Σάπες και Κίρκη. Στις Σάπες, ο αμέθυστος με βαθύ ιώδες χρώμα, εμφανίζεται μέσα σε κοιλότητες επιθερμικών φλεβών χαλαζία-χαλκηδόνιου.

Στο βόρειο τμήμα της περιοχής, τεράστιοι ογκόλιθοι αμέθυστου-χαλκηδόνιου με μέγεθος που φτάνει τα 2 x 2 τετραγωνικά μέτρα, εμφανίζονται εντός ενός συμπαγούς σχηματισμού, ο οποίος είναι πιθανώς ένα λατυποπαγές προερχόμενο από φρεατομαγματικό σωλήνα. Και στις δύο τοποθεσίες, ο αμέθυστος μπορεί επίσης να σχηματίσει εξαγωνικούς πρισματικούς κρυστάλλους (ως 3 εκ. σε μήκος), που μερικές φορές αναπτύσσονται στην κορυφή ενός κατώτερου τμήματος που αποτελείται από καπνία. Οι πρισματικοί κρύσταλλοι αμέθυστου είναι σπάνιοι (Shawh, 2001).

Η παρουσία πυριτιωμένου ξύλου εντός των τόφων που φιλοξενούν φλέβες αμέθυστου στην περιοχή Σάπες και η παρατήρηση ότι οι φλέβες αμέθυστου διασχίζουν το απολιθωμένο ξύλο, υποδηλώνουν πιθανώς ένα πολύ ρηχό περιβάλλον για απόθεση αμέθυστου. Στην περιοχή της Κορνοφωλιάς, φλέβες που φέρουν αμέθυστο φιλοξενούνται μέσα σε ζεολιθικά εξαλλοιωμένες ή κανονικές δακτιτικές λάβες. Οι φλέβες χαλαζία αποτελούνται από ένα εξωτερικό στρώμα χαλκηδόνιου, ακολουθούμενο από εναπόθεση χονδρόκοκκου χαλαζία προς το κέντρο της φλέβας. Οι ανοιχτοί χώροι γεμίζουν από βραχυπρισματικούς κρυστάλλους αμέθυστου μήκους έως 3 cm. Σε ορισμένες φλέβες λείπει ο αμέθυστος και τα κενά γεμίζουν από βοτρυοειδή ή σταλακτιτικό ροζ χαλκηδόνιο. Ο σμεκτίτης, οι ζεόλιθοι και ο ασβεστίτης είναι δευτερεύοντα ορυκτά τόσο εντός των φλεβών

όσο και στα πετρώματα των τοιχωμάτων. Παρόμοια με την περιοχή Κασσιτερές-Σάπες, στην ευρύτερη περιοχή της Κορνοφωλιάς, οι φλέβες αμέθυστου-χαλκηδόνιου διασχίζουν απολιθωματοφόρους ασβεστολιθικούς υφάλους και πυριτιωμένο ξύλο που φιλοξενούνται σε ηφαιστειο-ιζηματογενή στρώματα, υποδηλώνοντας έτσι ένα πολύ ρηχό υποθαλάσσιο ως μεταβατικό περιβάλλον και κατά συνέπεια ένα πολύ ρηχό βάθος σχηματισμού αμέθυστου, πιθανότατα κοντά στον πυθμένα της θάλασσας (Voudouris, 2007). Στην περιοχή της Κίρκης, μια περιοχή που μοιάζει με αυτή της Κορνοφωλιάς, ανοιχτοί χώροι μέσα στις φλέβες γεμίζουν με κρυστάλλους αμέθυστου μήκους έως και 1 cm και/ή διαυγή χαλαζία. Ο αμέθυστος στις φλέβες συσχετίζεται με τους ζεόλιθους λαυμοντίτης, ευλανδίτης και ανάλκιμο και με στρωσιγενή ασβεστίτη.

Στο βόρειο τμήμα του νησιού της Λέσβου, η τοποθεσία Μεγάλα Θερμά αποτελείται από επιθερμικές φλέβες αμέθυστου που διασχίζουν προπυλιτικά ή σερικιτικά αλλοιωμένες λάβες. Οι φλέβες είναι με στρώσεις και λατυποποιημένες. Αποτελούνται από χαλαζία υπό μορφή αμέθυστου, ανθρακικά, χλωρίτη και φθορίτη. Οι ιδιόμορφοι κρύσταλλοι αμέθυστου μήκους έως 10 εκατοστών εμφανίζονται κυρίως στα κέντρα των φλεβών. Οι μορφές σκήπτρου και παραθύρων είναι πολύ συνηθισμένες. Ο αμέθυστος «Μεγάλα Θερμά» σχηματίστηκε στις πλευρές του ηφαιστείου της Στύψης, πιθανώς σε μικρό βάθος. Αυτό το συμπέρασμα μπορεί να προκύψει από το γεγονός ότι παρόμοιες φλέβες αμέθυστου διασχίζουν τα κεντρικά μέρη της καλντέρας της Στύψης (Voudouris, 2005).

Το νησί της Μήλου αντιπροσωπεύει μία δομή ηλικίας Πλειο- Πλειστοκαίνου με ρηχά υποβρύχια έως υποαέρια, δακτιτικά έως ρυολιθικά υποηφαιστειογενή τμήματα, λάβες και πυροκλάστες που φιλοξενούν επιθερμικού τύπου πολύτιμα και βασικά μέταλλα σχετιζόμενα με φλέβες χαλαζία-χαλκηδόνιου. Ο Αμέθυστος υπάρχει σε δύο τοποθεσίες, στο Χονδρό Βουνό και στην περιοχή Καλογριές. Και στις δύο περιοχές, ο αμέθυστος βρίσκεται σε φλέβες χαλαζία-χαλκηδόνιου-βαρίτη που διασταυρώνουν ρυολιθικά υποηφαιστειακά σώματα αλλοιωμένα σε σερικίτη και αδουλαίο (Χονδρό Βουνό) και προπυλιτικές λάβες δακτιτικής σύστασης (Καλογριές). Οι φλέβες εμφανίζουν τυπικά επιθερμικά χαρακτηριστικά (κολόμορφη-κρυσταλλοειδής ζώνη) και φτάνουν σε πάχος έως 2 μέτρα και μήκος αρκετές δεκάδες μέτρα. Ο χαλκηδόνιος εναποτίθεται και στις δύο πλευρές των τοιχωμάτων της φλέβας και ακολουθείται από το σχηματισμό κρυστάλλων αμέθυστου (ως 3 εκ. μήκος στο Χονδρό Βουνό) στο κέντρο των φλεβών. Ο αμέθυστος στην περιοχή Καλογριές είναι καλυμμένος από μεταγενέστερο βοτρυοειδή αραγωνίτη. Ένα πολύ ρηχό υποθαλάσσιο έως υποαέριο περιβάλλον σχηματισμού αμέθυστου στις Καλογριές αποδεικνύεται από την

παρουσία απολιθωμένων σπονδυλωτών εντός ηφαιστειοκλαστικού υλικού που επικαλύπτει τις λάβες, το οποίο διασχίζεται από τις φλέβες χαλαζία-χαλκηδόνιου (Alfieris, 2013)

5.3. Ορυκτολογία αμέθυστου

Ο αμέθυστος στις φλέβες συνοδεύεται από διάφορες ορυκτολογικές ενώσεις, που υποδηλώνουν συγκεκριμένες συνθήκες κρυστάλλωσης. Ο χαλαζίας (ποικ. αμέθυστου) και ο χαλκηδόνιος είναι μακράν τα πιο άφθονα ορυκτά στις φλέβες, ενώ άλλα ορυκτά περιλαμβάνουν ανθρακικά, βαρύτη, ζεόλιθους, χλωρίτη, αδουλαίο και σε μικρές ποσότητες σιδηροπυρίτη, σμεκτίτη, γκαιτίτη και λεπιδοκροκίτη.

Ο αδουλαίος, συνυπάρχει ως ορυκτό των φλεβών και των πετρωμάτων στις Κασσιτερές και στις Σάπες, καθώς και στα κοιτάσματα αμέθυστου στην τοποθεσία Χονδρό Βουνό. Στις ζώνες αλλοίωσης καλιούχου αστρίου ο αδουλαίος συνήθως αντικαθιστά το πλαγιόκλαστο, τον πρωτογενή κλινοπυρόξενο και την αμφίβολο των μητρικών ηφαιστειακών πετρωμάτων. Στις φλέβες σχηματίζει ιδιόμορφους κρυστάλλους, υπερκαλύπτει κρυστάλλους αμέθυστου ή μπορεί να υπάρχει ως έγκλεισμα στον αμέθυστο. Ο χλωρίτης εμφανίζεται σε μικρές ποσότητες στις φλέβες αμέθυστου στην περιοχή των Μεγάλων Θερμών σε συνδυασμό με ανθρακικά και βαρίτη. Είναι ένα κοινό ορυκτό στις λάβες προπυλιτικής εξαλλοίωσης που φιλοξενούν τον αμέθυστο, όπου, σε συνδυασμό με ανθρακικά και σερίκίτη, αντικαθιστά τους φαινοκρυστάλλους του πυρόξενου και της κεροσίλβης. Οι χλωρίτες της Λέσβου ταξινομούνται ως πυκνοχλωρίτες και διαβαντίτες. Ο ασβεστίτης και ο δολομίτης συνοδεύουν τον αμέθυστο στα Μεγάλα Θερμά, τη Λέσβο, την Κορνοφωλιά και την Κίρκη. Στις δύο τελευταίες τοποθεσίες ο ασβεστίτης χρονολογείται πριν ή/και μετά τον αμέθυστο στις φλέβες. Στα Μεγάλα Θερμά, οι κρύσταλλοι αμέθυστου διασταυρώνονται πρώτα από δολομίτη και στη συνέχεια από ασβεστίτη και βαρύτη. Ο βαρύτης συνοδεύει τον αμέθυστο στις φλέβες των Καλογριών και του Χονδρού Βουνού, όπου χρονολογείται πριν ή μετά την απόθεση αμέθυστου. Στις Καλογριές, μπορεί επίσης να βρεθεί ως έγκλεισμα σε αμέθυστο και χαλκηδόνιο. Στην Κορνοφωλιά, ένα στρώμα χαλκηδόνιου καλύπτει τα ζεολιθοποιημένα πετρώματα που ακολουθούνται από εναπόθεση αμέθυστου, έπειτα από βαριούχο ευλανδίτη που βρίσκεται μέσα σε ασβεστούχο κλινοπιλόλιθο και τελικά ασβεστίτη. Η εναπόθεση στις φλέβες στην περιοχή της Κίρκης, ξεκίνησε με εναλλαγές λεπτών στρωμάτων χαλαζία, σμεκτίτη, λαυμοντίτη και ευλανδίτη, στη συνέχεια ανάλκιμου και ασβεστίτη, ακολουθούμενη από χαλκηδόνιο και τέλος από αμέθυστο, ο οποίος σχηματίζει βραχυπρισματικούς κρυστάλλους στο κέντρο των φλεβών. Ο σιδηροπυρίτης και ο σμεκτίτης

στην Κορνοφωλιά και την Κίρκη προηγούνται του αμέθυστου στις φλέβες, ενώ ο γκαιτίτης και ο λεπιδοκροκίτης περιλαμβάνονται στον αμέθυστο στο Χονδρό Βουνό (Voudouris , 2017).

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία επιχειρεί να αναδείξει τον ορυκτό πλούτο στην Ελλάδα με έμφαση τα κοιτάσματα πολύτιμων λίθων. Η αύξηση της συστηματικής έρευνας και καταγραφή των ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών των διαφόρων κοιτασμάτων θα οδηγήσει σε καλύτερη αξιοποίηση και εμπορευματοποίηση των πολύτιμων λίθων στη χώρα.

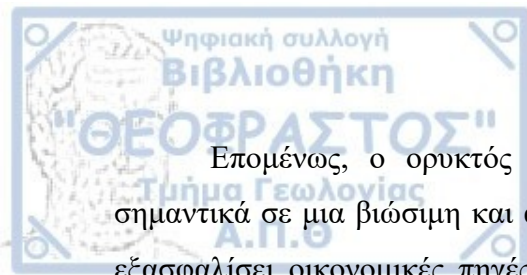
Η τεκτονική και γεωλογική εξέλιξη της χώρας έχει οδηγήσει σε σχηματισμό κοιτασμάτων και κατ' επέκταση σε πολύτιμο ορυκτό πλούτο που αφορά τόσο ορυκτά πετρώματα όσο και ορυκτά μεταλλεύματα. Τα περισσότερα από αυτά εντοπίζονται σε μικρές και δύσβατες εκτάσεις. Χαρακτηριστικό είναι ότι η αξιοποίηση των κοιτασμάτων αυτών είναι πάρα πολύ μικρή συγκριτικά με τις δυνατότητές τους. Αυτό έχει να κάνει με διάφορους ανασταλτικούς παράγοντες, όπως οι δύσβατες θέσεις των κοιτασμάτων, η πλημμελής έρευνα για τον εντοπισμό του μεγέθους και της έκτασης των κοιτασμάτων αυτών καθώς και η έλλειψη εξειδικευμένων εργαστηρίων κυρίως στη Βόρεια Ελλάδα για την κατεργασία τους. Αποτέλεσμα είναι η έλλειψη ενδιαφέροντος από ιδιωτικές εταιρίες για την εξόρυξή τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εύρεση ενός πετρώματος με κοίτασμα σπάνιου ίασπι, το 2021, στην οροσειρά της Ροδόπης, από την πλευρά της Βουλγαρίας κοντά στον ποταμό Άρδα το οποίο ονομάστηκε «Orbicular Arda Jasper TM». Το κοίτασμα βρέθηκε από Έλληνες, μόνιμους κατοίκους της Βουλγαρίας, με χόμπι τη γεωλογία, γεγονός που υποδεικνύει την έλλειψη έρευνας και εκμετάλλευσης του ορυκτού πλούτου στην οροσειρά της Ροδόπης (Σχ. 17).



Σχήμα 17. Εικόνα από το κοιτάσμα σπάνιου ίασπι που βρέθηκε στην οροσειρά της Ροδόπης, από την πλευρά της Βουλγαρίας (Πηγή: GreenAgenda.gr).

Ο ορυκτός πλούτος της χώρας σχετίζεται με κοιτάσματα κορουνδίου, χαλαζία και αμέθυστου. Κοιτάσματα κορουνδίου, εντοπίζονται στις περιοχές της Ξάνθης, της Δράμας και στα νησιά της Νάξου και της Ικαρίας. Στη περιοχή της Ξάνθης εντοπίζονται ζαφείρια σε διάφορους χρωματισμούς, ενώ στην Δράμα ρουμπίνια με χρώμα που κυμαίνεται από ανοιχτό ροζ έως βαθύ κόκκινο. Η Νάξος και η Ικαρία είναι περιοχές με κοιτάσματα μπλε ζαφειριών. Ο χαλαζίας εντοπίζεται σε πολλές περιοχές όπως στην Αττική, τη Δράμα, την Εύβοια, την Ίο, τη Θάσο και την Κρήτη και σε διάφορες ποικιλίες. Από αυτές η μεγαλύτερη σε μέγεθος ποικιλία είναι ο αμέθυστος ο οποίος απαντάται σε περιοχές όπως στη Κορνοφωλιά του Έβρου, στις Σάπες της Ροδόπης, στη Λέσβο και τη Μήλο.

Από την άλλη πλευρά, η Ελλάδα είναι ο κορυφαίος παραγωγός Ni και Al στην Ευρωπαϊκή Ένωση από λατερίτες και βωξίτες της κεντρικής και βόρειας Ελλάδας. Τα κοιτάσματα επιθερμικού και πορφυριτικού τύπου και τα συστήματα μειωμένης διείσδυσης των μεταλλογενετικών επαρχιών της Σερβομακεδονικής και της Ροδόπης στη Βορειοανατολική Ελλάδα αποτελούν υποσχόμενους στόχους για μελλοντική εκμετάλλευση και εξερεύνηση σε Sb, Te, Mo, Re, Ga, In, REE και PGE. , ως υποπροϊόντα, μαζί με βασικά μέταλλα, Au και Ag, αν ξεκινήσουν οι εξορυκτικές και μεταλλευτικές δραστηριότητες. Έτσι, η Ελλάδα είναι μια από τις χώρες της ΕΕ με τις περισσότερες δυνατότητες προμήθειας αυτών των στρατηγικών πρώτων υλών μεταλλεύματος στο μέλλον, καθώς φιλοξενεί μεγάλο αριθμό κοιτασμάτων μεταλλεύματος και σπανίων γαιών.



Επομένως, ο ορυκτός πλούτος της Ελλάδας έχει τη δυνατότητα να συμβάλει σημαντικά σε μια βιώσιμη και ανταγωνιστική οικονομία της Ευρώπης καθώς επίσης και να εξασφαλίσει οικονομικές πηγές αυξάνοντας την ευημερία του τόπου. Ωστόσο, η μέγιστη αξιοποίηση έχει ως βασική προϋπόθεση την βασική έρευνα της γεωλογίας την χώρας. Αυτή θα δώσει σημαντικά στοιχεία για τα ακριβή χημικά χαρακτηριστικά των υπαρχόντων κοιτασμάτων. Επίσης, θα συνεισφέρει στην εύρεση νέων, πράγμα σχεδόν βέβαιο αν αναλογιστεί κανείς τη γεωλογία της περιοχής. Έτσι, η ορθολογική εκμετάλλευση των κοιτασμάτων του ορυκτού πλούτου θα προσφέρει σημαντικά αναπτυξιακά οφέλη και θα επιτρέψει στην Ελλάδα να ενισχύσει τον παγκόσμιο ρόλο της στον κλάδο.

A Guide to Gem Cutting Styles, www.gemsociety.org, Retrieved January 2023

Alfieris, D.; Voudouris, P.; Spry, P.G., 2013. Shallow submarine epithermal Pb-Zn-Cu-Au-Ag-Te mineralization on western Milos Island, Aegean Volcanic Arc, Greece: Mineralogical, Geological and Geochemical constraints. *Ore Geol. Rev.*

Bispenda ,2022. Where To Find Gemstones In Greece? Gemstones Universe. gemstonesuniverse.com

Cheng R, Guo Y., 2020 Study on the effect of heat treatment on amethyst color and the cause of coloration. *Sci Rep.* Sep 10;10(1):14927.

Eastaugh, Nicholas; Walsh, Valentine; Chaplin, Tracey; Siddall, Ruth ,2004. "Egyptian blue". *The pigment compendium: Optical microscopy of historical pigments*. Oxford, UK: Elsevier Butterworth Heinemann. pp. 147–148.

Fritsch, E.; Rondeau, B., 2009. *Gemology: The Developing Science of Gems*. Elements, 5, 147–152. [1]_[SEP]

Gaston Giuliani, Daniel Ohnenstetter, Anthony E. Fallick, Lee Groat, Andrew J. Fagan ,2014. The geology and genesis of gem and corundum deposits. *Mineralogical Association of Canada Short Course 44*, Tucson AZ, February, p. 29-112

Geology. Which Countries Produce the Most Gem Diamonds? geology.com. Retrieved January 2023

Guo Ying 2020, Study on the effect of heat treatment on amethyst color and the cause of coloration. *Scientific Reports* 10(1):14927

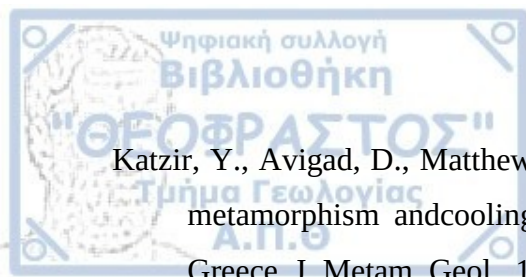
Henjes-Kunst, F., and Kreuzer, H., 1982. Isotopic dating of Pre-Alpidic rocks from the Island of Ios (Cy-clades, Greece). *Contr. Miner. Petr.* 80, 245-253

How are Gems Cut and Polished?. nature.berkeley.edu, Retrieved January 2023

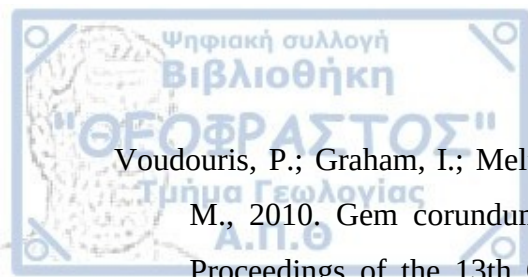
Iglseder, C., Grasemann B., Schneider, D.A., Petrakakis K., Miller, C., Klötzli, U.S., Thöni, M., Zámolyi, A., and Rambousek, C., 2009. I and S-type plutonism on Seriphos (W-Cyclades, Greece). *Tectono-physics*, 473, 69-83.

John F. Shroder , 2014. *Rich Resource Exploitations, Resource Curses, and Resource Wars*, , Natural Resources in Afghanistan

John P. Rafferty, ed. ,2011. *Minerals*, p. 1. In the series *Geology: Landforms, Minerals, and Rocks*. Rosen Publishing Group.



- Katzir, Y., Avigad, D., Matthews, A., Garfunkel, Z., and Evans, B.W., 2000. Origin, HP/LT metamorphism and cooling of ophiolitic melanges in southern Evia (NW Cyclades), Greece. *J. Metam. Geol.*, 18, 699-718.
- Liati, A., 1988. Corundum-and zoisite-bearing marbles in the Rhodope Zone, Xanthi area (N. Greece): Estimation of the fluid phase composition. *Mineral. Petrol.*, 38, 53–60
- Lozios, S., 1993. Tectonic analysis of metamorphic formations of northeastern Attica. Unpubl. PhD the-sis, Univ. Athens, 299pp.
- Maneta V. and Voudouris P., 2010. Quartz megacrysts in Greece : Mineralogy and environment of formation. *Bulletin of the Geological Society of Greece. Proceedings of the 12th International Congress. Patras.*
- Marco et al. , 2022. "The New IMA List of Minerals – A Work in Progress"
- Michael Wise, *Encyclopedia of Geology (Second Edition)*, 2021, Gemstone Treatments OEC. 7103 (Harmonized System 1992 for 4-digit). Precious stones. oec.world. Retrieved January 2023
- Papanikolaou, D., and Panagopoulos, A., 1981. On the structural style of southern Rhodope. *Geol. Balc.* 11, 13-22.
- Rafferty, John P. ,2011. Minerals, p. 1. In the series *Geology: Landforms, Minerals, and Rocks*. Rosen Publishing Group.
- Shawh, A.J.; Constantinides, D.C. , 2001. The Sappes gold project. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 34, 1073–1080
- Simonet Cédric, Fritsch Emmanuel, Lasnier Bernard ,2008. A classification of gem corundum deposits aimed towards gem exploration. *Ore Geology Reviews* 34 127–133
- Sotheby ,2021. Origin and History of Mining Precious Gemstones, www.sothebys.com, Retrieved January 2023
- The Mohs Scale of Mineral Hardness, www.geologyin.com, Retrieved January 2023
- Voudouris, P. , 2010. *Gemstones and Mineral-Megacrysts in Greece*; University New South Wales: Sydney, Australia. b
- Voudouris, P., 2005. The minerals of Eastern Macedonia-Thrace: Geological setting and the potential of geoconservation. *GSG Congress, Samothraki, Bull. Geol. Soc. Greece* 37, 62-77.
- Voudouris, P.; Alfieris, D., 2005. New porphyry-Cu ± Mo occurrences in northeastern Aegean/Greece: Ore mineralogy and transition to epithermal environment. In *Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge*; Mao, J., Bierlein, F.P., Eds.; Springer: Berlin, Germany,; pp. 473–476.



- Voudouris, P.; Graham, I.; Melfos, V.; Zaw, K.; Lin, S.; Giuliani, G.; Fallick, A.; Ionescu, M., 2010. Gem corundum deposits of Greece: Diversity, chemistry and origins. In Proceedings of the 13th Quadrennial IAGOD Symposium, Adelaide, Australia, 6–9 April; Volume 69, pp. 429–430. a
- Voudouris, P.; Katerinopoulos, A.; Melfos, V., 2004. Alpine-type fissure minerals in Greece. Doc. Nat., 151, 23–45.
- Voudouris, P.; Maneta, V., 2017 Quartz in Greece; CreateSpace Publ. and Amazon.com, Inc.: Seattle, WA, USA,.
- Voudouris, P.; Mavrogonatos, C.; Graham, I.; Giuliani, G.; Melfos, V.; Karampelas, S.; Karantoni, V.; Wang, K.; Tarantola, A.; Zaw, K.; , 2019. Gem Corundum Deposits of Greece: Geology, Mineralogy and Genesis. Minerals, 9, 49. B
- Voudouris, P.; Mavrogonatos, C.; Graham, I.; Giuliani, G.; Tarantola, A.; Melfos, V.; Karampelas, S.; Katerinopoulos, A.; Magganis, A., 2019. Gemstones of Greece: Geology and Crystallizing Environments. Minerals, 9, 461. A
- Voudouris, P.; Velitzelos, D.; Velitzelos, E.; Thewald, U. , 2007. Petrified wood occurrences in western Thrace and Limnos island: Mineralogy, geochemistry and depositional environment. Bull. Geol. Soc. Greece, 40, 238–250.
- Wang, K.K.; Graham, I.T.; Lay, A.; Harris, S.J.; Cohen, D.R.; Voudouris, P.; Belousova, E.; Giuliani, G.; Fallick, A.E.; Greig, A., 2017. The Origin of A New Pargasite-Schist Hosted Ruby Deposit From Paranesti, Northern Greece. Can. Mineral., 55, 535–560.
- Yang and Hexiong, 2022. Discovery of a new mineral named Lazaraskeite, “American Mineralogist, Vol 107, p 509-516.
- Μουντράκης Δ. (2021). Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη