



ΒΑΛΛΗ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ

ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΠΟΛΥΤΙΜΩΝ ΛΙΘΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Επιβλέπων Καθηγητής:
Μέλφος Βασίλειος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020





ΒΑΛΛΗ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ

ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΠΟΛΥΤΙΜΩΝ ΛΙΘΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Καθηγητής: Μέλφος Βασίλειος



© Βαλαή Παρασκευή, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved

© Βαλαή Παρασκευή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΠΟΛΥΤΙΜΩΝ ΛΙΘΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ– *Διπλωματική Εργασία*

© Valai Paraskevi, School of Geology, Department of Mineralogy, Petrology, Economic Geology, 2020

All rights reserved.

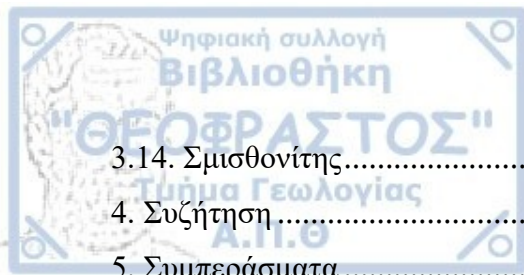
PRECIOUS STONES IN GREECE– *Bachelor Thesis*

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.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περύληψη.....	7
Abstract	8
Πρόλογος – Αντικείμενο Εργασίας	10
1.Εισαγωγή	11
1.1 Ορισμός	11
1.2 Επεξεργασία των Πολύτιμων Λίθων.....	13
1.3 Τοξικοί Λίθοι	16
2. Γεωλογία Ελλάδος και πολύτιμοι Λίθοι.....	17
2.1 Ενδοχώρα-Μάζα Ροδόπης	22
2.2 Ενδοχώρα- Σέρβομακεδονική μάζα.....	22
2.3 Εσωτερικές Ελληνίδες- Περιοδοπική ζώνη.....	23
2.4 Εσωτερικές Ελληνίδες- Ζώνη Αξιού.....	23
2.5 Εσωτερικές Ελληνίδες- Πελαγονική ζώνη.....	23
2.6 Εσωτερικές Ελληνίδες- Αττικοκυκλαδική μάζα.....	24
2.7 Εξωτερικές Ελληνίδες- Ζώνη Παρνασσού /Γκιώνας.....	24
2.8 Εξωτερικές Ελληνίδες- Ζώνη Ολωνού /Πίνδου	24
2.9 Εξωτερικές Ελληνίδες- Ζώνη Γαβρόβου /Τριπόλεως.....	25
2.10 Εξωτερικές Ελληνίδες-Ιόνιος Ζώνη.....	25
2.11 Εξωτερικές Ελληνίδες- Ζώνη Παξών.....	25
3. Ορυκτολογία πολύτιμων Λίθων.....	26
3.1. Κορούνδιο.....	26
3.2. Βήρυλλος- Ιαδείτης	28
3.3. Πολύμορφα Al_2SiO_5	28
3.5. Γρανάτες	30
3.6. Χαλαζίας.....	34
3.7 Αμέθυστος	35
3.7.1 Εμφανίσεις Αμέθυστου με βάση την τοπική Γεωλογία	39
3.8. Χαλκηδόνιος- Lapis Lazuli, και Αχάτης	41
3.9. Οπάλιος.....	44
3.10. Τιτανίτης.....	44
3.11. Βεζουβιανίτης- Σπινέλιος	45
3.12. Τουρμαλίνης	45
3.13. Απατίτης, Φθορίτης, Αζουρίτης, Τρκουάζ	45



3.14. Σμισθονίτης.....	47
4. Συζήτηση.....	48
5. Συμπεράσματα	53
6. Βιβλιογραφία	56

Περίληψη

Τίτλος: Εμφανίσεις Πολύτιμων Λίθων στην Ελλάδα

Όνομα: Βαλαή Παρασκευή

Στον Ελληνικό χώρο πολύτιμοι λίθοι εμφανίζονται σε διάφορους τύπους πετρωμάτων κυρίως από τέσσερις τεκτονικές-μεταμορφικές μονάδες, τους ορεινούς όγκους Ροδόπης, Πελαγονικής και Αττικοκυκλαδικής, και την ενότητα Φυλλιτών-Χαλαζιτών της Κρήτης. Σε κρυσταλλικά πετρώματα, οι πολύτιμοι λίθοι σχετίζονται τόσο με μεταμορφικές-μετασωματικές διεργασίες (π.χ. κορούνδια, Μν-ανδαλουσίτη, σπessαρτίνη, τιτανίτη, ιαδείτη) όσο και με το σχηματισμό αλπικού τύπου φλεβών, όπως για παράδειγμα, χαλαζίας, αλβίτης, αδουλάριος και τιτανίτης. Τα Τριτογενή μαγματικά-υδροθερμικά περιβάλλοντα περιλαμβάνουν ποικιλίες ζαφειριού, βηρύλλου, γρανάτη, βεζουβιανίτη, επιδότου, φθορίτη και ποικιλίες SiO_2 . Η υπεργενής ζώνη οξείδωσης του κοιτάσματος στο Λαύριο φιλοξενεί τους πολύτιμους λίθους σμισθονίτη και αζουρίτη. Τα ηφαιστειακά πετρώματα της περιοχής Κορνοφωλιά Έβρου, φιλοξενούν μεγάλο αριθμό φλεβών επιθερμικού τύπου που αποτελούνται κυρίως από πολύμορφα του πυριτίου όπως χαλαζία (πράσινου), χαλκηδόνιο, οπάλιο και αμέθυστο σε συνδυασμό με διάφορα πυριτικά, ανθρακικά, οξείδια και σουλφίδια. Το χρώμα των πράσινων κρυστάλλων χαλαζία προκαλείται από δύο γενεών μικρά εγκλείσματα αμφιβόλου εντός του κρυστάλλου. Εκτός από τα πολύμορφα του πυριτίου στις φλέβες αυτές υπάρχουν επίσης ακόμη ασβεστίτης και ζεόλιθοι. Τα πετρώματα-ξενιστές είναι ηλικίας Ολιγοκαίνου έως Πλειστόκαινου και συνδέονται με ασβεστούχο αλκαλικό έως σωσσονιτικό μαγματισμό ενδιάμεσης έως όξινης σύστασης. Οι επιθερμικού τύπου φλέβες, υψηλής έως ενδιάμεσης θείωσης, συνδέονται με ηφαιστειακά πετρώματα στην βόρεια Ελλάδα (π.χ. Κασσιτερές, Κίρκη, Κορνοφωλιά, Λέσβος) και στο νησί της Μήλου. Συγκεντρικές ζώνες με εναλλαγές αμέθυστου, χαλκηδονίου και/ή ανθρακικών ορυκτών είναι ένα κοινό χαρακτηριστικό των φλεβών με αμέθυστο. Η υδροθερμική εξαλλοίωση στα πετρώματα γύρω από τις φλέβες του χαλαζία περιλαμβάνει σερικήτη, καλιούχους αστρίους, επίδοτο και ζεόλιθο. Οι αμέθυστοι από Κορνοφωλιά, Μεγάλα Θερμά, Καλόγριες και Βουνό Χόνδρο σχηματίστηκαν με ανάμιξη μετρίως αλατούχων υδροθερμικών ρευστών με ρευστά χαμηλής αλατότητας σε σχετικά χαμηλότερες θερμοκρασίες. Και οι δύο ποικιλίες χαλαζία (πράσινου χαλαζία και αμέθυστου) χαρακτηρίζονται από ισοτοπικές συστάσεις που δείχνουν ανάμιξη μαγματικού και μετεωρικού/θαλάσσιου νερού.



Abstract

Title: Gemstone Appearances in Greece

Name: Valai Paraskevi

In the Hellenides Orogen, various minerals of gem quality occur in different rock types from four main tectono-metamorphic units, the Rhodope, Pelagonian, and the Attico-Cycladic massifs, and the Phyllites-Quartzites unit of Crete Island. In crystalline rocks, gemstones are related to both regional metamorphic-metasomatic processes (e.g., gem corundums, Mn-andalusite, spessartine, titanite, jadeite), and to the formation of late alpine-type fissures, such as, for example, quartz, albite, adularia and titanite. The Tertiary magmatic-hydrothermal environments provide gem-quality sapphire, beryl, garnet, vesuvianite, epidote, fluorite, and SiO₂ varieties. The supergene oxidation zone of the Lavrion deposit hosts gem-quality smithsonite and azurite. The volcanic rocks of Kornofolia area, Evros, host a number of epithermal-type veins which comprise mainly silica polymorphs such as quartz (green), chalcedony, opal and amethyst in association with various silicates, carbonates, oxides and sulfides. The color of these green quartz crystals is caused by two generations of small amphibole inclusions incorporated in the quartz crystal. Apart from the silica polymorphs, the veins are accompanied by calcite and zeolites. Host rocks are Oligocene to Pleistocene calc-alkaline to shoshonitic lavas and pyroclastics of intermediate to acidic composition. The veins are integral parts of high to intermediate sulfidation epithermal mineralized centers in northern Greece (e.g., Kassiteres, Kirki, Kornofolia, Lesvos Island) and on Milos Island. Colloform–crustiform banding with alternations of amethyst, chalcedony and/or carbonates is a common characteristic of the studied amethyst-bearing veins. Hydrothermal alteration around the quartz veins includes sericitic, K-feldspar (adularia), propylitic and zeolitic types. Amethysts from Kornofolia, Megala Therma, Kalogries and Chondro Vouno were formed by mixing of moderately saline hydrothermal fluids with low-salinity fluids at relatively lower temperatures. Both quartz varieties (green quartz and amethyst) are characterized by isotopic compositions that suggest mixing of magmatic and meteoric/marine fluids. The contribution of meteoric fluid is more significant in the final stages and reflects amethyst precipitation under more oxidizing conditions.



Πρόλογος – Αντικείμενο Εργασίας

Εξ ορισμού, οι πολύτιμοι λίθοι (gemstone, gem, jewel, precious stone) είναι υλικά που χρησιμοποιούνται για στολισμό ή διακόσμηση και πρέπει να είναι σχετικά σπάνια, σκληρά και αρκετά ανθεκτικά σε κραδασμούς για να αντιστέκονται σε «φυσιολογική» φθορά και να αντέχουν στη διάβρωση από την επαφή με το δέρμα και τα καλλυντικά (Fritsch & Rondeau, 2009). Έχουν χρησιμοποιηθεί για χιλιάδες χρόνια για το χρώμα, τη λάμψη, τη διαφάνεια, την ανθεκτικότητα και την υψηλή αναλογία τιμής προς όγκο.

Η παρούσα πτυχιακή διπλωματική εργασία με τίτλο «Εμφανίσεις των πολύτιμων λίθων στην Ελλάδα» έχει ως αντικείμενο την μελέτη των ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών κάθε πολύτιμου λίθου καθώς και την παρουσίαση των πολύτιμων λίθων στην Ελλάδα. Η Γεωλογία συγκαταλέγεται στις Γεωεπιστήμες και θεωρείται κλάδος της Ορυκτολογίας. Ασχολείται με την αναγνώριση των πολύτιμων-ημιπολύτιμων κρυστάλλων και τις τεχνικές προσδιορισμού και πιστοποίησης αυτών (Χρυσανθάκη, 2008). Ανάλογα με την προσέγγιση και το αντικείμενο μελέτης, η Γεωλογία αποτελεί τόπο συνάντησης πολλών επιστημών: φυσικές επιστήμες (γεωλογία/ορυκτολογία/κρυσταλλογραφία), τέχνη, ιστορία και αρχαιολογία (Bersani & Lottici, 2010).

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό:

- Αναθεώρηση όλων των διαθέσιμων πληροφοριών σχετικά με τη γεωλογία, την ορυκτολογία, τη γεωχημεία και τα ρευστά χαρακτηριστικά που εμπλέκονται στο σχηματισμό διαφόρων πολύτιμων λίθων στην Ελλάδα καθώς την ταξινόμηση όλων των δειγμάτων.
- Τον προσδιορισμό των περιοχών εμφάνισης των πολύτιμων λίθων σύμφωνα με την Γεωλογία της Ελλάδος
- Τον προσδιορισμό της κρυσταλλικής δομής των ορυκτών.
- Την καταγραφή όλων των ορυκτών που έχουν εντοπιστεί μέχρι σήμερα στην Ελλάδα.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας, κ. Βασίλη Μέλφο, τόσο για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, το ενδιαφέρον που έδειξε και τις χρήσιμες συμβουλές του όσο και για τις υποδείξεις και όλη την υποστήριξη σε κάθε στάδιο την παρούσας εργασίας.

1.Εισαγωγή

1.1 Ορισμός

Ορυκτά ονομάζουμε ομογενή φυσικά συστατικά του στερεού φλοιού της Γης που κάτω από καθορισμένες φυσικοχημικές συνθήκες έχουν συγκεκριμένη κρυσταλλική δομή και χημική σύσταση. Το κάθε ορυκτό έχει ορισμένες φυσικές σταθερές και ιδιότητες. Ο όρος ορυκτό προέρχεται από το ρήμα «ορύσσω» ή «ορύττω» που σημαίνει σκάβω. Συνολικά υπάρχουν περίπου 5.300 ορυκτά των οποίων το μέγεθος είναι σχετικά μικρό και κυμαίνεται από μερικά μικρά του μέτρου (μm) έως και μερικά μέτρα (m).

Κάτω από καθορισμένες συνθήκες και μόνο όταν υπάρχει ο κατάλληλος χώρος για να αναπτυχθεί ένα ορυκτό κατά το σχηματισμό του, δημιουργούνται πολυεδρικά σώματα που ονομάζονται κρύσταλλοι. Η λέξη κρύσταλλος έχει τις ρίζες της στις αρχαίες λέξεις «κρύος» και «στέλλεσθαι» (που σημαίνει στερεοποιούμαι), το συναντάμε και ως «ορεία κρύσταλλος». Αυτή η μορφή του κρυστάλλου είναι που πολλές φορές ένα απλό ορυκτό χωρίς κάποιο έντονο χαρακτηριστικό το κάνει να μοιάζει με κάτι τόσο πολύτιμο και μοναδικό όπως ένας πολύτιμος λίθος.

Για να μπορεί να χαρακτηριστεί ένα ορυκτό ως πολύτιμος λίθος σημαντικό είναι να πληροί ορισμένες προϋποθέσεις, δηλαδή να εμφανίζει κάποια χαρακτηριστικά ή ιδιότητες όπως:

- Το χρώμα του
- Η μεγάλη σκληρότητα
- Η σπανιότητα του στην φύση
- Η διαύγεια του
- Ο μεγάλος δείκτης διάθλασης

Οι πολύτιμοι λίθοι καλύπτουν μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων που βρίσκονται στην αγορά κοσμημάτων σήμερα και είναι προς πώληση. Οι περισσότεροι φυσικοί πολύτιμοι λίθοι είναι μεμονωμένοι κρύσταλλοι φυσικών ορυκτών, αν και άλλοι είναι άμορφοι (μερικές ποικιλίες οπάλιου, φυσικό γυαλί), μερικοί είναι στερεά διαλύματα (γρανάτες, ολιβίνης κ.λπ.), άλλοι είναι πετρώματα (νεφρίτης, lapis lazuli) και μερικά αποτελούνται εν μέρει ή εξ ολοκλήρου από οργανικά υλικά (κεχριμπάρι, μαργαριτάρι, κοράλλια κ.λπ.).

Σύμφωνα με τους Groat and Stern et al. (2012-2013), οποιοδήποτε ορυκτό ή πέτρωμα αρκετά όμορφο για να αναζητηθεί, να εξορύσσεται και να πωλείται μόνο για την ομορφιά του είναι πολύτιμος λίθος. Μεταξύ των πιο σημαντικών και ανεκτίμητων πολύτιμων λίθων είναι το διαμάντι, το ρουμπίνι (κορούνδιο κόκκινου χρώματος), το ζαφείρι (κορούνδιο μπλε χρώματος), το σμαράγδι και άλλες μορφές πολύτιμων λίθων όπως η βήρυλλος, ο τανζανίτης (μπλε ζοϊσίτης), ο πράσινος γροσσουλάριος, ο μπλε τουρμαλίνης, το τοπάζιο και ο ιαδείτης-«jade». Τα πιο συνηθισμένα υλικά πολύτιμων λίθων περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, κεχριμπάρι, πολύτιμους λίθους, άστριο, τουρμαλίνη, σπινέλιο, γρανάτες, ζirkόνιο κα. Δεν είναι το ίδιο το ορυκτό που αποτελεί πολύτιμος λίθος, αλλά είναι τα χαρακτηριστικά του κάθε συγκεκριμένου δείγματος.

Οι περισσότεροι πολύτιμοι λίθοι έχουν μεγάλη σκληρότητα στην κλίμακα Mohs συγκεκριμένα όμως το διαμάντι είναι αυτό που παρουσιάζει την μεγαλύτερη με τιμή 10 στην κλίμακα Mohs, ωστόσο υπάρχουν κάποια ορυκτά μικρότερης σκληρότητας που χρησιμοποιούνται αρκετά στην κοσμηματοποιία λόγω της λάμψης τους και άλλων φυσικών ιδιοτήτων τους που έχουν αισθητική αξία όπως ωραίους χρωματισμούς, ένας τέτοιος πολύτιμος λίθος είναι ο χαλαζίας. Μερικοί πολύτιμοι λίθοι που δεν διαθέτουν, λόγω σύστασης, μεγάλη σκληρότητα, χρησιμοποιούνται περισσότερο με γλυφές σε διακόσμηση, ιδίως στη λιθογλυφία. Η λιθογλυφία είναι αρχαία τέχνη που αναπτύχθηκε από πολλούς πολιτισμούς. Οι εσώγλυφες πέτρες, εκτός από τη κοσμηματοποιία, είναι περισσότερο γνωστές και από τη σπουδαία χρήση τους ως σφραγιδόλιθοι (Wikipedia 2019)

Αναφορικά με την αξία κάθε πολύτιμοι λίθου ξεχωριστά αυτή υπολογίζεται σε καράτια (βάρους, όγκου, καθαρότητας) ή σε βαθμούς καθαρότητας (χιλιοστά καθαρότητας). Η σπανιότητα είναι επίσης ένα χαρακτηριστικό ενός ορυκτού που αυξάνει την αξία τους (Γρίβα, 2015).

Η λάμψη των πολύτιμων λίθων, που δημιουργείται από τις ανακλώμενες ακτίνες του φωτός, εξαρτάται περισσότερο από την κατεργασία που έχουν υποστεί, δηλαδή τον αριθμό των επίπεδων λείων επιφανειών (εδρών) τους. Η σκληρότητά τους εξασφαλίζει και τη διάρκεια της ζωής τους στο πέρασμα του χρόνου.

Η διαδικασία της κατεργασίας ενός πολύτιμου λίθου έχεις σαν αρχή την πλύση των λίθων είτε αυτοί είναι ακατέργαστοι είτε εμφανίζονται ως «λίθοι μπαρόκ» δηλαδή πέτρες οι οποίες είναι στιλβωμένες αλλά παρουσιάζουν κυρίως ακανόνιστα σχήματα. Αμέσως μετά συνεχίζει η εμβάπτισή τους σε διάλυμα καθαριστικού υγρού για μικρό χρονικό διάστημα ενώ

πολλές φορές ίσως χρειαστεί και η παραμονή τους εντός του διαλύματος για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, εν συνεχεία ακολουθεί η λείανση και το κόψιμο με συγκεκριμένα εργαλεία κοπής και λείανσης. Όλη η παραπάνω διαδικασία οδηγεί στην δημιουργία πολύεδρων όμορφων λίθων που με την σειρά τους φανερώνουν εξαιρετική γυαλάδα και φωτεινότητα.

Οι πολύτιμοι λίθοι μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα σε ομάδες, είδη και ποικιλίες και να λάβουν διαφορετικό όνομα. Παραδείγματος χάριν, η κόκκινη ποικιλία του κορουνδίου ονομάζεται αποκλειστικά ρουμπίνι, ενώ κάθε άλλο χρώμα του ίδιου είδους θεωρείται ζαφείρι. Άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η βήρυλλος που ανάλογα με το χρώμα της ονομάζεται αντίστοιχα σμαράγδι (πράσινο), ακουαμαρίνα (μπλε), ηλιόδωρο (κίτρινο) και μοργκανίτης (ροζ).

Ένας πολύτιμος λίθος ονομάζεται "Συνθετικός" όταν έχει την ίδια χημική σύσταση και τις ίδιες ιδιότητες με τον φυσικό πολύτιμο λίθο, με την διαφορά ότι ο συνθετικός κατασκευάστηκε σε εργαστήριο και δεν αναπτύχθηκε στη φύση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτό της κυβικής ζirkόνια (ζirkόν) η οποία θεωρείται πιστή αντιγραφή του Διαμαντιού που φτιάχνεται από οξείδιο του ζirkονίου, έχουμε ένα υλικό δηλαδή που μοιάζει οπτικά με το αληθινό, αλλά έχει διαφορετική χημική σύσταση, για αυτό και ανιχνεύεται πολύ ευκολότερα (Jewelpedia 2018).

1.2 Επεξεργασία των Πολύτιμων Λίθων

Η επεξεργασία ενός ορυκτού είναι μια ιδιαίτερη διαδικασία κατά την οποία πραγματοποιείται ένας πολύτιμος λίθος ή ένα διακοσμητικό αντικείμενο πολύτιμου λίθου, ή ενός διακοσμητικού αντικειμένου από πέτρα. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται σήμερα για την δημιουργία πολύτιμων λίθων ξεκινώντας από ακατέργαστο υλικό, είναι συνοπτικά οι εξής :

1) *Η Κοπή (Sawing)*

Η διαδικασία αυτή γίνεται με ένα ειδικό μηχάνημα που ονομάζεται «πριόνι κοπής πετρών» και αποτελείται από μία στρογγυλή περιστρεφόμενη ατσάλινη λεπίδα που στο χείλος της έχει διαμαντόσκονη. Ο λόγος που επικρατεί διαμαντόσκονη στην άκρη του εργαλείου είναι διότι το διαμάντι όπως αναφέραμε παραπάνω έχει την μεγαλύτερη τιμή σκληρότητας στην κλίμακα Mohs με αποτέλεσμα να κόβει η σκόνη του τον κρύσταλλο. Η λεπίδα αυτή επομένως κόβει τις πέτρες ενώ περιστρέφεται μέσα σε νερό ώστε μην

αναπτύσσει μεγάλες θερμοκρασίες και να κρατήσει την υπάρχουσα θερμοκρασία σταθερή. Έτσι τεμαχίζουμε τα μεγάλα κομμάτια των ορυκτών σε μικρότερα, και τα φέρνουμε σε όποια διάσταση θέλουμε.

2) Το Τρόχισμα (Grinding)

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται μέσω ενός τροχού ο οποίος με την βοήθεια ενός μοτέρ περιστρέφεται. Ο τροχός αποτελείται από καρβίδιο πυριτίου που έχει στο εσωτερικό του διαμαντόσκονη. Σκοπός είναι να δώσουμε στο ορυκτό το σχήμα που επιθυμούμε, λόγω υψηλής θερμοκρασίας και σε με ένα τροχό που περιστρέφεται με την βοήθεια ενός μοτέρ. Ο τροχός αποτελείται από καρβίδιο του πυριτίου, που περιέχει στην μάζα του διαμαντόσκονη. Με το τρώχισμα δίνουμε στην πέτρα το σχήμα που θέλουμε, ακόμη και στην περίπτωση του τρώχισματος η θερμοκρασία ανεβαίνει αρκετά για τον λόγο αυτό ο τροχός πρέπει να δουλεύει με υγρό για αποφυγή υπερθέρμανσης.

3) Η Λείανση (Sanding)

Η διαδικασία γίνεται με περιστρεφόμενα τύμπανα από καουτσούκ, που καλύπτονται από γυαλόχαρτα για να ομαλοποιήσουν και να λειάνουν την επιφάνεια της πέτρας. Έτσι από εκεί που η επιφάνεια του ορυκτού ήταν τραχεία γίνεται λεία.

4) Λείανση και Τρόχισμα (Lapping)

Είναι ένα στάδιο τρώχισματος και λείανσης μαζί με στόχο την δημιουργία επίπεδων επιφανειών στο ορυκτό. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ταγιάρισμα με την οποία μπορούμε να δημιουργήσουμε έδρες με συγκεκριμένη γωνία η μία σε σχέση με την άλλη.

5) Το γυάλισμα (Polishing)

Είναι η διαδικασία κατά την οποία γίνεται η τελευταία επεξεργασία της πέτρας, πριν τελειοποιηθεί. Γίνεται με βούρτσες που περιστρέφονται γύρω από την πέτρα και περιλαμβάνουν στην επιφάνεια τους οξείδια αργίλου.

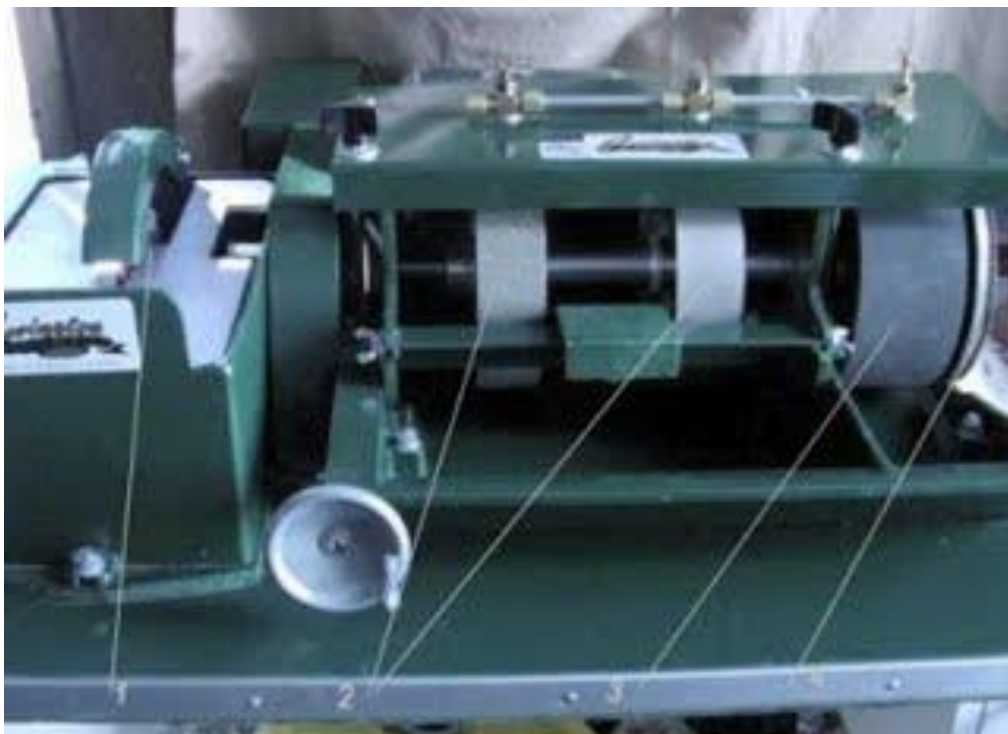
6) Το τρύπημα (Drilling)

Το τρύπημα σε μια πέτρα πραγματοποιείται με συγκεκριμένα, ειδικά, λεπτά τρυπάνια τα οποία λειτουργούν με νερό αλλά και με άλλου είδους τρυπάνια που λειτουργούν με ακτίνες υπερήχους.

7) ‘ Η ανατροπή’ (Tumbling)

Αποτελεί την τελική φάση επεξεργασίας ενός ορυκτού και γίνεται κυρίως σε πέτρες μικρής αξίας. Πολλές πέτρες μπαίνουν σε ένα περιστρεφόμενο κάδο, που λέγεται μπουράτο, μαζί με λειαντικές σκόνες, και προοδευτικά γυαλίζονται.

Συμπερασματικά να αναφερθεί πως στις πέτρες που έχουν καλύτερη ποιότητα γίνεται ταγιάρισμα και χρησιμοποιούνται στην κοσμηματοποιία, στις πέτρες πιο χαμηλής ποιότητας κόβονται καμποσόν ή γίνονται χάντρες και χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κοσμημάτων ή διακοσμητικών και τέλος κάποιες από αυτές με όλες τις ποιότητες, χρησιμοποιούνται για γλυπτογραφία.



Σχήμα 1: Μηχάνημα κοπής λίθων. Στη φωτογραφία φαίνεται ένα σύνθετο μηχανήμα επεξεργασίας ορυκτών (Πηγή: World of sparkling rocks, 24 Απρ 2015).

Με το μηχάνημα του σχήματος 1 μπορούμε να κάνουμε τις τέσσερις πρώτες από τις εργασίες που περιγράψαμε παραπάνω. Το μηχάνημα είναι συνδεδεμένο με μοτέρ το οποίο περιστρέφει όλα τα τύμπανα και τους δίσκους. Στη **θέση (1)** υπάρχει ένας μεταλλικός δίσκος που κόβει το ορυκτό σε φέτες, ή σε παραλληλεπίπεδα κομμάτια. Στη **θέση (2)**, υπάρχουν δύο περιστρεφόμενοι τροχοί, ο αριστερός χοντρόκοκκος, για πιο βαθύ τρόχισμα, και ο αριστερός λεπτόκοκκος για φινίρισμα. Με το τρόχισμα, το παραλληλεπίπεδο κομμάτι που πήραμε από την κοπή, διαμορφώνεται στο επιθυμητό σχήμα. Στη **θέση (3)** υπάρχει ένα περιστρεφόμενο τύμπανο από καουτσούκ, πάνω στο οποίο προσαρμόζεται μία ταινία από γυαλόχαρτο, για να υλοποιήσουμε το επόμενο στάδιο της λείανσης. Στη **θέση (4)** δεξιά από το τύμπανο από καουτσούκ, υπάρχει μία επίπεδη λειαντική επιφάνεια (δεν φαίνεται γιατί είναι στο πλάι), πάνω στην οποία κάνουμε λείες έδρες, όπως π.χ. ο πάτος για τις καμποσόν πέτρες. Όλες οι εργασίες γίνονται με συνεχή ροή νερού, για αποφυγή της υπερθέρμανσης (Πηγή: World of sparkling rocks, 24 Απρ 2015).

1.3 Τοξικοί Λίθοι

Υπάρχουν λίθοι που όσο όμορφοι και εντυπωσιακά επεξεργασμένοι μπορεί να είναι ωστόσο υπάρχουν περιπτώσεις που απαιτούν μεγάλη προσοχή και λεπτή διαχείριση η χρήση τους. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι διότι η σύσταση τους (ο ορυκτολογικός τους συνδυασμός) μπορεί να δημιουργήσει έντονη τοξικότητα και πολλές φορές στο όριο δηλητηρίασης. Είναι σημαντικό επομένως να γνωρίζει όποιος θέλει να ασχοληθεί με τους κρυστάλλους ποιοι από αυτούς μπορεί να είναι επιβλαβής για την υγεία του και ποιοι όχι. Εκτός από την απευθείας επαφή μαζί τους, οι τοξικοί κρύσταλλοι μπορεί να είναι και επιβλαβείς και στην υγρή μορφή σαν απόχρωση. Το έντονο φαινόμενο τοξικότητας ισχύει για κρυστάλλους που είναι στην φυσική τους μορφή (ακατέργαστοι) και διατηρούν την τοξική σκόνη τους. Παρακάτω υπάρχει μία λίστα με ορισμένα από τα ορυκτά που χρίζουν μεγάλης προσοχής και κυριότερα να προμηθεύονται με επεξεργασία και σε λειασμένη μορφή (tumbled) αντί για την κανονική τους, ώστε να αποφύγουν προβλήματα τοξικότητας και κυρίως υγείας.

Τοξικοί κρύσταλλοι (στην φυσική τους μορφή):

- ν Αδαμίτης, Αζουρίτης (με την σκόνη του), Ακτινόλιθος, Αουριχαλκίτης
- ν Βαναδινίτης, Βαρισίτης, Βουλφενίτης
- ν Γαληνίτης
- ν Ευδιαλίτης (ελαφρώς ραδιενεργός)

- v Καλκανθίτης, Κιννάβαρι, Κερουσίτης, Κονιχαλκίτης
- v Lodestone (η φυσική μορφή του Μαγνητίτη)
- v Μαλαχίτης (όταν έχει τη σκόνη του, ασφαλής σε λειασμένη μορφή)
- v Μαρकासίτης, Μολυβδενίτης, Μπροκανθίτης
- v Σπινέλλιος

Κάθε πολύτιμος λίθος θα πρέπει να χρησιμοποιείται, επεξεργάζεται, μεταφέρεται, τοποθετείται και διαχειρίζεται με ειδικούς τρόπους που εξαρτώνται από τις φυσικές του ιδιότητες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Για να διατηρηθεί ένας πολύτιμος λίθος και να παραμένει ως έχει από θέμα γυαλάδας, λαμπρότητας και καθαρότητας είναι σημαντική η καθημερινή κατάλληλη φροντίδα του. Ανάλογα με το είδος του λίθου ο καθαρισμός του μπορεί να γίνει με υπέρηχο ή με ατμό αλλά και με σαπούνι και νερό μόνο αν αυτός είναι ευαίσθητος. Τα ξαφνικά χτυπήματα, η απόξεση και οι ακραίες συνθήκες όπως αυτές περιλαμβάνουν την θερμότητα, το ψύχος, την άμεση έκθεση σε φως του ήλιου, τα επιβλαβή χημικά αποτελούν στο σύνολο τους μη κατάλληλες συνθήκες διατήρησης ενός πολύτιμου λίθου και συνάμα σημαντικούς κινδύνους .

2. Γεωλογία Ελλάδος και πολύτιμοι Λίθοι

Η Ελλάδα έχει μια εξαιρετική γεωλογική ιστορία που έχει προκαλέσει το σχηματισμό πολύτιμων λίθων. Οι πολύτιμοι λίθοι της Ελλάδας βρίσκονται σε διαφορετικά γεωλογικά περιβάλλοντα, η μελέτη των οποίων θα αυξήσει τις γνώσεις μας σχετικά με τις προϋποθέσεις που απαιτούνται για την κρυστάλλωση και τη συγκέντρωσή τους σε οικονομικά βιώσιμα κοιτάσματα. Το γνωστό υλικό πολύτιμων λίθων περιλάμβανε ρουμπίνια από την Ξάνθη, ζαφείρι και βήρυλλο από τη Νάξο, κόκκινο σπεςσαρτίνη από το νησί της Πάρου, σμισθονίτη από τη ζώνη οξείδωσης των ορυχείων του Λαυρίου και την πράσινη ποικιλία του χαλαζία (πράσιο) από το νησί της Σερίφου. Οι γεωλογικές έρευνες στην Ελλάδα τις τελευταίες τρεις δεκαετίες είχαν ως αποτέλεσμα την ανακάλυψη νέων εμφανίσεων ορυκτών μεγακρυστάλλων, πολλά από τα οποία έχουν ποιότητα πολύτιμων λίθων. Αυτοί οι λίθοι εντοπίζονται σε ζώνες skarn, σε υδροθερμικά κοιτάσματα μεταλλευμάτων, σε πετρώματα που έχουν υποστεί υψηλού βαθμού μεταμόρφωση και σε ιζήματα ποταμών. Στη Μακεδονία και στη Θράκη υπάρχουν αρκετές τέτοιες χαρακτηριστικές τοποθεσίες (Μέλφος, 2012). Οι εμφανίσεις πολύτιμων λίθων στην Ελλάδα παρουσιάζονται στα σχήματα 2 και 3 και περιγράφονται σε σχέση με το γεωλογικό τους πλαίσιο και τις συνθήκες σχηματισμού τους.

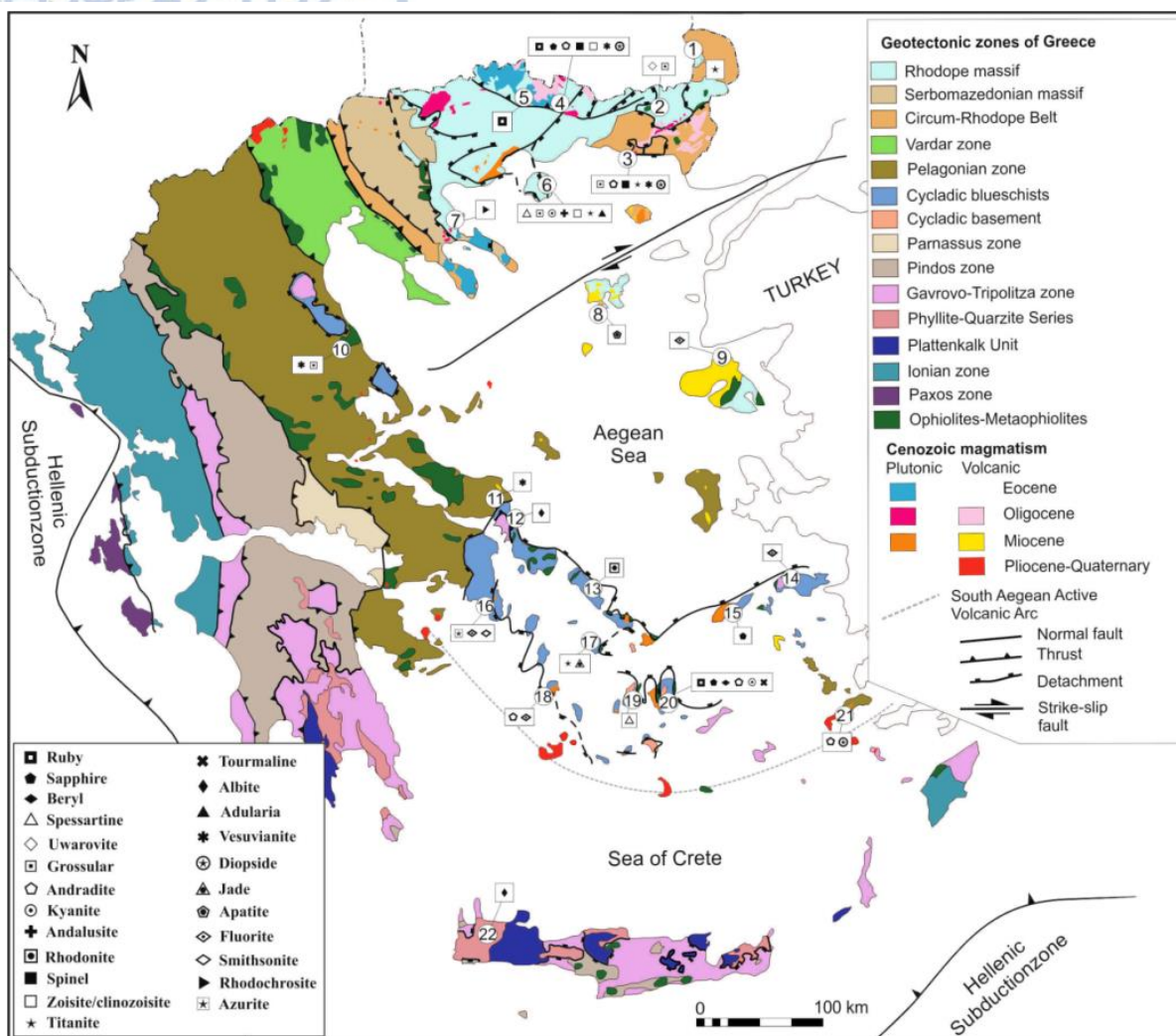
Συγκεκριμένα:

- Αμέθυστος στη Θράκη (Κ. Νευροκόπι, Σάπες, Σουφλί)
- Καπνίας στη Θράκη (Κ. Νευροκόπι)
- Ρουμπίνια και Κυανίτης στη Θράκη (Παρανέστι)
- Αραγωνίτης, Ασβεστίτης, Βεζουβιανός, Γρανάτης, Ορεία Κρύσταλλος, Μαλαχίτης, στη Θράκη (Μαρώνεια)
- Ορεία Κρύσταλλος στη Θράκη (Κ. Βροντού)
- Μπ-Ζοισίτης με Γρανάτες στη Θράκη (Πανόραμα)
- Ροδοχρωσίτης (Μεταλλεία Χαλκηδικής)
- Πράσινος Χαλαζίας (Σέριφος)
- Αδαμίτης, Αζουρίτης, Ανναβεργίτης, Αραγωνίτης, Γλαυκοκερινίτης, Μαλαχίτης, Σερπιερίτης (Λαύριο).

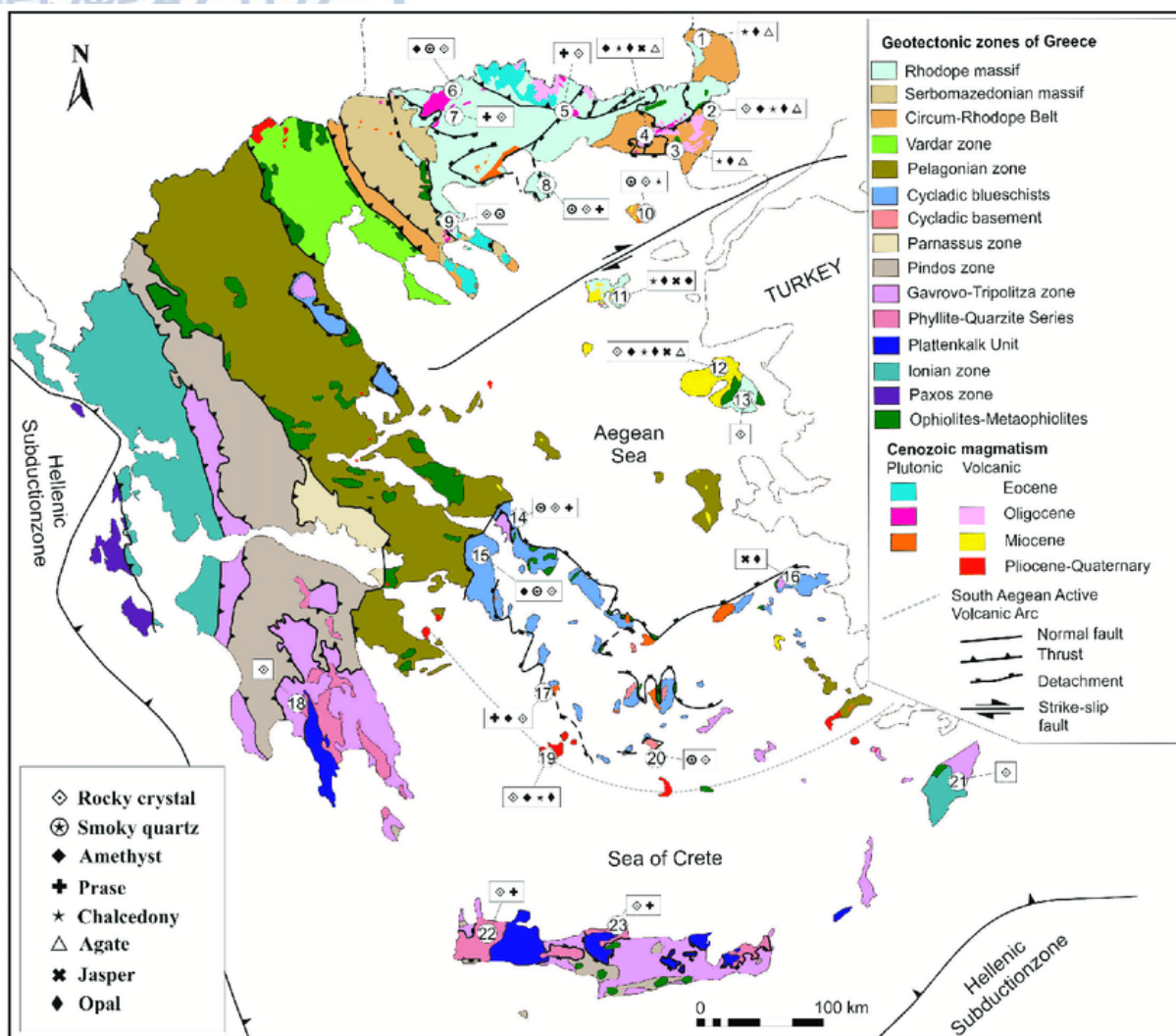
Στην ανύψωση του Ελληνικού Ορογενούς, πολύτιμοι λίθοι εμφανίζονται στους ορεινούς όγκους της Ροδόπης και της Αττικοκυκλαδικής και στην ενότητα Φυλλίτων-Χαλαζίτων της Κρήτης. Εμφανίζονται δύο ομάδες:

1) Αυτές που σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια της περιοχικής μεταμόρφωσης που φέρουν πυριτικά άλατα που φιλοξενούνται σε ορθογνεύσιους και παραγνεύσιους στη Θάσο και την Πάρο: ζαφείρια και ρουμπίνια σε μάρμαρα και εκλογιτικούς αμφιβολίτες προσανατολισμένα παράλληλα με τη ζώνη «συρραφής» Νέστου στη Ξάνθη στις περιοχές Δράμας/Ροδόπης, ζαφείρια σε πλουμασίτες της Νάξου και μεταβωζίτες της Ικαρίας.

2) Αυτές που σχετίζονται με φλέβες αλπικού τύπου που περιέχουν χαλαζία, αλβίτη και τιτανίτη ποιότητας πολύτιμων λίθων εντός ορθό- και παρα-γνευσίων και μεταβασιτών στη Δράμα, Νησί Θάσου, Όρος Πεντελικόν, Εύβοια, και νησιά Ίου, και μεταχαλαζίτες στην Κρήτη.



Σχήμα 2. Εμφανίσεις διαφόρων πολύτιμων λίθων σε μεταμορφικούς και πυριγενείς βράχους της Ελλάδας (Τροποποιήθηκε μετά τους Οθάνους και τον Βουδούρη): 1. Θεραπείο / Έβρος, 2. Βύρσινη / Έβρος, 3. Μαρώνεια / Ροδόπη, 4. Γοργόνα-Κιμμέρια / Ξάνθη, 5. Παρανέστι / Δράμα, 6. Τρίκορφο / Θάσος, 7. Στρατώνι-Ολυμπιάδα / Χαλκηδική, 8. Φάκος / Λήμνος, 9. Μεγάλα Θέρμα / Λέσβος, 10. Λάρισα, 11. Κύμη / Εύβοια, 12. Κριεζά-Κόσκινα / Εύβοια, 13. Πέταλο / Άνδρος, 14. Άμπελος / Σάμος, 15. Πούντα / Ικαρία, 16. Λαύριο / Αττική, 17. Κάμπος / Σύρος, 18. Αγία Μαρίνα-Αβέσαλος / Σέριφος, 19. Θάψανα / Πάρος, 20. Κινιδάρος-Καβαλάρης / Νάξος, 21. Καρδάμαινα (Πηγή: Voudouris et al. (2019))

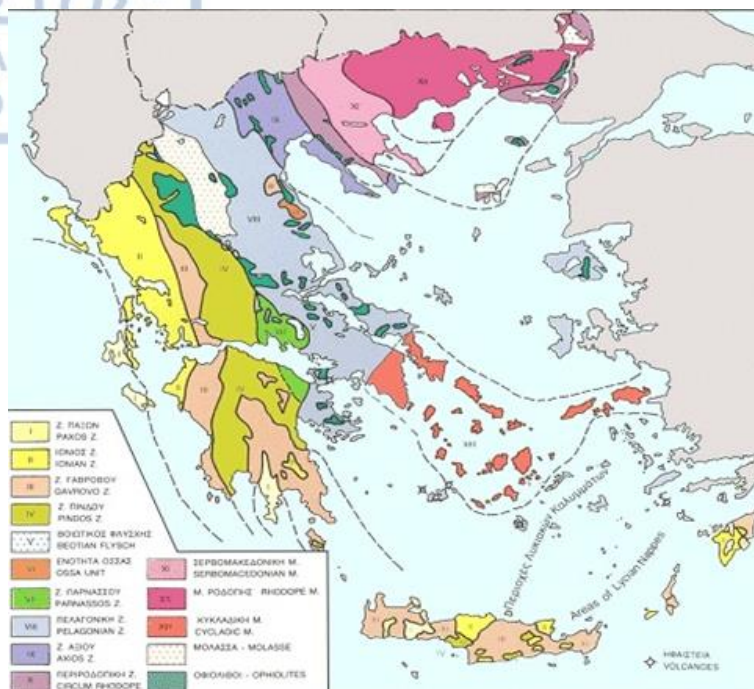


Σχήμα 3. Εμφανίσεις ποικιλιών πυριτικής ποιότητας πολύτιμων λίθων σε μεταμορφικούς και πυριγενείς βράχους της Ελλάδας (Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας τροποποιημένος μετά τους Οθάνους και τον Βουδούρη): 1. Δίκαια / Έβρος, 2. Κορνοφωλιά / Έβρος, 3. Αιτωχώρι / Έβρος 4 Σάπες/ Ροδόπη, 5.Κιμμάρια/ Ξάνθη 6. Δασσωτό/ Δράμμα, 7.Κρέστη / Δράμμα 8. Τρίκορφο/ Θάσος, 9.Στρατώνι- Ολυμπιάδα/ Χαλκηδική, 10.Φεγγάρι/ Σαμοθράκη, 11. Μούδρος-Ρουσσοπούλι / Λήμνος Νησί, 12. Μέγαλα Θέρμα / Λέσβος, 13. Γερά / Λέσβος, 14. Κριεζά-Κόσκινα / Εύβοια, 15. Πεντέλη, Αττική, 16. Αμπελός / Σάμος, 17. Αβέσαλος / Σέριφος, 18 Ταΰγετος ,. 19.Χοντρό Βουνό- Βάνη/ Μήλο, 20. Μυλοπότας/ Ιος 21. Ρόδος, 22.Πράσες/ Κρήτη, 23. Αγία Πελαγία / Κρήτη (Πηγή: Voudouris et al. (2019))

Μαγματικά-υδροθερμικά περιβάλλοντα του Καινοζωικού στην Ελλάδα (γρανιτοειδή, ηφαιστειακά πετρώματα και ανθρακικά πετρώματα) παρέχουν λίθους πολύ καλής ποιότητας (π.χ. γρανάτες, βεζουβιανίτης, διοψίδιος, ροδοχρωσίτης, ποικιλίες χαλαζία). Οι φλέβες χαλαζία μέσα σε γρανιτοειδή (Μαρώνεια, Κιμμέρια και Σαμοθράκη) περιέχουν καθαρό καπνία χαλαζία ποιότητας πολύτιμων λίθων. Τα ενδο- και εξω-skarn στα Κιμμέρια, Κρέστη, Μαρώνεια, Κως και Σέριφος φιλοξενούν πολυεδρικούς κρυστάλλους από γρανάτες, βεζουβιανίτη, επίδοτο, πράσινο χαλαζία και αμέθυστο. Ο ροδοχρωσίτης και ο φθορίτης εμφανίζονται στα κοιτάσματα αντικατάστασης σε ανθρακικά πετρώματα στην Ολυμπιάδα/Χαλκηδικής και του Λαυρίου/Αττικής αντίστοιχα. Οι πολύτιμοι λίθοι που συνδέονται με υδροθερμικά ηφαιστειακά πετρώματα περιλαμβάνουν αμέθυστο, χαλκηδόνιο, οπάλιο, απολιθωμένο ξύλο και φθορίτη στις περιοχές Σάπες, Σουφλί, Λέσβο, Λήμνο και Σάμο και το νησί της Μήλου. Η ζώνη οξείδωσης του κοιτάσματος αντικατάστασης σε ανθρακικά πετρώματα του Λαυρίου στην Αττική περιέχει πολύτιμους λίθους σμισθονίτη σε διάφορα χρώματα.

Η εκμετάλλευση των παραπάνω ορυκτών δεν είναι εφικτή λόγω των δύσβατων θέσεων των εμφανίσεων, της μικρής τους έκτασης και της έλλειψης των εξειδικευμένων εργαστηρίων για την κατεργασία τους, όπως την κοπή, την βελτίωση της διαύγειας τους κ.ά.

Η Ελλάδα παρουσιάζει μία σύνθετη γεωλογική δομή με μεγάλη ποικιλία γεωλογικών σχηματισμών, αποτέλεσμα της σύνθετης γεωλογικής ιστορίας και εξέλιξης της. Το Ελληνικό ορογενές χωρίζεται σε 3 μεγάλες ενότητες: την Ελληνική Ενδοχώρα, τις Εσωτερικές Ελληνίδες και τις Εξωτερικές Ελληνίδες, κάθε μία από την οποίες περιλαμβάνουν τις γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδος γεωλογικά. Κάθε μία από αυτές περιλαμβάνει ορισμένη στρωματογραφική διαδοχή των πετρωμάτων της και αποτελείται από ιδιαίτερους λιθολογικούς χαρακτήρες και συγκεκριμένη τεκτονική συμπεριφορά. Είναι πολλές αυτές οι οποίες σε μεγάλο βαθμό τόσο λιθολογικά όσο από θέμα τεκτονικής συμπεριφοράς μοιάζουν αρκετά (Πηγή: Orykta.gr).



Σχήμα 4: Γεωτεκτονικές ζώνες στο Ελληνικό Ορογενές- Γεωλογία Ελλάδος (Μουντράκης, 2010)

2.1 Ενδοχώρα-Μάζα Ροδόπης

Η Γεωτεκτονική ζώνη της Ροδόπης περιλαμβάνει τον ορεινό όγκο της Ροδόπης, στην Θράκη και την Ν. Βουλγαρία, την Α. Μακεδονία με δυτικό όριο τη γραμμή του Στρυμόνα ποταμού, καθώς και το νησί Θάσο (Μουντράκης, 2010). Ο ορεινός όγκος της Ροδόπης θεωρείται μέρος του ευρωπαϊκού ηπειρωτικού περιθωρίου και πρόκειται για ένα ετερογενές σώμα φλοιού. Η μάζα της Ροδόπης αποτελείται από τέσσερις ενότητες, την «Ενότητα Σιδηρόνερου» που είναι η κύρια, την «Ενότητα Κάρδαμου», την «Ενότητα Κέχρου» και την «Ενότητα Κίμης», στο σύνολο τους περιλαμβάνουν κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα ενώ έντονη είναι η έλλειψη ιζηματογενών πετρωμάτων που έχει ως αποτέλεσμα την σχετικά ασαφή Στρωματογραφία της ζώνης. Η μάζα Ροδόπης αποτελείται κυρίως από γνεύσιους, μάρμαρα, σχιστόλιθους, γρανίτες-γρανοδιορίτες, ρυόλιθους, ανδεσίτες και δακίτες. Η τεκτονική ανάλυση του κρυσταλλοσχιστώδους, που έγινε ως τώρα σε περιοχές της Ροδόπης, διαπίστωσε τρεις φάσεις πτυχώσεων των σχηματισμών (Μουντράκης 2010)

2.2 Ενδοχώρα- Σέρβομακεδονική μάζα

Αποτελεί το δυτικό τμήμα που περιλαμβάνεται μεταξύ της ζώνης Αξιού και του ποταμού Στρυμόνα, χωρίζεται σε δύο ενότητες: την ενότητα των Κερδυλλίων με χαρακτηριστικό την παρουσία μαρμάρων και την ενότητα του Βερτίσκου με χαρακτηριστικό την παρουσία μεγάλων οφιολιθικών μαζών και αποτελείται από γνεύσιους, μαρμαρυγικούς

και αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους και αμφιβολίτες. Τρεις μαγματικές φάσεις δημιούργησαν μεγάλες μάζες γρανιτών, γρανοδιοριτών και διοριτών και μικρές ρυολιθικών πετρωμάτων. Τρεις κύριες τεκτονικές φάσεις είχαν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πτυχώσεων, επωθήσεων και λεπιώσεων.

2.3 Εσωτερικές Ελληνίδες- Περιοδοπική ζώνη

Η Περιοδοπική ζώνη έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και επεκτείνεται από τα Ελληνογιουγκοσλαικά σύνορα προς τα ΝΑ στη λίμνη Λαγκαδά, τον κορμό Χαλκηδικής και την χερσόνησο της Σιθωνίας όπου κάμπτεται προς τα ΒΑ και περνάει από την άκρη της χερσονήσου του Άθω και προεκτείνεται υποθαλάσσια προς το νησί της Σαμοθράκης και την περιοχή της Αλεξανδρούπολης (Μουντράκης 2010). Περιλαμβάνει τρεις ενότητες, (Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά, Μελισχωρίου-Χολομώντα, Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη) αποτελούμενες από ανατολικά προς τα δυτικά από α) ψαμμίτες, χαλαζίτες, σχιστόλιθους, ηφαιστειοϊζηματογενή πετρώματα, ασβεστόλιθους, β) μάρμαρα, ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους και φλύσχη και γ) κερατόλιθους, σχιστόλιθους, φυλλίτες, μάρμαρα, γνεύσιους. Σαν ενότητα έχει επηρεαστεί από δύο κύριες φάσεις πτυχώσεων και ελαφρά μεταμόρφωση κοντά στο Άνω Ιουρασικό- Κάτω Κρητιδικό.

2.4 Εσωτερικές Ελληνίδες- Ζώνη Αξιού

Ζώνη με χαρακτηριστικά παλιάς ωκεάνιας περιοχής με χαρακτηριστική εξάπλωση μεγάλων οφιολιθικών σειρών γνωστές ως «Εσωτερική οφιολιθική λωρίδα» ή αλλιώς "IRO". Περιλαμβάνει γεωγραφικά την περιοχή των Σκοπίων, Θερμαϊκό κόλπο και το Αιγαίο. Χωρίζεται σε τρεις υποζώνες λόγω των εσωτερικών διαφοροποιήσεων που εμφανίζει η κάθε μια την ζώνη Παιονίας, τη ζώνη Πάϊκου και τη ζώνη Αλμωπίας. Αποτελείται στο σύνολο της από σχιστόλιθους, φυλλίτες, μάρμαρα, κερατόλιθους, ψαμμίτες και ασβεστόλιθους. Το βασικό χαρακτηριστικό της ζώνης Αξιού είναι, εκτός από την παρουσία οφιολίθων σε όλο τον χώρο, η εκδήλωση ηφαιστειότητας.

2.5 Εσωτερικές Ελληνίδες- Πελαγονική ζώνη

Η Πελαγονική ζώνη κατέχει ένα μεγάλο τμήμα του κορμού της Ελλάδας περιλαμβάνοντας τους ορεινούς όγκους του Βόρα και αποτελείται από ένα κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο με γνεύσιους, γνευσιοσχιστόλιθους και αμφιβολίτες με μεγάλες γρανιτικές διεισδύσεις, μάρμαρα, φυλλίτες, σχιστόλιθους, ψαμμίτες, ασβεστόλιθους και δολομίτες. Χαρακτηριστική είναι η ύπαρξη τεκτονικά τοποθετημένων μεγάλων

οφιολιθικών σειρών που ονομάζονται «εξωτερική οφιολιθική λωρίδα» ή αλλιώς ‘‘ERO’’. Χωρίζεται σε δύο Ζώνες, στην Πελαγονική με μεταμορφωμένους σχηματισμούς (όπου εμφανίζονται αποκλειστικά μεταμορφωμένα πετρώματα) και την Υποπελαγονική ζώνη μη μεταμορφωμένων σχηματισμών.

2.6 Εσωτερικές Ελληνίδες- Αττικοκυκλαδική μάζα

Η ενότητα αυτή περιλαμβάνει την Ενότητα Αττικής αποτελούμενη από μάρμαρα, δολομίτες και σχιστόλιθους, την Ενότητα Όχης η οποία βρίσκεται επωθημένη στην ενότητα Αττικής, την Ενότητα Στύρων που είναι υποκείμενη αυτής, την ενότητα Βορείων Κυκλάδων, με μάρμαρα στη βάση, μεταφαιστειακά πετρώματα και κλαστικά ιζήματα και την Ενότητα Νοτίων Κυκλάδων, που επικρατούν γενέσιοι, αμφιβολίτες, σχιστόλιθοι, μάρμαρα και μεταφλύσχης με οφιολίθους. Επομένως οι Κυκλάδες αποτελούνται από μια χαμηλότερη προαλπική ενότητα, την ενδιάμεση Κυκλαδική ενότητα κυανοσχιστολίθων (Blueschists) και την ανώτερη Πελαγονική ενότητα. Η Αττικοκυκλαδική μάζα κυρίως αποτελείται από μάρμαρα, δολομίτες, μαρμαρυγιακούς και αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους. Όσο αφορά την τεκτονική παραμόρφωση της, η περιοχή έχει υποστεί τρεις διαφορετικού βαθμού φάσεις μεταμόρφωσης ενώ χαρακτηρίζεται και από την διείδυση μεγάλων όγκων πυριγενών πετρωμάτων γρανιτικής κυρίως σύστασης.

2.7 Εξωτερικές Ελληνίδες- Ζώνη Παρνασσού /Γκιώνας

Η ζώνη αυτή οφείλει το όνομα της στα αντίστοιχα όρη του Παρνασσού και της Γκιώνας, έχει περιορισμένη έκταση στην Κεντρική Ελλάδα και αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από ασβεστόλιθους και δολομίτες, με βασικό χαρακτηριστικό την ύπαρξη τριών βωξιτικών οριζόντων. Σημειώνεται ότι οι βωξίτες για δεκαετίες αποτελούσαν παράγοντα για την οικονομία μιας χώρας και ήταν αρκετά σημαντική η εξόρυξη τους. Απουσιάζουν εντελώς τα μαγματικά πετρώματα ενώ έντονη ήταν η ύπαρξη φλύσχη στα ανώτερα στρώματα της ενότητας. Την συναντάμε επωθημένη προς τα δυτικά πάνω στη ζώνη της Πίνδου.

2.8 Εξωτερικές Ελληνίδες- Ζώνη Ολωνού /Πίνδου

Κατέχει κεντρική θέση στον κορμό της Ελλάδας και ακολουθεί την κάμψη του ορογενετικού τόξου, ενώ τμήματα της απαντούν στην Κρήτη και τη Ρόδο. Θεωρήθηκε σαν η πιο βαθιά Ελληνική Αύλακα ανάμεσα στα υβώματα Πελαγονικής προς τα ανατολική και της Γεβρόββου προς τα δυτικά (Μουντράκης 2010). Σαν ζώνη συνίσταται από ασβεστόλιθους, δολομίτες, κερατόλιθους, ηφαιστειοϊζηματογενή πετρώματα, ραδιολαρίτες, αργίλους,

ψαμμίτες και πηλίτες. Φαίνεται επωθημένη πάνω στη ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως και χαρακτηρίζεται από δομή λεπίων, με αποτέλεσμα συχνές επαναλήψεις των στρωμάτων, ονομάστηκε έτσι «**Το Τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου**». Πάνω στη ζώνη της Πίνδου βρίσκονται επωθημένες οι μεγαλύτερες οφιολιθικές μάζες του ελληνικού χώρου.

2.9 Εξωτερικές Ελληνίδες- Ζώνη Γαβρόβου /Τριπόλεως

Η ζώνη Γαβρόβου – Τριπόλεως βρίσκεται δυτικά της ζώνης Πίνδου με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ προς τη Πελοπόννησο, χαρακτηρίζεται από συνεχή ανθρακική ιζηματογένεση με κυρίαρχα πετρώματα τους ασβεστόλιθους και δολομίτες. Τα στρώματά της σχηματίζουν μεγάλα ανοικτά σύγκλινα και αντίκλινα και είναι επωθημένη δυτικά πάνω στην Ιόνιο ζώνη. Οι σχηματισμοί της τοποθετούνται σε ένα υπόβαθρο αποτελούμενο από φυλλίτες, χαλαζιακούς φυλλίτες και μάρμαρα, γνωστό και ως «φυλλιτική-χαλαζιτική» σειρά ή αλλιώς «στρώματα Τυρού» (Μουντράκης 2010)

2.10 Εξωτερικές Ελληνίδες-Ιόνιος Ζώνη

Η ζώνη εκτείνεται κατά μήκος της δυτικής παράλιας της Ηπειρωτικής Ελλάδας; Με διεύθυνση Β-Ν και περιλαμβάνει τη Ήπειρο , Ιόνια τμήματα και Δυτική Πελοπόννησο (Μουντράκης 2010). Είναι επωθημένη προς τα δυτικά πάνω στη ζώνη Παξών. Με την Ιόνιο ζώνη σχετίζεται μια σειρά πλακωδών μαρμάρων Plattenkalk με διαστρώσεις πυριτολίθων, που απαντούν σε μεγάλη έκταση στην Πελοπόννησο και Κρήτη. Χαρακτηρίζεται από εβαποριτικά στρώματα, κυρίως γύψου και ορυκτού άλατος, στη βάση της αλλά και σε ανώτερα στρώματα, όπου ανήλθαν λόγω διαπυρισμού. Ακολουθεί μια σχεδόν συνεχής ιζηματογένεση όπου επικρατούν οι ασβεστόλιθοι, πελαγικοί και νηριτικοί, δολομίτες, αργιλικοί σχιστόλιθοι και κερατόλιθοι.

2.11 Εξωτερικές Ελληνίδες- Ζώνη Παξών

Είναι η πιο εξωτερική γεωτεκτονική ζώνη της Ελλάδας με ένα μικρό τμήμα αυτής στα Ιόνια νησιά. Θεωρείται ως αυτόχθονη ζώνη, το μεγαλύτερο τμήμα της οποίας είναι βυθισμένο στη θάλασσα, μεταξύ των ιόνιων νησιών και της Απουλίας Κυρίως αποτελείται από μια συνεχή νηριτική ιζηματογένεση και την απουσία φλύσχη. Τα παλαιότερα πετρώματα είναι γύψοι και ακολουθούν δολομίτες, ασβεστόλιθοι, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, μάργες και κερατόλιθοι.

3. Ορυκτολογία πολύτιμων Λίθων

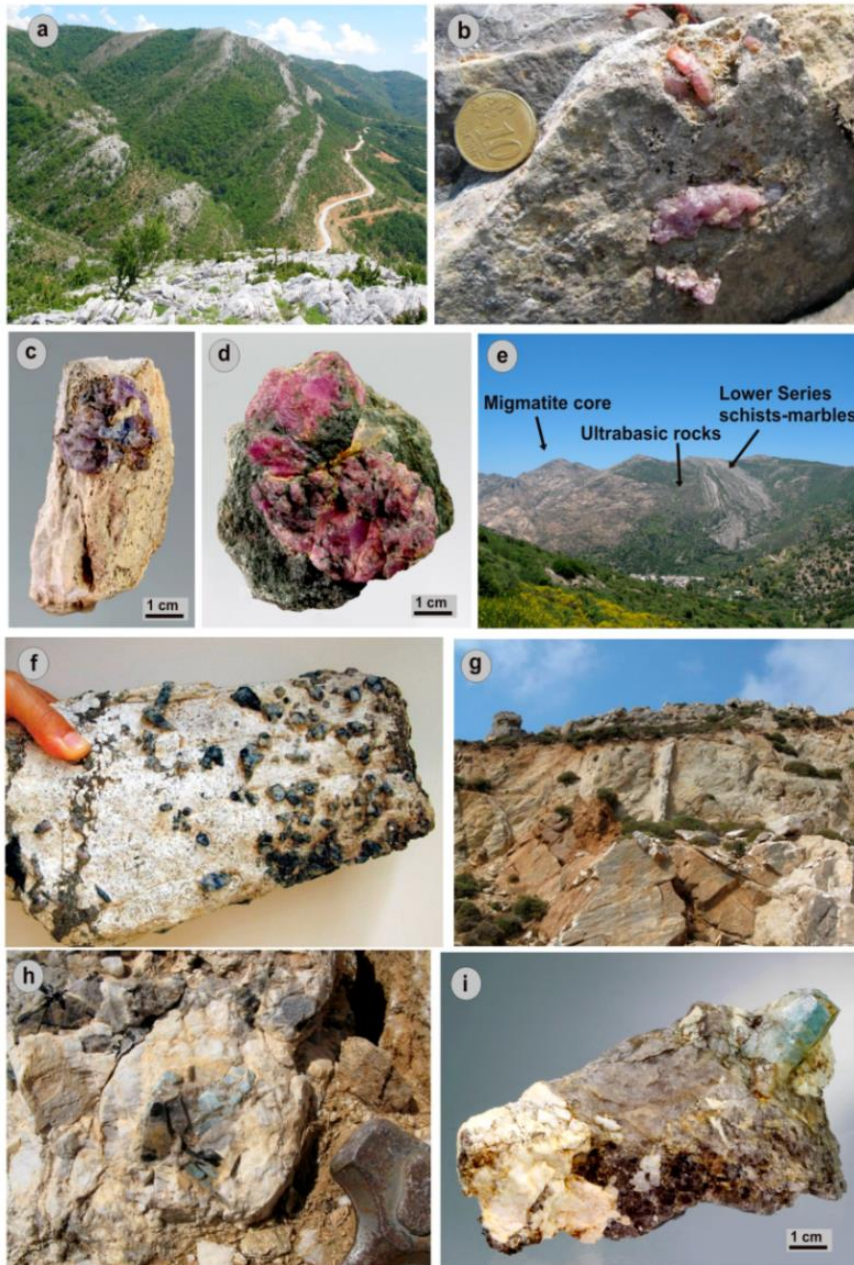
3.1. Κορούνδιο

Η Ελλάδα περιέχει κορούνδια κυρίως εντός της Μάζας της Ροδόπης (περιοχές Ξάνθης και Δράμας) και της Αττικοκυκλαδικής μάζας (Νάξος και Ικαρία) (Σχ. 5 και 6).

Στην περιοχή της Ξάνθης οι εμφανίσεις ζαφειριών είναι στρωματόμορφες μέσα μάρμαρο που εναλλάσσεται με εκλογιτικούς αμφίβολου (Σχήμα 6a) και σχετίζονται με ασβεστίτη, δολομίτη, καφέ ή μπλε σπινέλιο, μαργαρίτη και τουρμαλίνη, έχει ροζ, πορτοκαλί, μοβ έως μπλε χρώμα, συνήθως βρίσκεται σε πρισματική μορφή ή σε μορφή «βαρελιού», και το μέγεθός τους φθάνει έως και 4 cm (Σχ. 6b,c). Τα κορούνδια από την Ξάνθη είναι διαφανή με πολύ σαφή χωρισμό και λεπτές διακλάσεις. Τα μπλε ζαφείρια χωρίζονται σε ταινίες, με βαθύ μπλε χρώμα που εναλλάσσεται με άχρωμους τομείς. Αυτή η ακανόνιστη κατανομή χρώματος στα ζαφείρια, αποδίδεται στην διαφορετική περιεκτικότητα σε Fe και Ti στους κρυστάλλους.

Στην περιοχή Παρανέστι Δράμας, τα ρουμπίνια περιορίζονται σε φακούς σχιστολίθων που εναλλάσσονται με αμφίβολιτες και γνεύσιους. Σχετίζονται με κυανίτη και πλαισιώνονται από μαργαρίτη, μοσχοβίτη, χλωρίτη και Cr-σπινέλιο. Οι κρύσταλλοι ρουμπινιού έχουν μέγεθος έως 5 cm και χρώμα ανοιχτό ροζ έως βαθύ κόκκινο. Η μορφή τους είναι συχνά πρισματική και σε σχήμα βαρελιού (Σχ. 6d). Τα ρουμπίνια Παρανεστίου είναι αδιαφανή έως διαφανή παρουσιάζοντας καθαρό χωρισμό και διδυμία σε ελάσματα

Στο νησί της Ικαρίας, μπλε ζαφείρια εμφανίζονται εντός των μεταβωξιτών, που φιλοξενούνται μέσα σε μάρμαρα, τα οποία βρίσκονται πάνω από γνεύσιους. Τα μεγακρύσταλλα κορούνδιου γεμίζουν με μαργαρίτη, εκτεταμένες ρωγμές και δίκτυα φλεβών που είναι ασυμβίβαστα με τον φυλλώδη μεταβωξίτη. Οι κρύσταλλοι κορούντιου έχουν βαθύ μπλε χρώμα, κυλινδρικά έως καλά σχήματα, μεγέθη έως 4 cm και συνοδεύονται από Fe-χλωρίτη, αιματίτη, ρουτίλιο και διάσπορο. Το κορούνδιο περιέχει εγκλείσματα ιλμενίτη, αιματίτη, σπινέλιο, ρουτίλιο και ζιργκόν.



Σχήμα 6. Φωτογραφίες πεδίου και κλίμακας χεριού που δείχνουν περιστατικά / κρυστάλλους κορούνδιου και βηρυλλίου από την Ελλάδα: (b,c) Ροζ έως μοβ ζαφείρια μέσα στα μάρμαρα της Ξάνθης. (d) Ρουμπίνι σε σχιστόλιθο παργασίτη από το Παρανέστι / Δράμα. (e) Υπερβασικά σώματα που εξαλείφουν τον πυρήνα του μιγματίτη της Νάξου. Ο σχηματισμός πλουμασίτη έλαβε χώρα μετά από μετασωματική αντίδραση μεταξύ υπεριοδών και πηγματιτών. (f) Μπλε και πολύχρωμα ζαφείρια εντός πηγματίτη (πλουμασίτη) στον Κινιδάρο, Νάξος, (h, i) Μπλε βήρυλλος (πχ. ακουαμαρίνα) που σχετίζεται με ορθόκλαστο και μοσχοβίτη εντός του πηγματίτη από το Κινιδάρο της Νάξου. Οι φωτογραφίες 3c, d, είναι ευγενική προσφορά του Berthold Ottens (Πηγή: Voudouris et al. 2019).

3.2. Βήρυλλος- Ιαδείτης

Οι πηγματίτες στον ελληνικό χώρο είναι ως επί το πλείστον ανεπαρκείς στις μαρολιθικές κοιλότητες και επομένως περιέχουν μόνο κρύσταλλους ενσωματωμένους στο εσωτερικό της μήτρας. Οι μπλε κρύσταλλοι βηρυλλίου (ποικιλία ακουαμαρίνας) μήκους έως 5 εκατοστών είναι τυπικά συστατικά των πηγματιτών της Νάξου τόσο εντός του μιγματικού θόλου όσο και σε πηγματίτες που διασχίζουν τα γύρω μεταμορφικά πετρώματα (Σχ. 6g – i).

Ο ιαδείτης, είναι ένα πέτρωμα που ονομάζεται επίσης jadeite "jade", ο οποίος αποτελείται σχεδόν εξ ολοκλήρου από πυρόξενο. Το πράσινο χρώμα του αποδίδεται στο σίδηρο που βρίσκεται στο εσωτερικό του και που αντικαθιστά το αλουμίνιο στην κρυσταλλική δομή του ιαδείτη $[Na (Al, Fe_{3+}) Si_2O_6]$. Ο ιαδείτης και ο κλινοπυρόξενος Omphacite βρίσκονται στο νησί της Σύρου και περιβάλλονται από εκλογίτη όπως φαίνεται στο Σχήμα 7α, β. Από την Νεολιθική εποχή πραγματοποιήθηκε η δημιουργία ενός τσεκουριού με Ιαδείτη στην Σύρο.

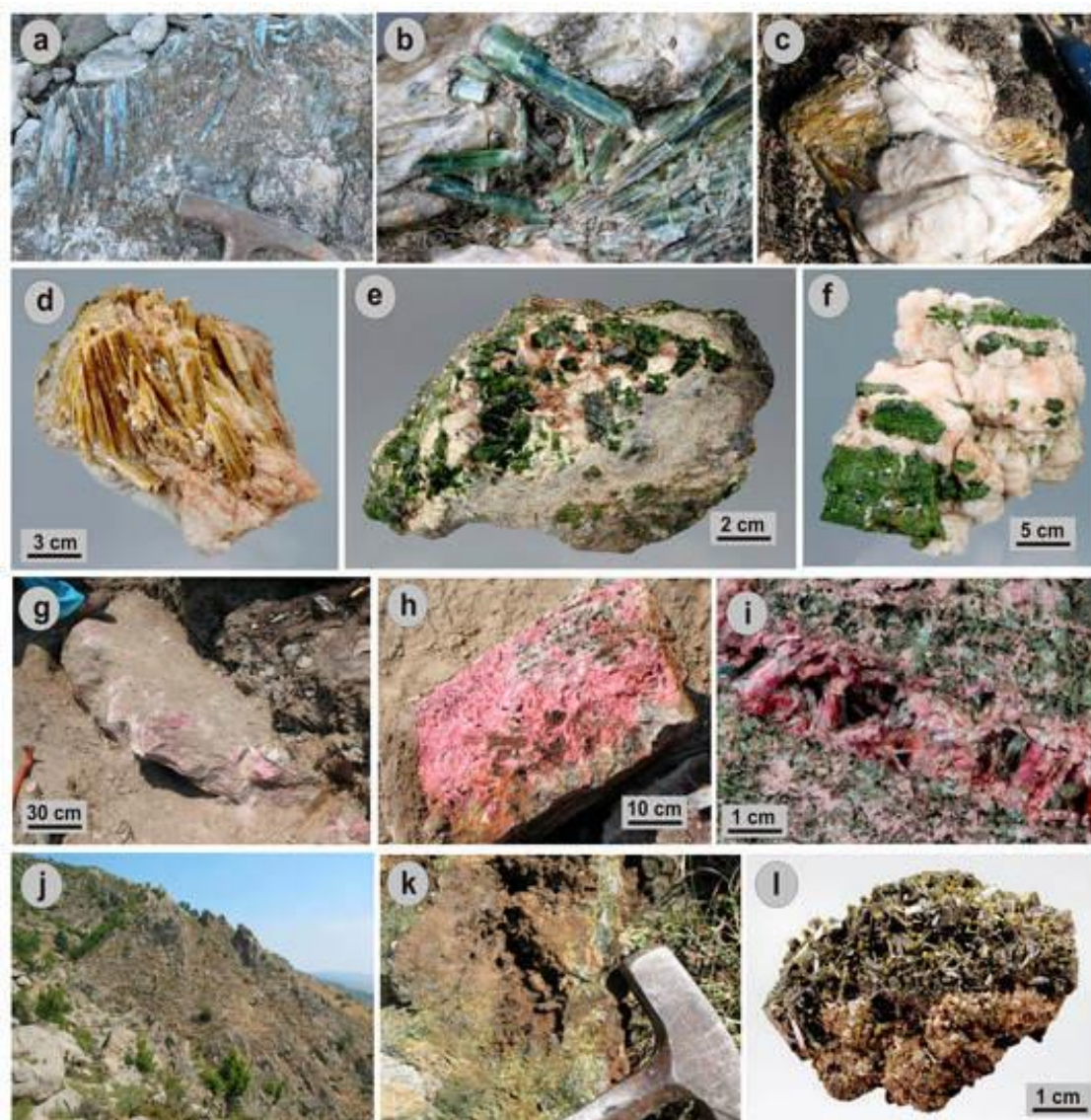


Σχήμα 7. Φωτογραφίες υπαίθρου (α) και δείγμα (β) του Ιαδείτη από την Σύρο (Πηγή: Voudouris et al. (2019))

3.3. Πολύμορφα Al_2SiO_5

Στο Τρίκορφο της Θάσου κυανίτης σε μορφή κρυστάλλου μήκους έως 20 εκ. με μπλε, πράσινο, κίτρινο έως πορτοκαλί χρώμα, σχετίζεται με χαλαζία και αστρίους που παρεμβάλλονται μέσα σε μεταπηλίτες (Σχ. 8α – δ). Ο πορτοκαλί κυανίτης σε ορισμένες περιοχές εμφανίζεται επίσης μαζί με σπεςσαρτίνη και μοσχοβίτη. Ένα εντυπωσιακό χαρακτηριστικό που εμφανίζει ο κυανίτης γαλάζιου χρώματος και ο κυανίτης κίτρινου χρώματος είναι η ξεχωριστή ζώνη σκούρου μπλέ χρώματος που σχηματίζεται στο κέντρο κάθε κρυστάλλου. Στο νησί της Νάξου στις Κυκλάδες, ο κυανίτης σχηματίζει κρυστάλλους

χρώματος έως και 10 cm στο εσωτερικό φακών και φλεβών χαλαζία. Επιπλέον στο Τρίκορφο Θάσου έχει βρεθεί Ανδαλουσίτης πλούσιος σε Mn σε μορφή κρυστάλλου έως και 7 cm με σκούρο πράσινο χρώμα να παρεμβάλλεται από μουντινάζ χαλαζία-αστρίου (Σχ. 8e, f) επίσης εμφανίζεται σε σχιστόλιθους με πορτοκαλί κυανίτη ή σε συνδυασμό με μοσχοβίτη.



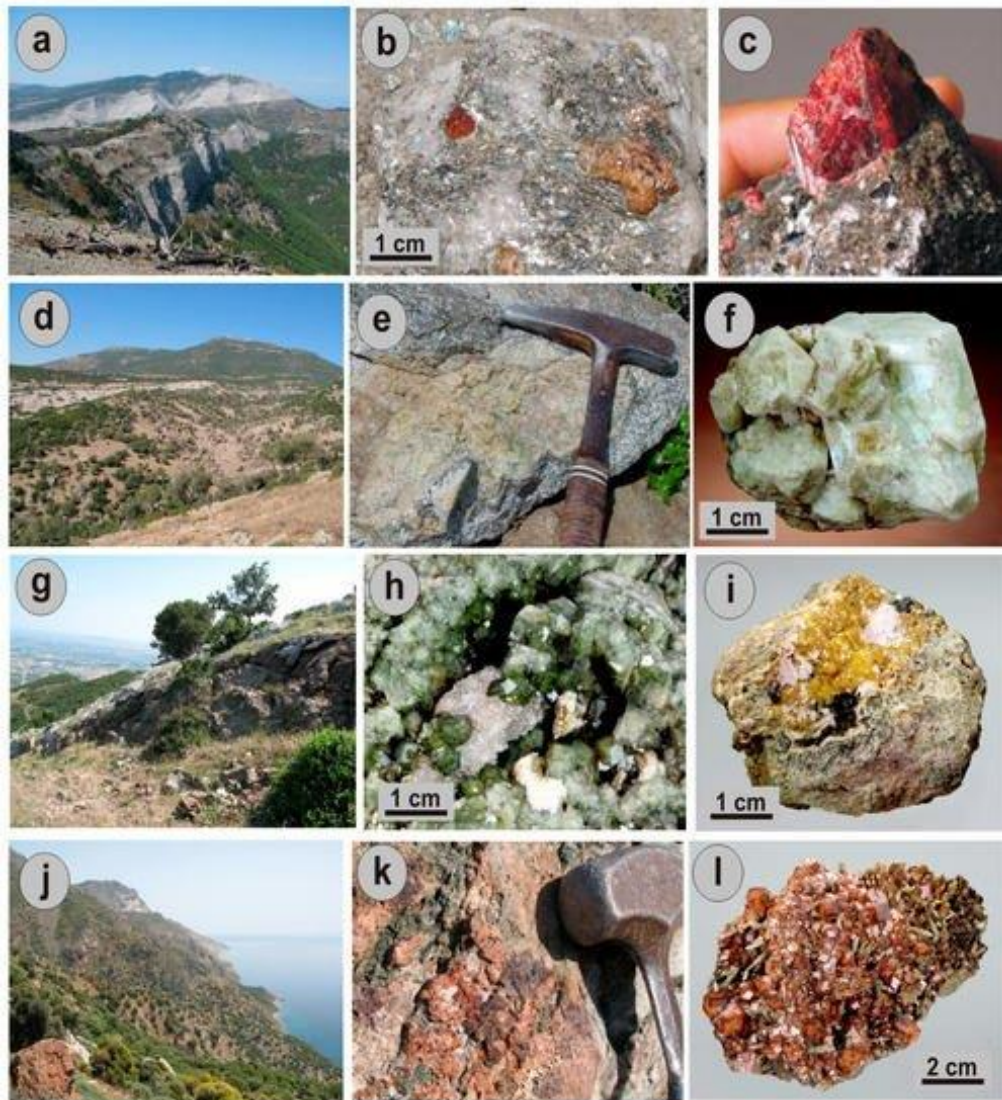
Σχήμα 8. Φωτογραφίες δειγμάτων πεδίου και χεριών που δείχνουν περιστατικά και κρύσταλλα πολύτιμων λίθων Al_2SiO_5 -πολυμορφικών ορυκτών και ομάδων επιδότων της Ελλάδας: (a – d) Κυανίτης μπλε, πράσινου έως και πορτοκαλιού χρώματος μέσα σε μεταπηλίτες και φλέβες χαλαζία στο Τρίκορφο της Θάσου, (e,f) Ανδαλουσίτης πλούσιος σε Mn σε χαλαζία από το Τρίκορφο, Θάσος, (g – i) Ροζ-ερυθρός Mn-Ζωϊσίτης / κλινοζωϊσίτης από το Τρίκορφο, Θάσου. (j) Scarn με επίδοτο στην Λευκόπετρα, Κιμμέρια / Ξάνθη. Ο Γρανодиόριτης βρίσκεται στο μπροστινό μέρος της φωτογραφίας. (k, l) Πράσινοι κρύσταλλοι επιδότου που σχετίζονται με τον ανδραδίτη από τη Λευκόπετρα. Οι φωτογραφίες είναι ευγενική χορηγία από Berthold Ottens (Πηγή: Voudouris et al. 2019).

3.4. Επίδοτο- Ζωισίτης

Στο Τρίκορφο Θάσου ο φτωχός σε Mn Ζωισίτης ποικιλίας Θουλίτη και ο κλινοζωισίτης σε ασβεστοπυριτικές στιβάδες, σχετίζονται με γροσσουλάριο πλούσιο σε Mn και χαλαζία (Σχ. 8g – i). Σχηματίζουν ημιδιαφανείς κρυστάλλους μήκους έως 10cm ανοιχτού ροζ έως κόκκινου χρώματος. Τα διαθέσιμα δεδομένα ηλεκτρονικής έρευνας μικροσωματιδίων αποκάλυψαν χαμηλή περιεκτικότητα σε Fe_2O_3 και πολύ χαμηλές τιμές Mn_2O_3 . Στη Λευκόπετρα, κοντά στα Κιμμέρια της Ξάνθης εμφανίζονται πράσινοι κρύσταλλοι επιδότου ποιότητας των πολύτιμων λίθων, μήκους έως 10 εκ. που σχετίζονται με χαλαζία και γρανάτες και πλαισιώνονται με γρανοδιορίτη και γνεύσιο (Σχ. 6j – l).

3.5. Γρανάτες

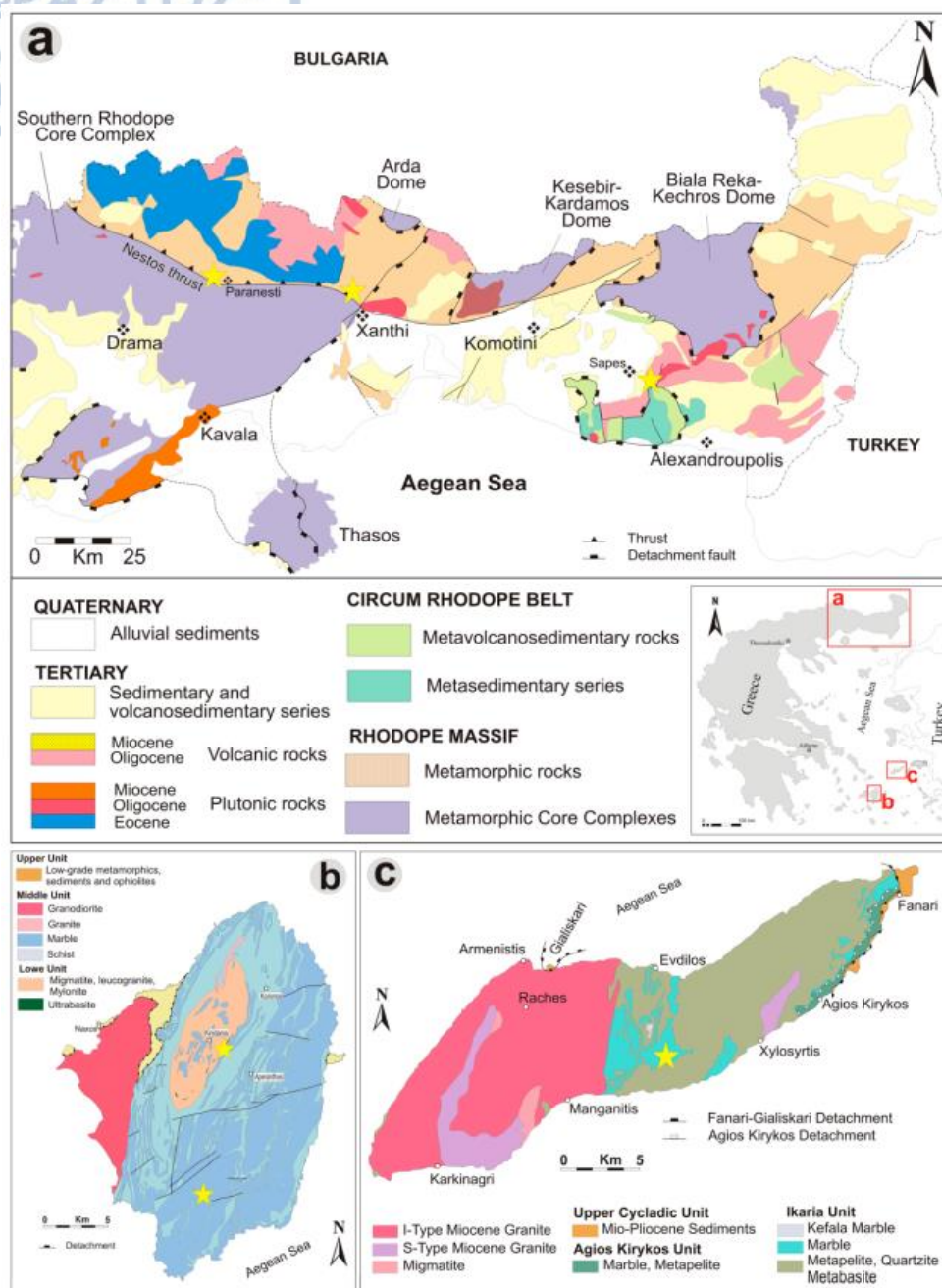
Στο Τρίκορφο Θάσου ο σπεςσαρτίνης και γροσσουλάριος πλούσιος σε Mn εμφανίζονται εντός των σχισμών κυανίτη και ανδαλουσίτη. Ο σπεςσαρτίνης που εμφανίζεται εντός των φλεβών του χαλαζία-μοσχοβίτη πλαισιώνεται με μαρμαρυγία και σχηματίζει ημιδιαφανείς, πορτοκαλί χρώματος κρυστάλλους έως 1 cm ποιότητας πολύτιμου λίθου (Σχ. 9a, b). Οι αναλύσεις ηλεκτρονικών μικροσωματιδίων του σπεςσαρτίνη υποδεικνύουν περιεχόμενο MnO έως 42,9 κ.β.%. Ο γροσσουλάριος πλούσιος σε Mn σε συνδυασμό με ροζ-κόκκινο χρώμα ζωισίτη πλούσιος σε Mn και χαλαζία εμφανίζεται εντός ασβεστοπυριτικών στρωμάτων και σχηματίζει υψηλής ποιότητας πολύτιμους λίθους κίτρινου χρώματος.



Σχήμα 9: Φωτογραφίες δειγμάτων που δείχνουν περιστατικά κρυστάλλου γρανίτη της Ελλάδας: (a) εναλλασσόμενα μάρμαρα και μεταπηλίτες στο Τρίκορφο της Θάσου. (b) κρύσταλλοι σπασσαρτίνη που σχετίζονται με μοσχοβίτη εντός χαλαζία, (c) σπασσαρτίνης εντός Βραουνίτη-Φλογοπίτη στη Πάρο (d) Μαρώνεια: διεπαφή μεταξύ των μαρμάρων και του πλουτωνίτη Μαρώνειας, (e) κοκκώδεις κρύσταλλοι σε επαφή με τον μονζογάββρο Μαρώνειας, (f) μερικώς διαφανείς πράσινοι κρύσταλλοι γροσσουλάριου από την Μαρώνεια, (g) βολλαστονίτης που φέρει ανδραδίτη σε επαφή με μάρμαρα, Ξάνθη, (h) Πράσινοι ανδραδίτης και ασβεσίτης από την Ξάνθη · (i) κίτρινος ανδραδίτης εντός αμφιβολίτη, Κιμμέρια, (j) Πανοραμική άποψη του νήματος, στο νότιο νησί της Κω, (k) πορτοκαλί ανδραδίτης και δίοπτρα από την Κω, (l) κόκκινοκαφετής ανδραδίτης με πράσινο χαλαζία από την Αβέσσαλο, Σέριφος (Πηγή: Voudouris et al. 2019)

Στο νησί της Πάρου (Κυκλάδες) εμφανίζονται βαθυκόκκινοι κρύσταλλοι σπεςσαρτίνη έως και 3 cm οι οποίοι σχετίζονται με περιστατικά skarn που φέρουν στο εσωτερικό τους Mn (Σχ. 9c). Ο σπεςσαρτίνης στα Θάψανα περιέχει έως και 34,4 κ.β. % MnO και σχετίζεται με ροδονίτη και οξειδία Mn. Ο γρανάτης (ερυθρός πολύτιμος λίθος) είναι επίσης ένα σημαντικό συστατικό και συναντάται σε διάφορες ποικιλίες στην περιοχή της Μαρώνειας, στα Κιμμέρια, Κρέστη, Κω και στη Σέριφο. Το skarn στην Μαρώνεια (Σχ. 9d) περιλαμβάνει στο εσωτερικό του ανδραδίτη-γροσσουλάριο με εμφανίσεις Ti-Cr (περιέχει έως και 4,6 κ.β. % TiO₂) σκούρου πράσινου χρώματος πάνω από 1 εκ. πάχος, ενώ εμφανίσεις κοκκώδους Ανδραδίτη με ανοιχτό πράσινο, καφέ έως πορτοκαλί χρώμα φτάνουν σε μεγέθη έως 5 εκ. (Σχ. 9e, f). Στα Κιμμέρια ένα μεγάλο φάσμα χρωμάτων σε γρανάτες ανδραδίτη-γροσσουλάριου εμφανίζεται με σκούρο πράσινο (χαρακτηρίζονται από αυξημένα περιεχόμενα Ti), καφέ, κίτρινο-πορτοκαλί (περιέχει έως 1,15 κ.β. % MnO), χρώμα έως 3 εκ. (Σχ. 9g – i).

Στην Κρέστη Δράμας υπάρχει ανδραδίτης-γροσσουλάριος πλούσιος σε Mn με έως 3,6% κ.β. MnO και χρώμα κόκκινο-καφέ ενώ στην Κω συναντάμε εμφάνιση του με έως 1,1% κ.β. MnO και 1% κ.β. TiO₂ όπου φτάνουν σε θεαματικά μεγέθη έως 20 cm (Σχ. 9j, k). Οι ανδραδίτες στην Σέριφο είναι διάσημοι λόγω της ζωνικής τους ανάπτυξης με χρώματα που κυμαίνονται από βαθύ καφέ έως πορτοκαλί. Οι περιοχές της Αγίας Μαρίνας και της Αβέσαλου στη Σέριφο χαρακτηρίζονται από υπέροχα φαινόμενα ανδραδίτη χρώματος ερυθροκαφέ, τοπικά διαφανείς και γρανάτες σε ογκώδη γρανιτικά νήματα (Σχ. 9l). Οι γρανάτες έως 5 cm σε μέγεθος συνοδεύουν τον χαλαζία και τον αιματίτη. Τόσο οι γάββροι στον Έβρο, την Εύβοια, τη Λάρισα όσο και οι μεσοζωικοί οφειόλιθοι φιλοξενούν κρυστάλλους γροσσουλάριου, βεζουβιανίτη και διοψίδια με πορτοκαλί έως καφέ χρώμα μήκους έως 2 cm.



Σχήμα 5: Εμφανίσεις πολύτιμων λίθων σε μεταμορφικά και πυριγενή πετρώματα της Ελλάδας: 1. Δίκαια / Έβρος, 2. Κορνοφωλιά / Έβρος, 3. Αιτωχώρι / Έβρος 4 Σάπες/ Ροδόπη , 5. Κιμμέρια/ Ξάνθη 6. Δασωτό 7. Κρέστη 8. Τρίκορφο/ Θάσος, 9 Στρατώνι- Ολυμπιάδα/ Χαλκηδική, 10. Σαμοθράκη, 11. Μούδρος/ Λήμνος, 12. Μεγάλα Θέρμα / Λέσβος, 13. Γέρας / Λέσβος, 14.Κόσκινα / Εύβοια, 15. Αττική, 16. Αμπελός / Σάμος, 17. Αβέσαλος / Σέριφος, 18 Ταΰγετος ,. 19. Βάνη/Μήλος, 20.Ιος, 21. Ρόδος, 22. Κρήτη, 23. Αγία Πελαγία/ Κρήτη (Πηγή: Voudouris et al. 2019).

3.6. Χαλαζίας

Ο χαλαζίας εμφανίζεται σε μια τεράστια ποικιλία μορφών και χρωμάτων από φλέβες αλπικού τύπου, κοιλότητες από γρανίτη, κοιλότητες ή φλέβες χαλαζία, εναποθέσεις αντικατάστασης ανθρακικού άλατος και επιθερμικά περιβάλλοντα που φιλοξενούνται από ηφαιστειακά. Διάσημες τοποθεσίες χαλαζία αλπικού τύπου με πολύτιμους λίθους συναντάμε στις περιοχές Αττικής και Δράμας, καθώς και Εύβοια, Ίο, Θάσο και Νησιά Κρήτης (Σχ. 3 και 10a– c). Τα κρύσταλλα φτάνουν σε μεγέθη έως 40 cm. Ο καπνίας χαλαζίας, ο μαύρος χαλαζίας (morion), ο αμέθυστος, ο χλωριωμένος χαλαζίας και ο πλούσιος σε ρουτήλια χαλαζίας είναι μεταξύ των ποικιλιών που βρίσκονται σε όλη την Ελλάδα.

Στην Σαμοθράκη ποσότητες κρυστάλλου χαλαζία έως 50 cm, με μαύρο, σκούρο καστανό χρώμα βρίσκονται να πλαισιώνονται από εμφανίσεις γρανατών (Σχ. 10d). Πολλές φορές ο χαλαζίας είναι ακόμα και άχρωμος έως 10 cm και εμφανίζονται επίσης σε εγκάρσιες γρανιτοειδείς φλέβες στην Σαμοθράκη, τα Κιμμέρια, την Μαρώνεια / Ροδόπη και την Τήνο.

Στη Σέριφο, στα Κιμμέρια της Ξάνθη και στην Κρέστη Δράμας παρατηρούμε εμφανίσεις χαλαζία πολύ έντονα. Συγκεκριμένα στην Σέριφο βρέθηκαν συνδυασμοί αμέθυστου και πράσινου χαλαζία (prase) που σχηματίζουν εικόνες σκήπτρων και χαρακτηρίζονται μοναδικά δείγματα παγκοσμίως. Οι κρύσταλλοι χαλαζία πράσινου χρώματος έχουν δημιουργηθεί λόγω εγκλεισμάτων ακτινολίτη που εμπεριέχονται στον χαλαζία, αναπτύσσονται επίσης μέσα σε βολλαστονίτη, τόσο στα Κιμμέρια όσο και στην Κρέστη.

Η περιοχή Αβέσσαλος στο νησί της Σερύφου είναι ένας από τους καλύτερους ιστότοπους στον κόσμο που μπορούμε να συναντήσουμε τον πράσινο χαλαζία (πράσινο). Η περιοχή χαρακτηρίζεται από γρανιτικά και χαιδελβέργικα skarn και από την ανάπτυξη τεράστιων γεωδών. Στην τοποθεσία Νερούτσικα του Αβέσσαλου, εμφανίζονται δύο μορφές πράσιου (Σχ. 10ε, στ):

- 1) Η πρώτη ποικιλία αναφέρεται σε πολύ βαθύς πράσινους κρυστάλλους που συνοδεύονται από αιματίτη τριαντάφυλλα.
- 2) Η δεύτερη ποικιλία αναφέρεται σε διπλούς χρωματιστούς κρυστάλλους πράσιου-αμέθυστου.

Η μετάβαση μεταξύ αυτών των δύο κρυστάλλων είναι απότομη εντός του ίδιου κρυστάλλου, όπου παρατηρείται χαλαζίας πράσινου χρώματος στη βάση και αμέθυστος στην κορυφή του κρυστάλλου. Οι αμέθυστοι είναι ποικιλία χαλαζία διαφανείς έως ιώδης και υψηλής ποιότητας που θα αναφερθούν αναλυτικά παρακάτω. Στο νότιο τμήμα της Αβέσσαλου, σπάνιοι συνδυασμοί κρυστάλλων σε σχήμα σκήπτρου περιέχουν τόσο πράσινο χαλαζία όσο και αμέθυστο. Συνήθως αυτοί οι κρύσταλλοι περιλαμβάνουν ένα τμήμα πράσινου χαλαζία που εξελίσσεται προς τα πάνω σε αμέθυστο και περαιτέρω πάλι προς τα πάνω σε πράσινο χαλαζία. Αυτές οι εναλλαγές μπορούν να παρατηρηθούν ακόμη και σε ένα μόνο κρύσταλλο. Χαλαζία μεγάλης ποιότητας σε κρύσταλλα έως 60 cm εμφανίζεται επίσης στις εναποθέσεις ανθρακικού άλατος στην περιοχή της Χαλκηδικής.

Οι κύριοι Μέλφος και Βουδούρης πρότειναν ότι ο καπνίας χαλαζίας και ο αμέθυστος στο Δασσωτό σχηματίστηκαν υπό διαφορετικές συνθήκες λόγω της ανάμειξης ανθρακικών μεταμορφικών υγρών με μετεωρικά νερά κατά τη διάρκεια της εκταφής του πυρήνα της Ροδόπης.

3.7 Αμέθυστος

Ο αμέθυστος είναι μια ποικιλία χαλαζία που χρησιμοποιείται συχνά σε κοσμήματα και εμφανίζεται σε διάφορες αποχρώσεις των βιολετί χρωμάτων (Lieber, 1994). Το όνομά του προέρχεται από τις αρχαίες ελληνικές λέξεις "α" (όχι) και "methustos" (μεθυσμένος), μια αναφορά στην πεποίθηση ότι η πέτρα προστάτευε τον ιδιοκτήτη της από το μεθύσι. Τα χρώματα του αμέθυστου κυμαίνονται από ανοιχτό ροζ έως σκούρο μωβ / μπλε και οφείλονται σε ακτινοβολία, ακαθαρσίες σιδήρου και την παρουσία ιχνοστοιχείων, που οδηγούν σε σύνθετες αντικαταστάσεις κρυσταλλικού πλέγματος. Ο αμέθυστος χρησιμοποιήθηκε αρχικά ως πολύτιμος λίθος από τους αρχαίους Αιγύπτιους, αργότερα όμως οι αρχαίοι Έλληνες και οι Ρωμαίοι φορούσαν τον αμέθυστο ως κόσμημα ή έφτιαχναν δοχεία από αυτόν, πιστεύοντας ότι θα τους εμπόδιζε από τοξικότητα. Αντίθετα, οι μεσαιωνικοί Ευρωπαίοι στρατιώτες φορούσαν φυλακτά από αμέθυστο ως γούρι για την προστασία τους στη μάχη πιστεύοντας ότι οι αμέθυστοι θεραπεύουν τους ανθρώπους και τους κρατούν φρέσκους. Σήμερα, οι αμέθυστοι χρησιμοποιούνται πολύ συχνά σε κοσμήματα, παρά τη σχετικά χαμηλή τιμή του, η οποία προέκυψε ως αποτέλεσμα της ανακάλυψης τεράστιων καταθέσεων αμέθυστου, κυρίως στη Νότια Αμερική (Βραζιλία) και αλλού.

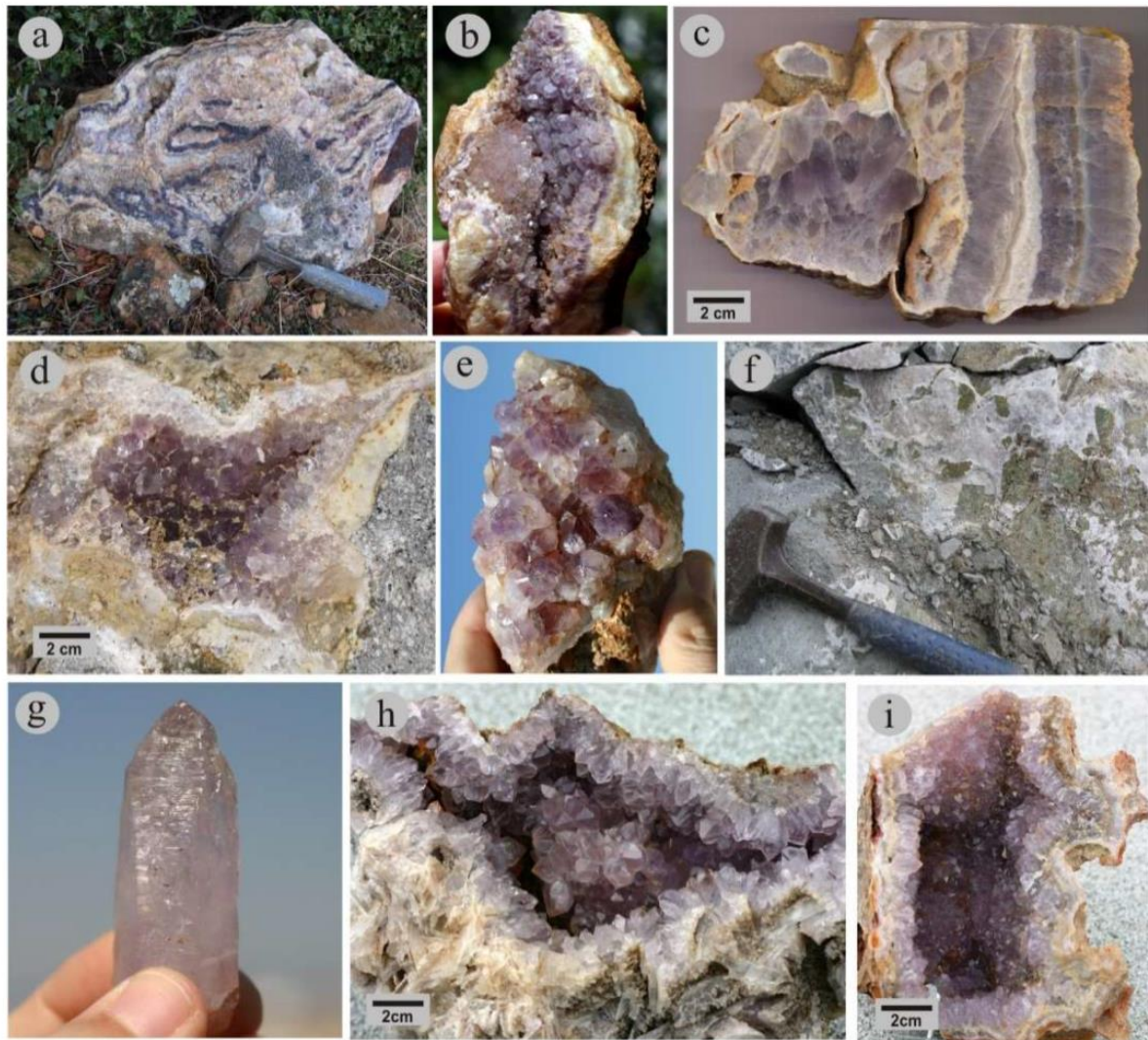


Σχήμα 10: Δείγματα που απεικονίζουν πολύτιμους λίθους από κρύσταλλους χαλαζία της Ελλάδας: (a,b) καπνίας χαλαζίας και αμέθυστος από το Δασσωτό Δράμας (c) καπνίας χαλαζίας από Εύβοια, (d) Καφέ- Μαύρος χαλαζίας από το νησί της Σαμοθράκης (e) πράσινοι χαλαζία από την Αβέσσαλο, τη Σέριφο, (f) αμέθυστος σε πράσινο χαλαζία από την Αβέσσαλο της Σερίφου, (g) αμέθυστος σε βαρύτη από το Χονδρό βουνό, Μήλος (h) αμέθυστος από την Κορνοφωλία, περιοχή Έβρου. Οι φωτογραφίες δε, f είναι ευγενική προσφορά του Berthold Ottens (Πηγή: Voudouris et al., 2019)

Η Βραζιλία είναι ο κύριος παραγωγός αμέθυστου σήμερα, μετρώντας περισσότερες από δέκα πολύ σημαντικές καταθέσεις. Ο αμέθυστος βρίσκεται επίσης σε πολλές άλλες μικρές περιοχές παγκοσμίως, που σχετίζονται κυρίως με ηφαιστειακά πετρώματα. Ο αμέθυστος σχηματίζεται σε πυριγενείς, μεταμορφικά και ιζηματογενή πετρώματα, καθώς και σε υδροθερμικές φλέβες, μετασωματικές και θερμές πηγές. Οι καλοσχηματισμένοι κρύσταλλοι πλαισιώνονται από διάφορα πυριγενή πετρώματα, όπως γρανίτες, γνεύσιους ή ηφαιστειακά πετρώματα, κυρίως λάβα. Στα μεταμορφικά πετρώματα και συγκεκριμένα στις λεγόμενες ρωγμές αλπικού τύπου ο αμέθυστος είναι ένα αρκετά κοινό ορυκτό.

Η Ελλάδα περιλαμβάνει αρκετές περιοχές με σημαντικές αλλά και μικρές εμφανίσεις καταθέσεων αμέθυστου (Voudouris & Katerinopoulos, 2004, Voudouris et al., 2004, Melfos, 2005, Maneta & Voudouris, 2010). Αυτές οι εναποθέσεις συνδέονται με skarn, ηφαιστειακά πετρώματα και μεταμορφικά περιβάλλοντα διαφόρων ηλικιών αλλά και με ηφαιστειακά επιθηλιακά περιβάλλοντα της Ελλάδας που σχετίζονται με την τεκτονική εκταφή των ορεινών όγκων Ροδόπης και Αττικοκυκλαδικής. Ορισμένες περιοχές που συναντάμε αμέθυστο είναι Σάπες, Κίρκη, Κορνοφωλιά στην Βόρεια Ελλάδα αλλά και στα νησιά Λέσβος και Μήλος στο Αιγαίο Πέλαγος. Προτείνεται ότι ο αμέθυστος απαιτεί οξειδωτικές συνθήκες για να αποκτήσει το χρώμα του, και αυτό μπορεί να προκύψει είτε με ανάμιξη οξειδωμένων μετεωρικών ή θαλασσινών υδάτων με ανορθωτικά υδροθερμικά υγρά ή διεργασίες βρασμού (Fournier, 1985). Οι ηφαιστειογενείς αμέθυστοι στην Ελλάδα είναι ποιότητας πολύτιμων λίθων.

Τα ηφαιστειακά αυτά πετρώματα αποτελούνται από ασβεσταλκαλικές-σοσονιτικές λάβες και πυροκλαστίτες όξινης έως ενδιάμεσης σύστασης. Οι φλέβες αμέθυστου συνοδεύονται από υδροθερμικές εξαλλοιώσεις διαφόρων τύπων όπως σερικιτική, αργιλική, προπυλιτική, ζεολιθική και καλιούχας σύστασης. Η κρυστάλλωση των αμέθυστων πραγματοποιήθηκε κατά τα τελευταία στάδια της μαγματικής-υδροθερμικής δραστηριότητας, από ουδέτερα έως αλκαλικά ρευστά, όπως υποδεικνύουν τα συνοδά ορυκτά που περιλαμβάνουν ασβεστίτη, σμεκτίτη, σερικίτη, χλωρίτη, σιδηροπυρίτη, ζεόλιθο και πιο σπάνια βαρίτη, αλίτη, επίδοτο και φθορίτη. Συνήθεις μορφές εμφάνισης του αμέθυστου περιλαμβάνουν ζωνώδεις δομές σε εναλλαγές με χαλκηδόνιο ή ανθρακικά ορυκτά.



Σχήμα 11. Φωτογραφίες με δείγματα από ηφαιστειακό αμέθυστο στην Ελλάδα. (α) Ογκόλιθος από σκούρο βιολετί αμέθυστο που εναλλάσσεται με χαλκηδόνιο από την περιοχή Κασσιτερές (β) Αμέθυστος από την περιοχή Κασσιτερές. (γ) Εναλλαγές αμέθυστου με χαλκηδόνιο από το Silver Hills, Σάπες (δ) Αμέθυστος σε χαλκηδόνιο μέσα σε κοιλότητα δακίτη, Κορνοφωλιά (ε) Αμέθυστοι από την περιοχή Κορνοφωλιά. (φ) Φλέβες από αμέθυστο και ασβεστίτη διασταυρούμενοι με ζεόλιθο στην Κίρκη (γ) Πρισματικός αμέθυστος από τα Μέγαρα Θέρμα, Λέσβος. (η) Αμέθυστοι που σχετίζονται με βαρύτη από το Χονδρό Βουνό, Μήλος. (ι) Σύντομοι πρισματικοί κρύσταλλοι αμέθυστου από τις Καλόγριες, Μήλος (Πηγή: Voudouris et al., 2019)

Μελέτες ρευστών εγκλεισμάτων και ορυκτολογικών παραγενέσεων, υποδεικνύουν θερμοκρασίες σχηματισμού μεταξύ 174-246°C (Σάπες), 100-175°C (Κίρκη-Κορνοφωλιά) και 223-234°C (Λέσβος), κάτω από οξειδωτικές συνθήκες. Παρατηρείται μίξη μετεωρικού ή θαλασσινού νερού (όπως υποδηλώνει η παρουσία αλίτη και βαρύτη) με ανερχόμενα υδροθερμικά ρευστά. Μια λεπτομερής ορυκτολογική και ορυκτοχημική

μελέτη του υλικού που φέρει αμέθυστο αποκάλυψε διάφορους ορυκτολογικούς συνδυασμούς που υποδηλώνουν συγκεκριμένες συνθήκες κρυστάλλωσης. Σε όλες τις εμφανίσεις αμέθυστου τα πιο συνήθη ορυκτά είναι ο χαλαζίας και ο χαλκηδόνιος, ενώ υπάρχουν ανθρακικά άλατα, βαρύτη, ζεόλιθου, χλωρίτη, σερικήτη, πυρίτιου και σε μικρές ποσότητες γκαϊτίτη και λεπιδοκροκίτη.

3.7.1 Εμφανίσεις Αμέθυστου με βάση την τοπική Γεωλογία

3.7.1.1 Βορειοανατολική Ελλάδα (Σάπες, Κίρκη, Κορνοφωλιά)

Οι αμέθυστοι, εμφανίζονται σε φλέβες που αναπτύσσονται στην περιφέρεια μεταλλοφοριών πορφυριτικού ή υψηλής θείωσης επιθερμικού τύπου, όπως στις περιοχές Κίρκη, Σάπες, Κορνοφωλιά και Λέσβο. Η παρουσία αμέθυστου στην περιοχή Σάπες έχει ήδη περιγραφεί από τον κ. Βουδούρη (1993). Τα πετρώματα ξενιστές είναι υδροθερμική μεταβαλλόμενη λάβα και πυροκλαστικά του ηφαιστείου Σάπες (Εικ. 11a, b). Ο αμέθυστος εμφανίζεται μέσα σε φλοιό επιθερμικού χαλαζία και χαλκηδονίου που διασταυρώνουν κυρίως ηφαιστειακά πετρώματα που έχουν μετατραπεί σε Σερικήτη και Καλιούχο Άστριο (Εικ. 11a). Ο αμέθυστος στο σχηματισμό «Silver Hill», σχηματίζει μαζικές βαθιές βιολετί φλέβες αμέθυστου και επίσης ιδιόμορφα πρισματικά κρύσταλλα (έως 3 εκατοστά σε μήκος), όπου μερικές φορές αναπτύχθηκε στο πάνω μέρος του αμέθυστου ένα κομμάτι καπνία χαλαζία.

Στην περιοχή Κίρκη και Κορνοφωλιά, τα πετρώματα-ξενιστές των φλεβών που φέρουν χαλκηδόνιο-αμέθυστο είναι αμετάβλητες λαβές δακτιτικής σύνθεσης ηλικίας Ολιγοκαίνου (Εικ. 11b). Οι φλέβες σχετίζονται με ζώνες ρηγμάτων με τάση ΒΒΔ που διασχίζουν το πέτρωμα του δακίτη. Οι ανοιχτοί χώροι μέσα στις φλέβες γεμίζουν με έως και 1 εκατοστά κρυστάλλους αμέθυστου ή χαλαζία. Οι ζεόλιθοι προηγούνται, ενώ ο ασβεστίτης χρονολογεί την απόθεση του αμέθυστου. Στην Κορνοφωλιά, οι χαλαζιακές φλέβες είναι ενωμένες με ένα εξωτερικό στρώμα χαλκηδονίου και εσωτερικούς ανοιχτούς χώρους γεμάτους από ιδιόμορφους πρισματικούς κρυστάλλους αμέθυστου. Σε ορισμένες φλέβες λείπει ο αμέθυστος και τα κενά γεμίζουν από βοτρυοειδή ή σταλακτιτικό χαλκηδόνιο με ανοιχτό ροζ χρώμα.

3.7.1.2 Λέσβος

Στα Μεγάλα Θέρμα ο αμέθυστος είναι πρισματικός, μήκους έως 10 εκ. και εμφανίζεται σε μορφή σκήπτρου και ανάπτυξη παραθύρου. Παρατηρείται πως μοιράζεται ομοιότητες με τα περιστατικά αμέθυστου του Μεξικού και της Σαρδηνίας και σχετίζεται με Β-τάσεις επιθερμικών φλεβών χαλαζία και με ζώνες ρηγμάτων που διασταυρώνουν προπυλιτικές ή σερικιτικές αλλοιώσεις στην λάβα στο βόρειο τμήμα του νησιού. Οι φλέβες είναι ενωμένες και αποτελούνται από χαλαζία, άνθρακα και φθορίτη με ελάχιστες εμφανίσεις χλωρίτη ή σερικήτη. Οι ιδιόμορφοι κρύσταλλοι αμέθυστου μήκους έως 10cm εμφανίζονται κυρίως στα κέντρα των φλεβών. Οι εμφανίσεις αμέθυστου μορφής σκήπτρου και παράθυρου είναι συχνές (εμφάνιση τύπου Muzo) μοιάζει με αμέθυστους από το Μεξικό (Voudouris & Katerinopoulos, 2004, Maneta & Voudouris, 2010)

3.7.1.3 Μήλος

Στο νησί της Μήλου, ο αμέθυστος βρίσκεται σε δύο περιοχές, συγκεκριμένα στο βουνό Χονδρό και στην περιοχή Καλόγριες. Και στις δύο περιοχές ο αμέθυστος εμφανίζεται εντός των ενωμένων φλεβών βαρύτη-χαλαζία-χαλκηδονίου και σχετίζεται με σερίτικη και αδουλαίο εντός ρυολιθικής, πυροκλαστικής λάβας (Χονδρό Βουνό) και προπυλιτικής λάβας δακιτικής σύνθεσης (Καλόγριες). Οι φλέβες εμφανίζουν τυπικά επιθερμικά χαρακτηριστικά και φτάνουν πάχος έως 2 m και μήκος αρκετών δεκάδων μέτρων. Ομοίως με τις περιοχές Κίρκη και Κορνοφωλιά, ο χαλκηδονικός χαλαζίας εναποτίθεται πρώτα στις φλέβες και ακολουθεί ο σχηματισμός κρυστάλλων αμέθυστου στα κέντρα των φλεβών (Εικ. 11h, i). Ο αμέθυστος στην περιοχή Καλόγριες είναι κατάφυτος από αργό βολτριοειδή αραγωνίτη. Ακτινικά συσσωματώματα λεπιδοκροκίτη εντοπίζονται στον αμέθυστο με διάφορα χρώματα που κυμαίνονται από ανοιχτό ροζ έως σκούρο μοβ. Προτείνεται ότι ο αμέθυστος στην περιοχή Καλόγριες σχηματίζεται σε, (ή ακριβώς κάτω) από τη στάθμη του θαλάσσιου πυθμένα, σε βάθος νερού που δεν υπερβαίνει τα 100 m.



Σχήμα 12: Φωτογραφίες και δείγματα από ηφαιστειακό αμέθυστο στην Ελλάδα. (a) εναλλαγές σκούρου βιολετί αμέθυστου με χαλκηδόνιο από Σάπες (b) φλέβες από αμέθυστο και ασβεστίτη διασταυρούμενα σε προπυλιτικές λαβές στην Κίρκη (c) Αμέθυστος σε χαλκηδόνιο μέσα σε κοιλότητα δακίτη, περιοχή Κορνοφωλιά (οπτικό πεδίο 10cm) (d) αμέθυστοι και ασβεστίτης σε μια κοιλότητα προπυλιτικών λαβών Ανδεσίτη, στη Λέσβο (η φωτογραφία προέρχεται από τους κυρίους Βουδούρη και Κατερινόπουλο, 2004) (e, f) Πρισματικοί αμέθυστοι μορφής σκήπτρου από τη Λέσβο · (g) Σύντομοι πρισματικοί κρύσταλλοι βιολετί αμέθυστου από τη Μήλο (οπτικό πεδίο 10 εκατοστά) (Πηγή: Voudouris et al., 2019)

3.8. Χαλκηδόνιος- Lapis Lazuli, και Αχάτης

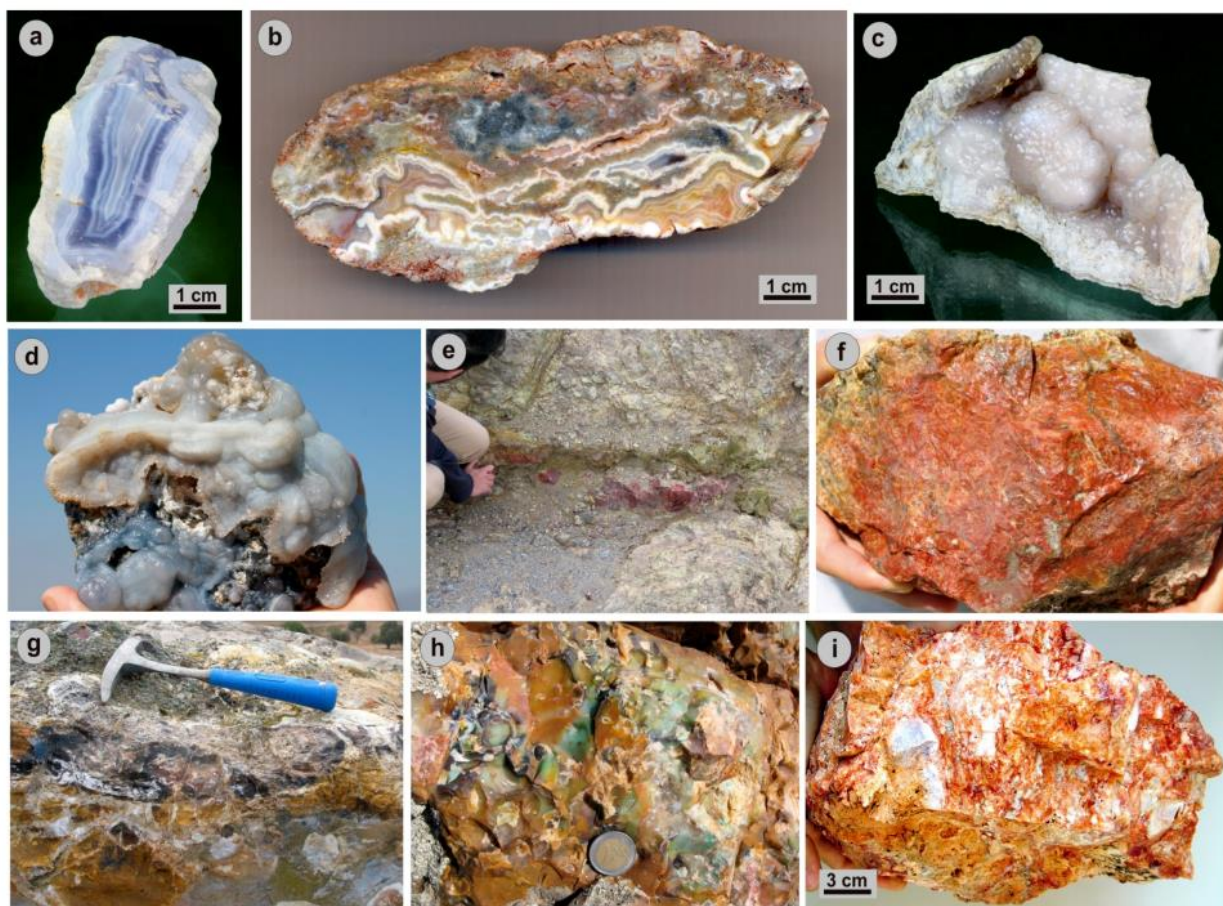
Ο γαλάζιος αχάτης ή αλλιώς χαλκηδόνιος εμφανίζεται σε φλέβες δακτιτικής λάβας ή σε χαλαρά θραύσματα στο Αϊτοχώρι, στην περιοχή Έβρου (Εικόνα 13α). Επίσης στον Έβρο και στην Λήμνο εμφανίζεται αχάτης με διάφορα χρώματα σε ηφαιστειακά περιβάλλοντα (Σχήμα 13b) και σχηματίζει τυπικά βοτρυοειδή και σταλακτιτικά συσσωματώματα έως 10 cm, που ποικίλλουν στο χρώμα από ανοιχτό έως βαθύ μπλε και ροζ έως μοβ (Εικόνα 13c, d).

Από τους πρώτους πολύτιμους λίθους που εισάχθηκαν στην Ελλάδα στην περιοχή του Αιγαίου κατά την Ύστερη Εποχή του Χαλκού ήταν ένας απαλός μπλε-γκρι χαλκηδόνιος και ένας ημιδιαφανές café au lait Αχάτης από το οποίο βρέθηκαν δείγματα με μορφή κροκάλων στην Ελλάδα ακατέργαστα και λιγότερο όμορφα από το τελικό προϊόν, ενώ άλλες μορφές χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή σφραγίδων που συχνά καλύπτονταν από αμέθυστο, Lapis Lazuli, καρνεόλη και τρεις άλλες ποικιλίες αχάτη.

Το πέτρωμα Lapis Lazuli, είναι το πιο εξωτικό πέτρωμα από τις εισαγόμενες πέτρες. Υπάρχουν μόνο δύο πιστοποιημένα μέρη όπου βρίσκεται αυτό το βαθύ μπλε πυριτικό άλας: κοντά στη λίμνη Βαϊκάλη στην ανατολική Σιβηρία και στο Badakhshan, μια επαρχία του βορειοανατολικού Αφγανιστάν. Η τελευταία περιοχή είναι η πιο πιθανή πηγή για το ορυκτό αυτό από την οποία βρέθηκαν τελικά ελάχιστα κομμάτια στο Αιγαίο. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι υπάρχουν μόνο περίπου δέκα σφραγίδες του Αιγαίου από Lapis Lazuli, οι οποίες πρέπει να ήταν πολύτιμες καθώς οι έξι από αυτές είναι εξοπλισμένες με χρυσές λεπτομέρειες και καλύμματα. Αυτή η προστασία που είχαν από τα καλύμματα, καθώς και η ασυνήθιστα σχήματα της Εγγύς Ανατολής, υποδηλώνουν ότι οι σφραγίδες του Αιγαίου εξαρτιόνταν από την τροφοδοσία χαντρών. Υπάρχει, ωστόσο, ένα κουτί από Lapis Lazuli, που αντιστοιχεί σε πάνω από 75 τελειωμένες και ημιτελείς χάντρες και ένθετα. Αυτό το απόθεμα βρέθηκε σε ένα μερικώς ανασκαμμένο εργαστήριο που ανήκει στο Νέο Παλάτι στη Θήβα, το οποίο καταστράφηκε από πυρκαγιά στο τέλος περίπου 1250 π.Χ. Στο ίδιο εργαστήριο στην Θήβα βρέθηκε επίσης ένα κρεμαστό κόσμημα από διαφανή Αχάτη με σκούρες καφέ φλέβες. Αυτός ο τύπος αχάτη είναι αρκετά σπάνιος και έχει αρκετές ομοιότητες τους με χάντρες από Cambay στη Δυτική Ινδία.

Ένα άλλο είδος αχάτη αποτελούταν από αδιαφανή σκούρη καφέ ή πλούσια μαύρη και άσπρη ζώνη όνυχα. Το εργαστήριο στη Θήβα περιείχε πάνω από 100 κομμάτια αυτού του όνυχα μαζί με πολλά μεγάλα κομμάτια κρυστάλλου και μερικά μικρότερα κομμάτια οψιδιανού και χαλκού που προφανώς είναι τα κομμάτια των εργαλείων χάραξης. Αυτός ο όνυχας ήταν διαθέσιμος σε μεγάλες ποσότητες καθώς τρία ζεύγη σφραγίδων έχουν κοπεί από ένα μόνο κομμάτι όνυχα. Σχεδόν όλες αυτές οι σφραγίδες όνυχα έχουν φακοειδές σχήμα ενώ φαίνεται πιθανό ότι αυτός ο όνυχας είναι τοπικός στο Αιγαίο.

Συνοπτικά φαίνεται λοιπόν, ότι μερικοί Αχάτες και Lapis Lazuli βρήκαν το δρόμο τους προς την Ελλάδα, και κάποιος ελληνικός Όνυχας στην Εγγύς Ανατολή, αλλά κανένας από αυτούς δεν βρέθηκε σε αρκετή ποσότητα για να προτείνει κάτι περισσότερο από το εμπόριο δώρων ή το μικρό εμπόριο. Μόνο η καρνεόλη από το Ιράν μπορεί να έχει μεταφερθεί από το Levant, στο Αιγαίο, ειδικά στην Κρήτη σε επαρκή ποσά για να δικαιολογήσουν τον όρο εισαγωγής. Αλλά αυτό που ήρθε σε αντάλλαγμα μαζί τους όπως και με άλλα εξαγόμενα αγαθά είναι ακόμα άγνωστο (Younger 1979)



Σχήμα 13: Φωτογραφίες δειγμάτων που δείχνουν μικροκρυσταλλικές και άμορφες πυριτικές ποικιλίες πολύτιμων λίθων από την Ελλάδα: (a) μπλε αχάτης από το Αιτωχώρι, Έβρος, (b) αχάτης από τη Λευκίμη Έβρου, (c) Χαλκηδόνιος από Κορνοφωλιά, Έβρος, (d) μπλε χαλκηδόνιος από την Λέσβο, (e) κόκκινη ιάσπης εντός πυροκλαστικού τροποποιημένου σμεκτίτη, Σάπες, Ροδόπη (f) κόκκινη ιάσπης από Σάπες, Ροδόπη (g, h) καφέ και πράσινο ξύλο από οπάλιο από το Μούδρο, Λήμνος, (i) κόκκινος οπάλιος από τους Αγίους Θεόδωρους, Μήλος. Οι εικόνες a,c είναι ευγενική χορηγία του Berthold Ottens (Πηγή: Voudouris et al., 2019)

3.9. Οπάλιος

Το διοξείδιο του πυριτίου είναι μια πολύ κοινή ένωση στον φλοιό της Γης. Η κρυσταλλική δομή του πυριτίου εξαρτάται από τη θερμοκρασία (T) και την πίεση (P) της κρυστάλλωσης, που έχουν ως αποτέλεσμα την ύπαρξη πολλών πολύμορφων πυριτίου. Το πιο άφθονο ορυκτό πυριτίου όπως αναφέρθηκε είναι ο χαλαζίας ωστόσο πολύμορφα χαμηλής T-P κρυστάλλωσης είναι ο χαλκηδόνιος και ο οπάλιος. Ο οπάλιος είναι συνήθως πιο άμορφος και περιέχει στο εσωτερικό του μόρια νερού. Είναι γνωστό πως ορισμένες ποικιλίες του θεωρούνται πολύτιμες και εμφανίζουν ποικίλους χρωματισμούς, οι οποίοι είναι αποτέλεσμα της περίθλασης της τρισδιάστατη δομή που προκύπτει από την κανονική συσκευασία διαχωρισμένων συστοιχιών των σφαιρικών σωματιδίων διοξειδίου του πυριτίου (Sanders, 1964; Steward et al., 2010). Οι οπάλιοι εμφανίζονται σε κοιλότητες ηφαιστειακών ή ιζηματογενών περιβάλλοντων. Στα ηφαιστειακά περιβάλλοντα παρατηρείται ότι σχηματίζονται οπάλιοι σε ανοικτά συστήματα από καταβύθιση διαλυμάτων πλούσιων σε πυρίτιο σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των τελευταίων υδροθερμικών σταδίων των επιθερμικών συστημάτων. Η διαδικασία αυτή συνήθως επηρεάζει τις γύρω λιθολογίες και προκαλεί εκτεταμένες υδροθερμικές αλλοιώσεις που σχηματίζουν νέα ορυκτά στις κοιλότητες των πετρωμάτων (Gaillou et al., 2008). Ο Οπάλιος εμφανίζεται σε διάφορες ποικιλίες και χρώματα (βαθύ κόκκινο, κίτρινο, μαύρο, πορτοκαλί και πράσινο) στη Λέσβο και τη Λήμνο, αποτελώντας συστατικό απολιθωμένου ξύλου, καθώς και σε διάφορες τοποθεσίες στον Έβρο, τη Μήλο, τη Λήμνο και τα νησιά της Λέσβου, όπου θεωρείται ότι είναι κομμάτι ζωνών αλλοίωσης με θερμότητα. Στο νησί της Λήμνου, αρκετοί ορίζοντες Οπάλιου εντός των πυροκλαστικών πετρωμάτων φιλοξενούν οπάλιομένο ξύλο. Σε άλλες περιπτώσεις, ο ορίζοντας Οπάλιου πλαισιώνεται μεταξύ των αργίλικα αλλοιωμένων πετρωμάτων, η πυριτίωση εντός των οριζόντων ποικίλλει από κόκκινο, πράσινο, λευκό έως μαύρο χρώμα, το λευκό χρώμα προκύπτει από την ολική εξάντληση των οξειδίων του σιδήρου (Σχήμα 13g – i).

3.10. Τιτανίτης

Ο τιτανίτης σε μεγάλους κίτρινους κρυστάλλους έως 3 cm, συνοδεύει στρώματα ασβεστοπυριτικού άλατος που φέρουν ζωισίτη εντός αμφιβολιτών του ορεινού όγκου Ροδόπης στον Έβρο. Στη Σύρο πράσινοι κρύσταλλοι τιτανίτη μήκους έως 5 εκατοστών ανήκουν σε σύμπλεγμα εκλογιτών. Τιτανίτης σε κρυστάλλους μελί χρώματος έως 1 εκ, σχετίζεται με ορθόκλαστο και σχολομίτη (γρανάτης) στο νήμα της Μαρόνειας. Τέλος, ο

τιτανίτης με κίτρινο/πράσινο χρώμα σχετίζεται με τον αδουλαίο στις ρωγμές που φιλοξενούνται σε αμβολίτες στη Θάσο (Σχήμα 14c). Όλες οι τοποθεσίες περιλαμβάνουν διαφανές πολύτιμο υλικό.

3.11. Βεζουβιανίτης- Σπινέλιος

Σε skarn στην περιοχή Κίμμερια και στη Μαρώνεια παρατηρείται εμφάνιση μεγάλων όγκων ανοιχτού πράσινου χρώματος βεζουβιανίτη (Σχήμα 14d). Ο Βεζουβιανίτης χρώματος βιολετί σε κρυστάλλους έως 1 εκ. εμφανίζεται σε γάββρους στην Κύμη Εύβοιας. Ο σπινέλιος στη Γοργόνα, Ξάνθη εμφανίζεται είτε ως απομονωμένος κρύσταλλος είτε γύρω από το κορούνδιο. Το χρώμα του σπινέλιου κυμαίνεται από μπλε έως πράσινο και καφέ (Σχήμα 14e). Στην Μαρώνεια εμφανίζονται μπλε-πολύχρωμοι οκταεδρικοί κρύσταλλοι σπινέλιου έως 1 cm σε συνδυασμό με φλογοπίτη και γροσσουλάριο.

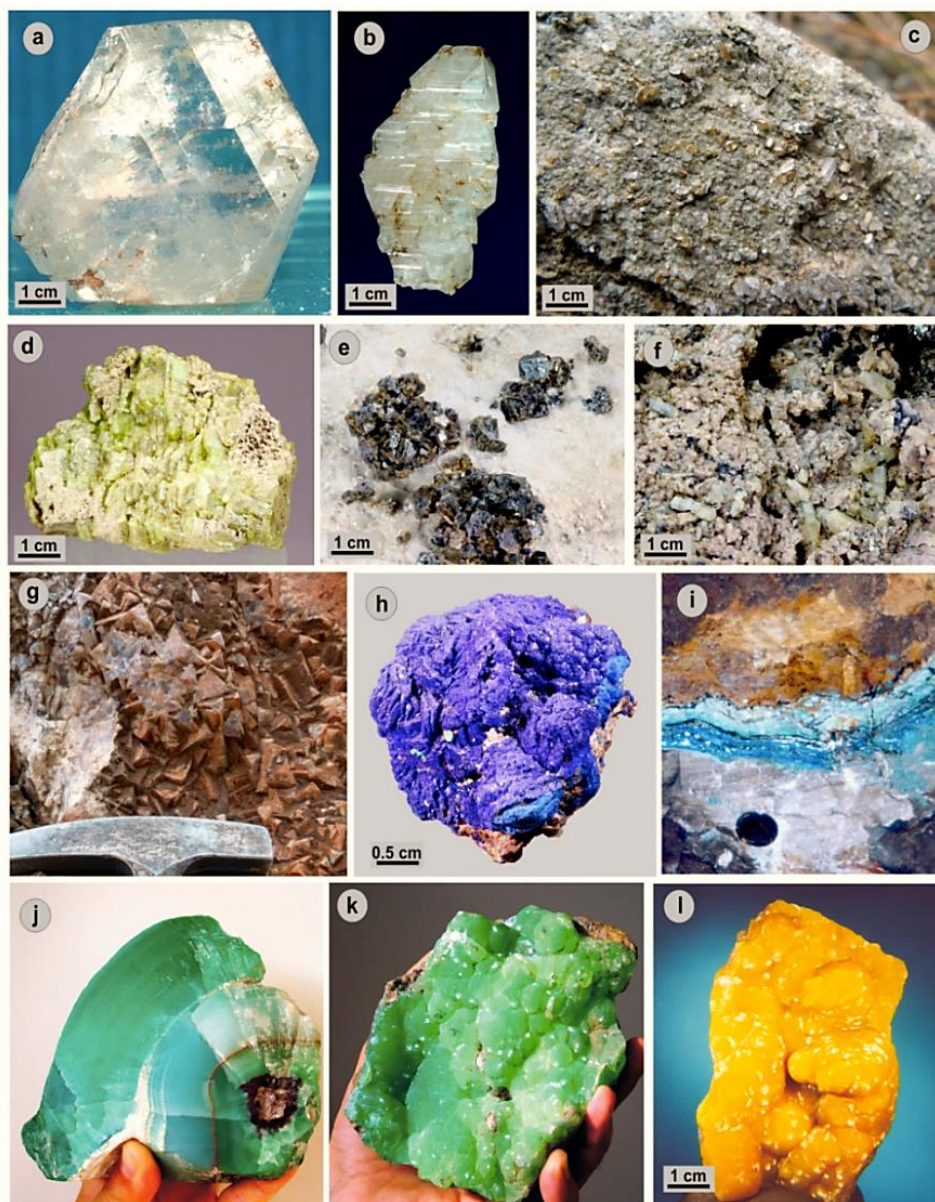
3.12. Τουρμαλίνης

Ο τουρμαλίνης είναι άφθονος σε φλέβες και φακούς χαλαζία στο Τρίκορφο και στη Θυμωνία Θάσου, σε μαύρους κρυστάλλους (schorl) που φτάνουν ως τα 10 cm. Ωστόσο, αυτό το υλικό δεν θεωρείται πολύτιμος λίθος. Παρόμοιοι κρύσταλλοι εμφανίζονται σε πηγματίτες κοντά στο Νευροκόπι Δράμας και στη Νάξο. Ο τουρμαλίνης χρώματος καφέ με νικέλιο στο εσωτερικό του (dravite) συνοδεύει το κορούνδιο στα μάρμαρα στη Γοργόνα της Ξάνθης και περιέχει έως και 4,4 κ.β.% NiO, πολύ υψηλότερο από το περιεχόμενο νικελίου που αναφέρεται στον τουρμαλίνη της Σάμου. Οι κρύσταλλοι είναι γενικά μικροί (έως 1 cm), αλλά είναι τοπικά διαφανείς και ποιότητας πολύτιμων λίθων.

3.13. Απατίτης, Φθορίτης, Αζουρίτης, Τερκουάζ

Στην Λήμνο διαφανής απατίτης σε καλά διαμορφωμένους κρυστάλλους μήκους έως 1 cm συνοδεύει τον φλογόπιτη και το ορθόκλαστο στη καλιούχα ζώνη αλλοίωσης (Σχήμα 14f). Οι εναποθέσεις ανθρακικού άλατος στο Λαύριο και τη Σέριφο είναι γνωστές για μεγάλους κρυστάλλους φθορίτη έως 20 cm με εντυπωσιακά χρώματα που κυμαίνονται από μπλε έως μωβ και πράσινο. Ο φθορίτης σαν πολύτιμος λίθος βρίσκεται επίσης σε ηφαιστειακά πετρώματα στη Σάμο και τη Λέσβο, όπου οι φθοριτικές φλέβες εναλλάσσονται με επιθερμικώς αλλοιωμένες ζώνες πυριτίου και προπυλιτικές αλλοιωμένες λάβες. Οι φλέβες είναι ενωμένες και τα κενά γεμίζουν με βαθύ ιώδες και πράσινο χρώμα κρυστάλλων έως 5 cm αντίστοιχα (Εικόνα 14g). Ο αζουρίτης που σχετίζεται με τον μαλαχίτη είναι ευρέως διαδεδομένος στην εναπόθεση του Λαυρίου σε κρύσταλλα έως 4 εκ. καθώς και σε μεγάλα

ογκώδη αδρανή υλικά κατάλληλα για κοπή cabochon (Σχήμα 14h). Τέλος τirkουάζ σε ποιότητα πολύτιμων λίθων εμφανίζεται στη ζώνη οξείδωσης της κατάθεσης πορφυριτικού χρυσού-χαλκού, στην περιοχή Κιλκίς.



Σχήμα 14: Φωτογραφίες δειγμάτων που δείχνουν περιστατικά / κρύσταλλα διαφόρων πολύτιμων λίθων από την Ελλάδα: (a, b) Αλβίτης από την Εύβοια. (c) Τιτανίτης και χαλαζίας από το Τρίκορφο, Θάσο, (d) εξουβιανίτης από το skarn στην Μαρώνεια (e) Σπινέλιος σε μάρμαρο από τη Γοργόνα της Ξάνθης · (f) Απατίτης και Κ-άστριος από μονζονίτη, Λήμνος (g) Μωβ φθορίτης επικαλυμμένος με οξείδια σιδήρου, Σάμος (h) Κατάθεση αζουρίτη, Λαύριο · (i) Μπλε σμισθονίτης μέσα σε μάρμαρο στη διεπαφή με οξείδια σιδήρου, Λαύριο (j – l) χρωματιστές ποικιλίες σμισθονίτη, Λαύριο. Οι φωτογραφίες 14b, d, e, f, h είναι ευγενική προσφορά του Berthold Ottens (Voudouris et al. 2019)

3.14. Σμισθονίτης

Ο σμισθονίτης του Λαυρίου εμφανίζεται σε πολλές διαφορετικές μορφές και χρωματισμούς (Εικόνα 14i – l). Τα δείγματα έχουν ανοιχτό μπλε ή πράσινο και κίτρινο χρώμα λόγω στερεών διαλυμάτων όσο και ακαθαρσιών άλλων ορυκτών. Οι σμισθονίτες του Λαυρίου υπέστησαν εκμετάλλευση εντατικά τα τελευταία εκατό χρόνια με συνολική παραγωγή περίπου 1,2 Mt. Εμφανίζονται σε κοιλότητες εντός μαρμάρων όπου σχηματίζουν πολύχρωμα βοτρυοειδή ή σταλακτικά συσσωματώματα. Οι μικροαναλύσεις υποδηλώνουν ότι το συνολικό περιεχόμενο δευτερευόντων στοιχείων και ιχνοστοιχείων στον σμισθονίτη είναι σχετικά χαμηλό. Τα προσδιορισμένα στοιχεία είναι Ca, Mg, Fe, Mn, Cu και Cd (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Διακύμανση των ιχνοστοιχείων (κατά βάρος%) επιλεγμένων δειγμάτων σμισθονίτη από το Λαύριο (τροποποιήθηκε από Κατερινόπουλους κ.ά.)

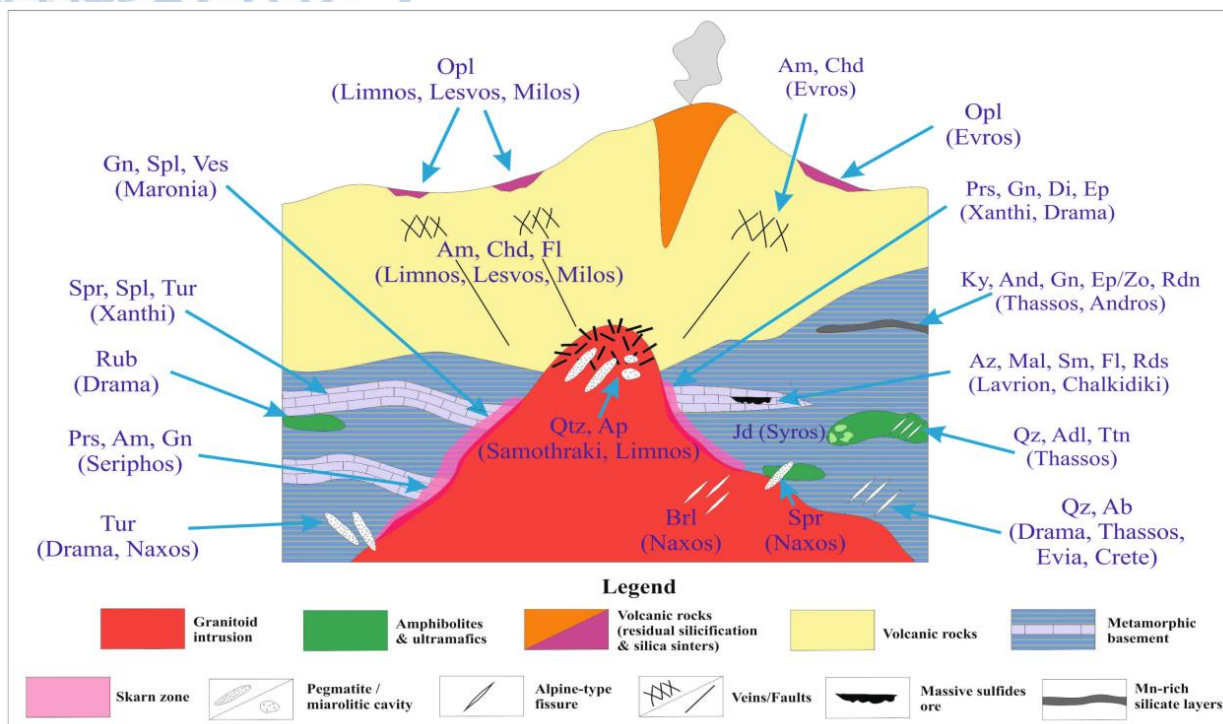
Color	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Cd	Pb	Visible Inclusions
Yellowish white	0.1–1.3	bd	0.2–0.8	0–0.2	bd	bd	0.6–1.6	-
Yellowish grey	1.1–1.8	bd	0.4–0.9	0–0.2	bd	bd	bd	-
Light yellow	0.3–1.5	bd	0.8–1.9	0–0.2	bd	bd	bd	-
Yellowish brown	0.2–1.5	0.3–1.8	0.3–5.8	0.3–0.5	bd	bd	bd	Chalcophanite
Yellowish green	0.8–1.4	bd	0.4	0.3–0.5	bd	0.2	0–0.7	Greenockite
Greenish yellow	0.3	bd	bd	bd	bd	1.1	2.3	Greenockite
Light blue	0.3–1.2	bd	bd	bd	0.3–2.6	0.3–0.7	bd	-
Bluish white	0.6–0.9	bd	bd	bd	1.1–2.8	bd	bd	-
Light green	0.5–0.7	bd	bd	0.3	0.9–3.0	bd	bd	-
Green	0.2–0.5	bd	bd	0.2–0.3	1.3–2.4	bd	bd	-

Δεδομένου ότι το Cd^{2+} είναι άχρωμο, το κίτρινο χρώμα («λίπος γαλοπούλας») ορισμένων σμισθωνιτών αποδείχθηκε ότι σχετίζεται μόνο από την παρουσία εγκλεισμάτων γρηνοκίτη ενός σπάνιου μετάλλου που αποτελείται από σουλφίδιο καδμίου. Πράγματι, υπήρχαν ορισμένα δείγματα που περιέχουν Cd έως 0,7 κ.β.% αλλά κανένα δεν είχε ίδιο χρώμα κίτρινο όπως αυτό του Γρηνοκίτη. Η απουσία ακαθαρσιών πλούσιων σε Cu σε μπλε και πράσινο σμισθονίτη και η σχετικά υψηλή ποσότητα Cu υποδηλώνουν ότι υπάρχει ένα περιορισμένο στερεό διάλυμα μεταξύ ZnCO_3 και του CuCO_3 (βλ. επίσης Boni et al., Frisch et al.). Αυτό είναι σύμφωνο με τα ευρήματα από Samouchos et al. (2015) ο οποίος πρότεινε ότι το μπλε χρώμα στον σμισθονίτη του Λαυρίου οφείλεται στο ότι ο χαλκός αντικαθιστά τον ψευδάργυρο στη δομή. Η υποκατάσταση σιδήρου ψευδαργύρου είναι περιορισμένη και μετατρέπει το χρώμα του σμισθονίτη σε ωχροκίτρινο. Τα πορτοκαλί και καφέ χρώματα σχετίζονται με ακαθαρσίες οξειδίων και υδροξειδίων Mn-Fe-Pb. Ο ρόλος του μαγγανίου

είναι άγνωστος καθώς το περιεχόμενό του είναι πολύ χαμηλό και η επίδραση στο χρώμα είναι αδύναμη.

4. Συζήτηση

Το Σχήμα 15 αντιπροσωπεύει ένα υποθετικό μοντέλο, όπου οι εμφανίσεις πολύτιμων λίθων στην Ελλάδα σχετίζονται με τα διάφορα γεωλογικά περιβάλλοντα (μεταμόρφωση, μετασωμάτωση, φλέβες αλπικού τύπου, πλουτωνικές-ηφαιστειακές διεισδύσεις και πηγματίτες, ζώνες επαφής και ηφαιστειακά πετρώματα). Τα υποθετικά βάθη υπολογίζονται βάσει γεωλογικών κριτηρίων. Ένας εκλογίτης Κρητιδικής ηλικίας (~81,6 3,5 Ma) στην Ανατολική Ροδόπη, επιβεβαιώνει με προηγούμενα δεδομένα ότι πολλαπλά γεγονότα υποβύθισης έλαβαν χώρα μεταξύ ~ 200 και ~ 40 Ma κατά μήκος αυτού του τμήματος του ορίου της νότιας Ευρώπης. Στις Κυκλάδες, μετά από μια αρχική φάση συμπίεσης του αλπικού ορογενούς που σχετίζεται με την εκλογιτική φάση μεταμόρφωσης των πετρωμάτων στα ~ 55–49 Ma, η επακόλουθη εκταφή πετρωμάτων υψηλής P συνοδεύτηκε από μία τοπική μεταμόρφωση που έφτασε σε συνθήκες μερικής τήξης. Η έναρξη της μετα-ορογενετικής εκτατικής παραμόρφωσης στα διάφορα τεκτονικά-μεταμορφικά τερέν σημειώθηκε στα ~ 42 Ma για την Ροδόπη και ~ 35 Ma για τις Κυκλάδες. Αυτά τα πρώιμα συμπιεστικά και μεταγενέστερα συν-ορογενενικά και μετα-ορογενετικά εκτατικά γεγονότα ήταν υπεύθυνα για το σχηματισμό των περισσότερων πολύτιμων λίθων που βρέθηκαν τόσο στα περιφερειακά μεταμορφικά πετρώματα, όσο και σε αλπικές ρωγμές στην Ελλάδα. Για το ρουμπίνι και τον ιαδείτη, ο όρος «Τεκτονικοί πολύτιμοι λίθοι πλάκας» έχει προταθεί από τους Stern et al. (2013). Καθώς γενικά σχηματίζονται ως αποτέλεσμα της υποκατάστασης και της σύγκρουσης τεκτονικών διεργασιών.



Σχήμα 15: Υποθετικό μοντέλο που παρουσιάζει τα διάφορα περιβάλλοντα που σχετίζονται με την κρυστάλλωση πολύτιμων λίθων στην Ελλάδα. Συντομογραφίες: Ab: Αλβίτης, Adl: Αδουλάριος, Am: Αμέθυστος, And: Ανδαλουσίτης, Ap: Απατίτης, Az: Αζουρίτης, Brl: Βύρηλλος, Chd: Χαλκηδόνιος, Di: Διοψίδιος, Epid: Επίδοτο, Fl: Φθορίτης, Gn: Γρανάτης, Jd: Ιαδείτης, Ky: Κυανίτης, Prs: Πράσιος (πράσινος χαλαζίας), Rdn: Ροδονίτης, Rds: Ροδοχρωσίτης, Sm: Σμυσθονίτης, Spr: Ζαφείρη, Spl: Σπινέλιος, Ttn: Τιτανίτης, Tur: Τουρμαλίνη, Ves: Βεζουβιανίτης (Πηγή: Voudouris et al., 2019)

Τα κορούνδια πολύτιμων λίθων στην Ελλάδα καλύπτουν μια ποικιλία γεωλογικών περιβαλλόντων. Η εμφάνιση ρουμπινιού που φιλοξενείται από παργασιτικό σχιστόλιθο στην περιοχή Παρανέστι / Δράμα και τα ζαφείρια ροζ έως μπλε χρώματος που φιλοξενούνται από μάρμαρο στην περιοχή Ξάνθης εμφανίζονται κατά μήκος της ζώνης ράμματος UHP-HP Νέστου και ταξινομούνται ως μεταμορφικές υποδομές σε βασικά-υπερβασικά πετρώματα και μάρμαρα αντίστοιχα. Στο Τρίκορφο που συναντάμε ορυκτά όπως ο κυανίτης, ανδαλουσίτης, γρανάτης και επίδοτο, εντοπίστηκαν μετασωματικές αντιδράσεις κατά τη διάρκεια του εκταφισμού της μονάδας HP που περιέχει τοπικά στρώματα εμπλουτισμένο σε Mn. Οι μετασωματικές αντιδράσεις εμφανίστηκαν αρχικά σε εκτεταμένο περιβάλλον κοντά σε καμπύλη σταθερότητας κυανίτη-ανδαλουσίτη και συνεχίστηκαν μέχρι τις καθαρά εύθραυστες συνθήκες από όλκιμες.

Με βάση τα υπάρχοντα δεδομένα, μπορεί να προταθεί ότι ο σχηματισμός των σχιστόλιθων αλπικού τύπου στην Ελλάδα και η ορυκτολογία τους σχετίζονται στενά με την

εκτατική τεκτονική που συνοδεύει την εκταφή των μεταμορφικών πετρωμάτων. Αυτό ήταν ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την κρυστάλλωση του χαλαζία και του αλβίτη. Η μείωση της πίεσης και της θερμοκρασίας γύρω από τις ρωγμές κατά την εκταφή προκάλεσε υπερκορεσμό στο SiO_2 και καθίζηση χαλαζία και άλλων συστατικών ορυκτών. Η απόρριψη χημικών συστατικών από τα πετρώματα του ξενιστή μετά την αλληλεπίδρασή τους με τα υδροθερμικά υγρά θα μπορούσε επίσης να εξηγήσει τον εμπλουτισμό υγρών και την εναπόθεση ορυκτών αλπικού τύπου στις ρωγμές που μελετήθηκαν. Τα μπλε ζαφείρια που φιλοξενούνται σε μεταβωξίτες από τη νότια Νάξο και την Ικαρία, γεμίζουν ανοιχτούς χώρους και εμφανίζουν μαγματικά στοιχεία που υποδηλώνουν υδροθερμική προέλευση όπου σχηματίστηκαν σε συνθήκες αργοπορημένης έκτασης.

Η ανάπτυξη των μαγνητικών-υδροθερμικών και επιθερμικών συστημάτων κατά τη διάρκεια του Τριτογενούς, σχετίζεται στενά με την κρυστάλλωση μιας μεγάλης ποικιλίας πολύτιμων λίθων. Αρκετοί πολύτιμοι λίθοι που σχετίζονται με την τριτογενή μαγνητική δραστηριότητα αναπτύσσονται εντός και γύρω από τα μαγματικά κέντρα στην Θράκη, Λήμνο, Λέσβο, Σέριφο και Μήλο. Η αρχική ορυκτογένεση σημειώθηκε όταν τα πλουτωνικά σώματα εισέβαλαν στα πετρώματα του υπογείου. Τα εναπομείναντα υγρά, εμπλουτισμένα σε πτητικά, είχαν ως αποτέλεσμα την τοποθέτηση πηγματιτικών σωμάτων και την κρυστάλλωση της βηρύλλου (ακουαμαρίνα) και ζαφειριών στη Νάξο. Μετασωματικές διεργασίες που προκαλούνται από την απελευθέρωση μαγματικών-υδροθερμικών υγρών από τα πετρώματα ξενιστές, οδήγησαν στην απόθεση διαφόρων πολύτιμων λίθων στα σώματα εισβολείς καθώς και στα γύρω πετρώματα.

Η ορυκτογένεση σε skarn ξεκίνησε με την εναπόθεση ανύδρων ορυκτών, μερικά από αυτά πολύτιμης ποιότητας όπως γρανάτες, σπινέλιο, τιτανίτη και διόψιδιο και κατέληξε στην απόθεση πολύτιμων λίθων ποικιλιών χαλαζία, επιδότου και βεζουβιανίτη σε οπισθοδρομικό στάδιο και κάτω από τη μείωση της θερμοκρασίας και μετεωρολογική εισροή νερού. Συγχρόνως, τα μαγικά-υδροθερμικά υγρά που κυκλοφορούν εντός των γρανιτοειδών ήταν υπεύθυνα για την απόθεση του χαλαζία εντός των κοιλοτήτων και εντός των φλεβών χαλαζία που σχετίζονται με άστριο, και απατίτη.

Αργότερα, τα συστήματα μετατοπίστηκαν από ένα μαγνητικό-υδροθερμικό στάδιο που κυριαρχούσε σε ένα γεωθερμικό, λόγω της αυξανόμενης εισβολής των μετεωρικών υδάτων. Οι αλλαγές στις φυσικοχημικές συνθήκες των ανερχόμενων γεωθερμικών υγρών ήταν οι κύριοι παράγοντες που ελέγχουν την εναπόθεση ορυκτών των ποικιλιών διοξειδίου του

πυριτίου (χαλαζία, αμέθυστος, χαλκηδόνιου και οπάλιο) σε αυτό το γεωθερμικό-επιθηλιακό περιβάλλον. Οι ορίζοντες στη Θράκη και τη Λήμνο θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν εναπόθεση πυριτίου από αλκαλικά ή ουδέτερα γεωθερμικά υγρά. Ο αμέθυστος, ενδεικτικός των οξειδωτικών συνθηκών, πιθανώς εναποτέθηκε ως αποτέλεσμα της ανάμιξης των ανερχόμενων υδροθερμικών υγρών με μετεωρικό ή θαλασσινό νερό

Τέλος, η υπεργενετική οξείδωση της εναπόθεσης αντικατάστασης ανθρακικού άλατος σε Λαύριο/Αθήνα περιέχει πολύτιμους λίθους σμισθονίτη σε διάφορους χρωματισμούς. Ο σμισθονίτης στη ζώνη οξείδωσης στο Λαύριο, σχηματίστηκε ως αποτέλεσμα της αντιδραστικότητας ανθρακικών ορυκτών με όξινα, πλούσια σε ψευδάργυρο διαλύματα, που προέρχονται από την καταστροφή του σφαλερίτη. Η εξουδετέρωση των όξινων διαλυμάτων βαθιά στα μάρμαρα παράγει αρκετό CO₂ για να κάνει τον σμισθονίτη να βρίσκεται σε σταθερή φάση σε τιμές pH σχεδόν ουδέτερες.

Όλα τα ελληνικά κορούνδια, ειδικά οι έντονες χρωματικές ποικιλίες, είναι κατάλληλα για να δημιουργούν μορφή cabochon (Σχήμα 14). Τα ελληνικά κορούνδια θα πρέπει να εξεταστούν περαιτέρω για την καταλληλότητά τους ως πιθανοί πολύτιμοι λίθοι ωστόσο χαρακτηρίζονται από:

- Μεγάλη ποικιλία χρωμάτων από βαθύ κόκκινο, ροζ, μοβ, μπλε έως άχρωμο
- Κρυστάλλινα μεγέθη έως 5 cm
- Ομοιογένεια των χρωματικών αποχρώσεων
- Διαφάνεια

Ομοίως στο Τρίκορφο κρύσταλλοι κυανίτη, πράσινου ανδαλουσίτη, γρανάτη και κόκκινου ζωϊσίτη-κλινοζωισίτη είναι μεγάλοι (έως αρκετά εκατοστά) και δείχνουν έντονα χρώματα ενώ είναι κατάλληλοι για cabochon.

Ως εκ τούτου, το Τρίκορφο μπορεί να θεωρηθεί ως πολλά υποσχόμενη περιοχή για την εξερεύνηση διαφανών πολύτιμων λίθων. Σύμφωνα με τους Tarantola et al. (2019), το νησί της Θάσου (Ροδόπη, Ελλάδα) μπορεί τώρα να χαρακτηριστεί ως η δεύτερη τοποθεσία παγκοσμίως όπου αναφέρεται ο πλούσιος σε άνθρακα πορτοκαλί κυανίτης. Τέλος, υπάρχουν εξαιρετικές ποικιλίες και σε μορφή cabochon από διοξείδιο του πυριτίου (Σχ. 17). Απαιτείται σημαντική εξερεύνηση και λεπτομερείς μελέτες με σκοπό να καθοριστεί το δυναμικό για την οικονομική εκμετάλλευση των ορυκτών ως εμπορεύσιμα πετράδια.

[illegible]

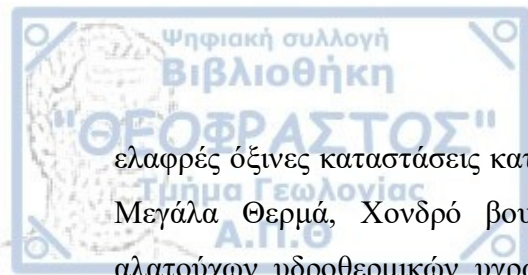
5. Συμπεράσματα

Είναι γνωστό πως στο Ελληνικό ορογενές πολύτιμοι λίθοι απαντώνται σε διάφορους τύπους πετρωμάτων κυρίως τεσσάρων τεκτονομεταμορφικών μονάδων, των ορεινών όγκων Ροδόπης και Αττικοκυκλάδικης, της Πελαγονικής ζώνης και της ενότητας Φυλιτών-Χαλαζιτών της Κρήτης. Σε κρυσταλλικά πετρώματα, διακρίνονται δύο ομάδες πολύτιμων λίθων, αυτές που σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της τοπικής μεταμόρφωσης και εκείνες που σχετίζονται με αλπικού τύπου φλέβες. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει πυριτικά ορυκτά πλούσια σε Mn (Mn-ανδαλουσίτη, σπεςσαρτίνη, Mn-γροσσουλάριο, Mn-κλινοζωισίτη, Mn-ζωισίτη και Fe-Mn-κυανίτη πορτοκαλί χρώμα) που φιλοξενούνται σε ανθρακοφόρους ορθογενείς και παραγενείς τόσο στη Θάσο όσο και στην Πάρο (Ορεινοί όγκοι Ροδόπης και Αττικοκυκλάδικης αντίστοιχα), καθώς και κορούνδια πολύτιμων λίθων στις περιοχές Ξάνθης-Δράμας /Ροδόπη και Νάξο-Ικαρία. Το κορούνδιο στην Ελλάδα καλύπτει μια ποικιλία γεωλογικών περιβαλλόντων που βρίσκονται στις τεκτονικές-μεταμορφικές μονάδες της Ροδόπης (περιοχές Ξάνθης και Δράμας) και Αττικοκυκλάδικής (Νάξο και Ικαρία). Στην περιοχή Ξάνθης-Δράμας, η ορυκτογένεση κορούνδιου (ροζ έως μπλε ζαφείρια και ρουμπίνια) κατανέμεται σε μάρμαρα και εκλογιτικούς αμφιβολίτες προσανατολισμένα παράλληλα με τη ζώνη UHP-HP του Νέστου. Η μελέτη των υγρών εγκλεισμάτων στο κορούνδιο έδειξε ότι κυριαρχούν στο CO₂ με χαμηλή πυκνότητα με πολύ μικρές ποσότητες CH₄ ή N₂, και χωρίς νερό (Voudouris et al. 2018). Τα πλούσια σε CO₂ υγρά είναι πιθανώς μεταμορφικής προέλευσης και προέρχονται από την διάλυση των ανθρακικών σχηματισμών. Τα ελληνικά κορούνδια χαρακτηρίζονται από μεγάλη ποικιλία χρωμάτων, ομοιογένεια των χρωματικών αποχρώσεων και διαφάνεια και θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως δυνητικοί πολύτιμοι λίθοι. Περιλαμβάνονται στα κορούνδια: σπινέλιος και παραγίτης (Παρανέστι), μαργαρίτης, απατίτης, διάσπορο, φλογοπίτης, χλωρίτης (Νάξος), ιλμενίτης, αιματίτης, ρουτίλιο και Ζιρκόν (Ξάνθη-Ικαρία)

Στον ορεινό όγκο της Αττικοκυκλαδικής, μπλε ζαφείρια βρίσκονται σε μεταβωξίτες που φιλοξενούνται από μάρμαρο (Ικαρία και Νάξος) και εμφανίζουν μια μετασωματική προέλευση από την αλληλεπίδραση ρευστού-πετρώματος.

Οι φλέβες αλπικού τύπου στην Ελλάδα περιέχουν χαλαζία ποιότητας πολύτιμων λίθων (πράσινο χαλαζίας, αμέθυστος, καπνιάς και άχρωμος χαλαζίας), αλβίτη και τιτανίτη. Οι λιθολογίες του ξενιστή είναι ορθογενείς-παραγενείς και μεταβασίτες στη Ροδόπη (Δράμα, Θάσο) και Αττικοκυκλάδικη (Όρος Πεντελικόν, Εύβοια, Ίο) και μεταχαλαζίτες (Κρήτη). Μεταμορφικές/μετασωματικές διεργασίες εντός ενός καναλιού υποαγωγής, οδήγησαν στο σχηματισμό σωμάτων ιαδείτη στο νησί της Σύρου και του γρανάτη και του

βεζουβιανίτη σε σώματα ροντινίτη στον ορεινό όγκο της Ροδόπης και στην Πελαγονική ζώνη. Τα τριτογενή μαγνητικά-υδροθερμικά περιβάλλοντα στην Ελλάδα (γρανιτοειδή, πηγματίτες, skarn, εναποθέσεις ανθρακικού άλατος και ηφαιστειακά πετρώματα) μπορεί επίσης να παρέχουν υλικό ποιότητας πολύτιμου λίθου (βύρηλλο, ζαφείρι, γρανάτης, βενζουβιανίτη, διοψίδιο, επίδοτο, φλόριτη, ροδοχρωσίτη, ποικιλίες χαλαζία και μικροκρυσταλλικά είδη πυριτίου). Οι πηγματίτες της Νάξου οδηγούν στην δημιουργία ζαφειρίων μπλε, πράσινου, μοβ έως ροζ χρώματος. Οι Μιαρολιθικές κοιλότητες και οι γρανιτοειδείς φλέβες χαλαζία (Σαμοθράκη, Μαρώνεια και Κιμμέρια) περιέχουν άχρωμο και καπνία χαλαζία ποιότητας πολύτιμου λίθου. Τα ενδο- και εξω- νήματα σε Κιμμέρια, Κρέστη, Μαρώνεια Ροδόπης, Νησί Σερίφου (Αττικοκυκλαδική) και Κω, φιλοξενούν γρανάτες κοκκώδη ανυδρίτη, βεζουβιανίτη, επίδοτο, καθώς και κρυστάλλους χαλαζία και αμέθυστου. Ο ροδοχρωσίτης και ο φθορίτης εμφανίζονται στις εναποθέσεις ανθρακικού άλατος της Χαλκηδικής και Λαυρίου/Αττικής αντίστοιχα. Οι πολύτιμοι λίθοι που συνδέονται με υδροθερμικά ηφαιστειακά πετρώματα περιλαμβάνουν αμέθυστο, χαλκηδόνιο, οπάλιο και φθορίτη στις περιοχές Σάπες, Σουφλί, Λέσβος, Λήμνος και Σάμος (βορειοανατολικό και κεντρικό ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου) και το νησί της Μήλου (Αττικό-Κυκλαδικό ηφαιστειακό τόξο-Νότιο Αιγαίο). Στην Ελλάδα, ο αμέθυστος έχει βρεθεί σε καλοσχηματισμένους κρυστάλλους σε ρωγμές μεταμορφικού πυρήνα, που σχετίζονται με την τεκτονική εκταφή των ορεινών όγκων Ροδόπης και Αττικοκυκλαδικής (Voudouris et al., 2004). Τα ηφαιστειακά πετρώματα που μεταβάλλονται στην Ελλάδα φιλοξενούν φλέβες αμέθυστου σε συνδυασμό με διάφορες ποσότητες αδουλαίο, ασβεστίτη, σμεκτίτη, χλωρίτη, σερικήτη, πυρίτη, ζεόλιθο (κλινοπτινόλιθος), βαρύτη, φθορίτη και λεπιδοκροκίτη στις φλέβες. Εξαιρετικοί κρύσταλλοι αμέθυστου βρίσκονται επίσης στο νήμα της Σερίφου, όπου ο αμέθυστος εμφανίζεται σε μορφή σκήπτρου σε κρυστάλλους πράσινο χαλαζία. Οι ηφαιστειακές αποθέσεις αμέθυστου σχετίζονται γενετικά με την ανάπτυξη επιθερμικών συστημάτων, κατά τη διάρκεια των σταδίων εξασθένησης της ηφαιστειακής δραστηριότητας του Ολιγοκαίνου-Πλειστόκαινου. Σε όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν, ο αμέθυστος εμφανίζεται απομακρυσμένος και πιθανώς σχετίζεται με επιθερμικές φλέβες ενδιάμεσης έως χαμηλής περιεκτικότητας σε θείωση με μια καλά ανεπτυγμένη ζώνη υδροθερμικής αλλοίωσης (Βουδούρης και Κατερινόπουλος, 2004). Ορυκτολογικές και γεωλογικές πληροφορίες δείχνουν ότι η καθίζηση του αμέθυστου πραγματοποιήθηκε κατά τα τελικά στάδια της μαγματικής-υδροθερμικής δραστηριότητας στις περιοχές από σχεδόν ουδέτερα έως αλκαλικά υγρά και στο πεδίο σταθερότητας του αδουλαίου, του ασβεστίτη και του ζεόλιθου. Η παρουσία σερικήτη σε ορισμένες φλέβες αμέθυστου στις Σάπες, υποδηλώνει



ελαφρές όξινες καταστάσεις κατά τον σχηματισμό αμέθυστου. Αμέθυστοι από Κορνοφωλιά, Μεγάλα Θερμά, Χονδρό βουνό και Καλόγριες σχηματίστηκαν με ανάμιξη μετρίως αλατούχων υδροθερμικών υγρών με υγρά χαμηλής αλατότητας σε σχετικά χαμηλότερες θερμοκρασίες, υποδεικνύοντας την παρουσία διαδικασιών αραίωσης. Οι οξειδωτικές συνθήκες που απαιτούνται για τον σχηματισμό αμέθυστου ήταν πιθανώς το αποτέλεσμα της ανάμιξης μεταξύ μετεωρικών ή θαλασσινού νερού με ανορθωτικά υδροθερμικά υγρά. Ο αμέθυστος εμφανίζεται σε φλέβες χαλαζία που διασχίζουν όλες τις παραπάνω ζώνες αλλοίωσης.

6. Βιβλιογραφία

1. Aravani, F., Papadopoulou, L., Melfos, V., Soldatos, T., Zorba, T., & Voudouris, P. (2019). Mineralogical and Fluid Inclusions Study of Epithermal Type Veins Intruding the Volcanic Rocks of the Kornofolia Area, Evros, NE Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 55(1), 202-222.
2. Bersani D., Lottici P., 2010. "Applications of Raman spectroscopy in gemology". *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 397, 2631-2646.
3. Boni, M.; Gilg, H.A.; Aversa, G.; Balassone, G. The "Calamine" of Southwest Sardinia: Geology, Mineralogy, and Stable Isotope Geochemistry of Supergene Zn Mineralization. *Econ. Geol.* 2003, 98, 731–748. [CrossRef]
4. Fournier, R. O. (1985). The behavior of silica in hydrothermal solutions. Review in *Economic Geology*, v., 2, 45-60.
5. Fritsch E., Rondeau B., 2009. "Gemology: The Developing Science of Gems". *Elements*, 5, 147-152.
6. Frisch, P.L.; Lueth, V.W.; Hlava, P.F. The colors of smithsonite: A microchemical investigation. *New Mexico. Geology* 2002, 24, 132–133.
7. Gaillou, E., Delaunay, A., Rondeau, B., Bouhnik-le-Coz, M., Fritsch, E., Cornen, G., & Monnier, C., 2008. The geochemistry of gem opals as evidence of their origin. *Ore Geology Reviews*, 34(1-2), 113-126.
8. Groat, L.A. (Ed.) *Geology of Gem Deposits*; Mineralogical Association of Canada Short Course 37: Quebec City, QC, Canada, 2007; 276p. , Groat, L.A. *Gemstones*. *Am. Sci.* 2012, 100, 128–137.
9. Katerinopoulos, A.; Solomos, Ch.; Voudouris, P. Lavrion smithsonites: A mineralogical and mineral chemical study of their coloration. In *Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge*; Mao, J., Bierlein, F.P., Eds., Springer: Berlin, Germany, 2005; pp. 983–986.
10. Klemme, S., Berndt, J., Mavrogonatos, C., Flemetakis, S., Baziotis, I., Voudouris, P., & Xydous, S. (2018). On the color and genesis of prase (green quartz) and Amethyst from the Island of Serifos, Cyclades, Greece. *Minerals*, 8(11), 487.
11. Koutsovitis, P.; Magganis, A.; Pomonis, P.; Ntaflos, T. Subduction-related rodingites from East Othris, Greece: Mineral reactions and physicochemical conditions of formation. *Lithos* 2013, 172–173, 139–157. [CrossRef]

12. Lieber, W. 1994. Amethyst: Geschichte, Eigenschaften, Fundorte, Christian Weise Verlag, Mün-chen, 188 pp.
13. Maneta V, Voudouris, P. 2010. Quartz megacrysts in Greece: Mineralogy and environment of formation, Bull. Geol. Soc. Greece, XLIII, 685-696.
14. Melfos, V., & Voudouris, P. C. (2012). Geological, mineralogical and geochemical aspects for critical and rare metals in Greece. Minerals, 2(4), 300-317.
15. Melfos, V., 2005. Study of fluid inclusions in amethysts from areas of Macedonia and Thrace: Sa-pes, Soufli, Nevrokopi. 2nd Congress of the Economic Geology
16. Sanders, J. V., 1964. Color of precious opal. Nature, 204(4964), 1151.
17. Stern, R.J.; Tsujimori, T.; Harlow, G.; Groat, L.A. Plate tectonic gemstones. Geology 2013, 41, 723–726. [CrossRef]
18. Stewart, A.M., Chadderton, L. T. & Senior, B.R., 2010. Self-assembly in the growth of precious opal. Journal of Crystal Growth 312, 391–396
19. Samouhos, M.; Zavašnik, J.; Rečnik, A.; Godelitsas, A.; Chatzitheodoridis, E.; Sanakis, Y. Spectroscopic and nanoscale characterization of blue-colored smithsonite (ZnCO₃) from Lavrion historical mines (Greece). Per. Mineral. 2015, 84, 373–388.
20. Tarantola, A.; Voudouris, P.; Eglinger, A.; Scheer, C.; Trebus, K.; Bitte, M.; Rondeau, B.; Mavrogonatos, C.; Graham, I.; Etienne, M.; et al. Metamorphic and Metasomatic Kyanite-Bearing Mineral Assemblages of Thassos Island (Rhodope, Greece). Minerals 2019, 9, 252. [CrossRef]
21. Voudouris, P., Mavrogonatos, C., Graham, I., Giuliani, G., Tarantola, A., Melfos, V. & Magganas, A. (2019). Gemstones of Greece: Geology and Crystallizing Environments. Minerals, 9(8), 461.
22. Voudouris, P., Mavrogonatos, C., Graham, I., Giuliani, G., Melfos, V., Karampelas, S. & Meffre, S. (2019). Gem corundum deposits of Greece: Geology, mineralogy and genesis. Minerals, 9(1), 49.
23. Voudouris, P., Melfos, V., Mavrogonatos, C., Tarantola, A., Götze, J., Alfieris, D. & Psimis, I. (2018). Amethyst occurrences in Tertiary volcanic rocks of Greece: Mineralogical, fluid inclusion and oxygen isotope constraints on their genesis. Minerals, 8(8), 324.
24. Voudouris, P., Psimis, I., Mavrogonatos, C., Kanellopoulos, C., Kati, M., & Chlekou, E. (2013). Amethyst occurrences in Tertiary volcanic rocks of Greece: Mineralogical and genetic implications. Bulletin of the Geological Society of Greece, 47(1), 477-486.

25. Voudouris, P., Graham, I., Mavrogonatos, K., Su, S., Papavasiliou, K., Farmaki, M. V., & Panagiotidis, P. (2016). Mn-andalusite, spessartine, Mn-grossular, piemontite and Mn-zoisite/clinozoisite from Trikorfo, Thassos Island, Greece. Bulletin of the Geological Society of Greece, 50(4), 2068-2078.
26. Voudouris, P., Katerinopoulos, A. 2004. New occurrences of mineral megacrysts in Tertiary mag-matic-hydrothermal and epithermal environments in Greece, Documenta Naturae, 151, 1-21.
27. Voudouris, P., Katerinopoulos, A., Melfos, V. 2004. Alpine-type fissure minerals in Greece, Documenta Naturae 151, 23-45.
28. Voudouris, P. 1993. Mineralogical, geochemical and fluid inclusion studies on epithermal vein type gold-silver mineralizations at Kassiteres/Sapes, (NE- Greece). PhD Thesis, Univ. Hamburg, 218 pp (in German).
29. Younger, J. G. (1979). Semi-precious stones to the Aegean.
30. Γρίβα Ε., 2015. Μελέτη Ημι-Πολύτιμων Λίθων και Κοραλλίων από τη συλλογή του Ι. Δ. Πασσά που φυλάσσεται στο Βυζαντινό και Χριστιανικό Μουσείο, σελ. 218.
31. Μέλφος Β., 2012. Ορυκτά και Πολύτιμοι λίθοι της Ελλάδας. Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Βόλου, σελ. 87. <http://docplayer.gr/5346974-Orykta-kai-polytimoi-lithoi-tis-elladas.html>
32. Μουντράκης, Δ. (2010). Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. University Studio.
33. Χρυσανθάκη Ι., 2008. Γεωλογία. Εκδόσεις Ίων, σελ. 110.

Internet sites:

1. Jewelpedia, Τελευταία τροποποίηση 2018
<http://www.jewelpedia.com/lex154-synthetikes-petres-synthetic-stones>
2. Orykta.gr, Τελευταία τροποποίηση 2019
<https://www.orykta.gr/geologia-oryktologia/geologia-elladas>
3. World of sparkling rocks, Τελευταία τροποποίηση 24 Απρ 2015
<https://sites.google.com/site/worldofsparklingrocks/peri-lithon/epexergasia-lithon>
4. World of sparkling rocks, Τελευταία τροποποίηση 24 Απρ 2015
<https://sites.google.com/site/worldofsparklingrocks/peri-lithon/toxikoi-lithoi>
5. Wikipedia, 2019, Τελευταία τροποποίηση 25 Ιουλίου 2019.
<https://el.wikipedia.org/wiki/Λιθογραφία>