



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ



ΧΡΥΣΤΑΛΛΑ ΧΡΙΣΤΟΥ

**ΤΟΥΡΜΑΛΙΝΗΣ: ΔΟΜΗ, ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ, ΠΟΛΥΤΙΜΕΣ
ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2022





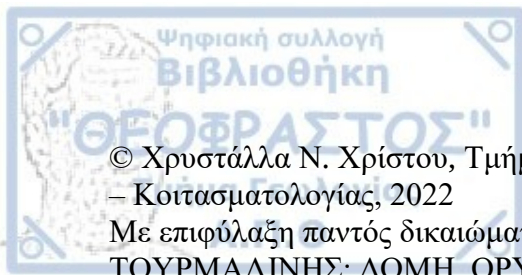
ΧΡΥΣΤΑΛΛΑ ΧΡΙΣΤΟΥ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5498

ΤΟΥΡΜΑΛΙΝΗΣ: ΔΟΜΗ, ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ, ΠΟΛΥΤΙΜΕΣ ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,
Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας

Επιβλέπουσα

Παπαδοπούλου Λαμπρινή, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Α.Π.Θ



© Χρυστάλλα Ν. Χρίστου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΤΟΥΡΜΑΛΙΝΗΣ: ΔΟΜΗ, ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ, ΠΟΛΥΤΙΜΕΣ ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ – *Διπλωματική Εργασία*

©Chrystalla N. Christou, School of Geology, Dept. of Mineralogy - Petrology- Economic Geology, 2022

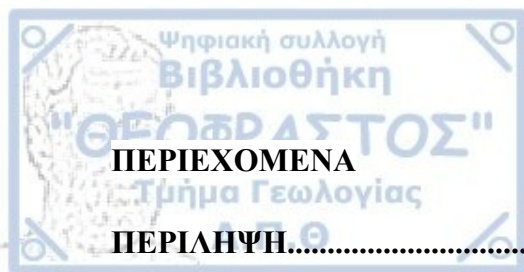
All rights reserved.

TOURMALINE: STRUCTURE, MINERAL CHEMISTRY, PRECIOUS VARIETIES – *Bachelor Thesis*

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

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

Εικόνα εξωφύλλου: Πολύτιμη ποικιλία “watermelon tourmaline” (<https://en.wikipedia.org>).



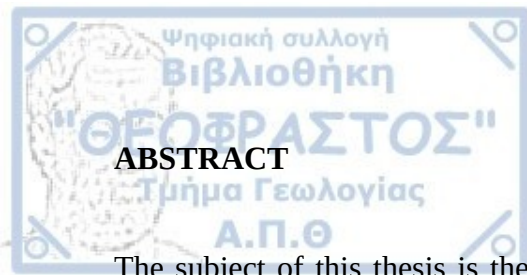
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT.....	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
2. ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΑ	5
3. ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	7
4. ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ	8
5. ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ ΤΟΥΡΜΑΛΙΝΗ	10
5.1. Σορλίτης.....	10
5.2. Δραβίτης.....	11
5.3. Ελβαΐτης.....	12
5.3.1. Ρουβελλίτης:.....	13
5.3.2. Βερντελίτης:	13
5.3.3. Ινδικόλιθος (ή Ινδικολίτης):	14
5.3.4. Αχροΐτης:	15
5.3.5. Watermelon Tourmaline:	16
5.4. Ουβίτης:	17
6. ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΤΟΥΡΜΑΛΙΝΗ	19
6.1. ΠΟΛΥΤΙΜΕΣ ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ	20
7. ΧΡΗΣΕΙΣ.....	24
7.1. ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ-ΠΥΡΟΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΣΤΟΝ ΤΟΥΡΜΑΛΙΝΗ.....	25
8. ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	26
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	28



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η περιγραφή του ορυκτού τουρμαλίνη. Πιο αναλυτικά δίνεται η κρυσταλλογραφική δομή του και η διάταξη των ατόμων του στο κρυσταλλικό πλέγμα. Περιγράφονται οι φυσικές ιδιότητες του τουρμαλίνη και τα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά του, όπως είναι το χρώμα, το σχήμα, η σκληρότητα και η λάμψη. Δίνεται η ορυκτοχημεία του τουρμαλίνη και στη συνέχεια αναλύονται οι ποικιλίες του. Ακολούθως γίνεται αναφορά για τα μικροσκοπικά χαρακτηριστικά του τουρμαλίνη. Περιγράφονται οι πολύτιμες ποικιλίες του τουρμαλίνη και οι χρήσεις τους. Περιγράφεται το φαινόμενο του πυροηλεκτρισμού και του πιεζοηλεκτρισμού, το οποίο αποτελεί χαρακτηριστικό φαινόμενο του τουρμαλίνη. Τέλος, ακολουθούν οι εμφανίσεις του τουρμαλίνη τόσο στην Ελλάδα, όσο και στο εξωτερικό.



ABSTRACT

The subject of this thesis is the description of the mineral tourmaline. The crystallographic structure and the arrangement of atoms in the crystal lattice are given. The physical properties of tourmaline (i.e., the macroscopic characteristics) such as color, shape, hardness and luster are also described. The mineral chemistry of tourmaline is given and its varieties are analyzed. Subsequently, tourmaline microscopic features are mentioned. The precious varieties of tourmaline are described as well as their uses. Moreover, the phenomenon of pyroelectricity and piezoelectricity which are characteristics of tourmaline are described. Finally, this thesis concludes with tourmaline occurrences in Greece as well as abroad.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μελέτη αποτελεί πτυχιακή εργασία που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος προπτυχιακών σπουδών του τμήματος Γεωλογίας, της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Η εργασία επικεντρώνεται στα χαρακτηριστικά του ορυκτού τουρμαλίνη τόσο μακροσκοπικά όσο και μικροσκοπικά. Περιγράφονται οι ποικιλίες, οι χρήσεις και οι εμφανίσεις του τουρμαλίνη στην Ελλάδα και στο Εξωτερικό.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωλογίας, του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας- Κοιτασματολογίας, κα. Λαμπρινή Παπαδοπούλου για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ μαζί της και να ασχοληθώ με τη μελέτη του ορυκτού τουρμαλίνη, καθώς επίσης για τον χρόνο που μου διέθεσε, την υποστηρικτική παρουσία της και καθοδήγησή της κάθε φορά που χρειαζόμουν τη βοήθεια της. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους οι οποίοι με τα ενθαρρυντικά τους λόγια και την ψυχολογική τους υποστήριξη με βοήθησαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο να ξεπερνάω κάθε δυσκολία. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, η οποία πίστεψε στις δυνάμεις μου και στάθηκε αρωγός στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής.

Χρυστάλλα Χρίστου

Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 2022

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το όνομα "τουρμαλίνης" προέρχεται από την λέξη tourmali, το οποίο ήταν το όνομα που δόθηκε σε όλους τους χρωματιστούς κρυστάλλους από το νησί της Σρι Λάνκα. Η ονομασία αυτή υποδήλωνε την αδυναμία των αρχαίων εμπόρων να ξεχωρίσουν τον τουρμαλίνη από τους υπόλοιπους πολύτιμους λίθους, ιδιαίτερα το ζirkόνιο που μετέφεραν οι έμποροι από τη Σρι Λάνκα. Κάποιο διάστημα η ροζ και η κόκκινη ποικιλία τουρμαλίνη θεωρούνταν ότι ήταν ρουμπίνια, καθώς οι ομοιότητές μεταξύ των ορυκτών ήταν μεγάλες, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να γίνει διάκριση μεταξύ τους. Ο τουρμαλίνης ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά από Ολλανδούς εμπόρους στην δυτική ακτή της Ιταλίας στα τέλη του 1600 και αρχές του 1700. Οι Κινέζοι σκάλιζαν φιγούρες σε ροζ τουρμαλίνη για πολλούς αιώνες.

Ο τουρμαλίνης είναι ένα συνηθισμένο, επουσιώδες βοριούχο-πυριτικό ορυκτό, το οποίο συναντάται κυρίως σε γρανίτες, γρανιτικούς πηγματίτες και υδροθερμικές φλέβες. Συχνά εμφανίζεται σε μετασωματικά/μεταμορφικά συστήματα, καθώς και σε ιζήματα ως ορυκτό κλαστικής προέλευσης. Αποτελεί πετρογενετικό δείκτη για τον καθορισμό του γεωλογικού περιβάλλοντος, καθώς και των φυσικοχημικών συνθηκών σχηματισμού του (Michailidis & Kassoli-Fournaraki 1994). Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως ο τουρμαλίνη απαντάται και σε ασβεστόλιθους και ως δευτερογενής ανάπτυξη υπό μορφή καλά στρογγυλεμένων κόκκων στους ψαμμίτες. Έχει 3 κύρια είδη, τον Δραβίτη, τον Σορλίτη και τον Ελβαίτη και 14 ποικιλίες. Σχηματίζεται σχεδόν σε όλα τα χρώματα και τις αποχρώσεις.

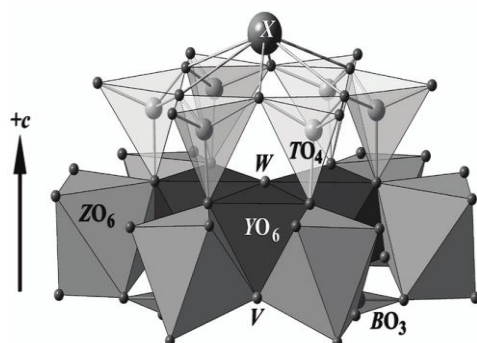
Είναι ένα ορυκτό υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας το οποίο εμφανίζει περίπλοκη μοριακή δομή και χημεία, έχει ηλεκτρικές ιδιότητες λόγω της πολικότητας που παρουσιάζει, για αυτό το λόγο όταν θερμαίνεται ή τρίβεται αποκτά ηλεκτρικό φορτίο με αποτέλεσμα να προσελκύει μικρά αντικείμενα. Λόγω του ηλεκτρικού φορτίου που παρουσιάζει, ο Σουηδός βοτανολόγος του 18^{ου} αιώνα Carl Von Linne ονόμασε τον τουρμαλίνη 'ηλεκτρική πέτρα'. Χρησιμοποιείται σε ηλεκτρικές συσκευές για την παραγωγή μετρητών πίεσης.

2. ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΑ

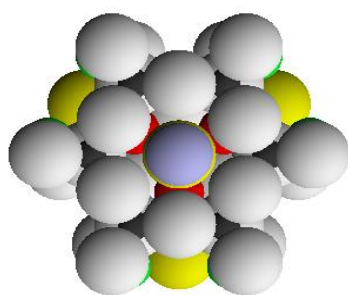
Ο όρος ορυκτό (mineral) έχει ορισθεί ως μια χημική ένωση ή στοιχείο, το οποίο έχει σχηματισθεί σαν αποτέλεσμα μιας γεωλογικής διεργασίας και έχει μια συγκεκριμένη κρυσταλλική δομή (Nickel, 1995).

Ως κρυσταλλική δομή εννοείται η τρισδιάστατη διάταξη ενός ή περισσότερων στοιχείων με συγκεκριμένο τρόπο, π.χ. μέγεθος ατόμων, σθένος, διατήρηση ουδετερότητας φορτίων, είδος δεσμών. Το κρυσταλλικό πλέγμα είναι η περιοδική επανάληψη μιας δομικής μονάδας προς τρεις κατευθύνσεις. Τα ανιόντα με τη μεγάλη ιοντική ακτίνα δημιουργούν το σκελετό του κρυστάλλου και τα κατιόντα με τη μικρή ιοντική ακτίνα καταλαμβάνουν τις ενδιάμεσες θέσεις (<https://en.wikipedia.org/wiki/Tourmaline>).

Ο τουρμαλίνης έχει ρομβοεδρική συμμετρία παρά εξαγωνική (Εικόνα 1) και ανήκει στην κατηγορία των κυκλοπυριτικών ορυκτών. Κρυσταλλώνεται στο τριγωνικό σύστημα και ένας κρύσταλλος τουρμαλίνης αποτελείται από έναν εξαμελή δακτύλιο πυριτίου που το πάνω τμήμα του συνδέεται με ένα μεγάλο κατιόν, όπως το νάτριο. Ο δακτύλιος στο κατώτερο τμήμα του συνδέεται με ένα στρώμα μεταλλικών ιόντων και υδροξυλίων ή αλογόνων που δομικά μοιάζει με ένα θραύσμα καολίνη. Αυτό με την σειρά του ενώνεται με 3 ιόντα βορίου. Οι μονάδες που ενώνονται η μία μετά την άλλη σχηματίζουν στήλες κατά μήκος του κρυστάλλου. Μία στήλη ενώνεται με άλλες δύο στήλες με μετατόπιση κατά ένα τρίτο και δύο τρίτα ως προς το κατακόρυφο μήκος μιας κυψελίδας κι έτσι προκύπτουν δέσμες τριών στηλών. Οι δέσμες αυτές σχηματίζουν την τελική κρυσταλλική δομή του τουρμαλίνης. Η βασική δομική μονάδα περιλαμβάνει τμήματα πολλών μονάδων που ανήκουν σε γειτονικές στήλες. (<https://en.wikipedia.org/wiki/Tourmaline>)



Εικόνα 1: Διάταξη κρυσταλλικής δομής του τουρμαλίνης (<https://en.wikipedia.org/wiki/Tourmaline>).



Εικόνα 2: Δομική μονάδα του τουρμαλίνη κατά μήκος του άξονα c
(<https://en.wikipedia.org/wiki/Tourmaline>)

3. ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Μακροσκοπικά χαρακτηριστικά

Ο τουρμαλίνης κρυσταλλώνεται στο τριγωνικό σύστημα, παρουσιάζει σκληρότητα 6-7,5 στην κλίμακα Mohs και έντονο πλεοχρωισμό σε παρατήρηση κάτω από το μικροσκόπιο. Το χρώμα του ποικίλλει ανάλογα της σύστασής του. Ο σορλίτης είναι μαύρος, ο δραβίτης είναι καστανός και ο ελβαΐτης έχει ανοιχτόχρωμες αποχρώσεις, όπως ρόδινη (ρουβελλίτης), πράσινη (βερντελίτης) και κυανή (ινδικόλιθος). Άλλες ποικιλίες είναι ο ουβίτης που έχει σκούρο χρώμα και ο σπανίως άχρωμος ή λευκός αχροΐτης (http://www.geo.auth.gr/106/8_silicates/cyclo/tourmaline.htm).

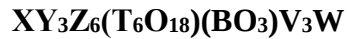
Δεν παρουσιάζει σχισμό, έχει κογχώδη θραυσμό, υαλώδη έως ρητινώδη λάμψη και η γραμμή σκόνης είναι λευκή. Επίσης δεν εμφανίζει διδυμία και το ειδικό βάρος του κυμαίνεται από 3,0 έως 3,4 (http://www.geo.auth.gr/106/8_silicates/cyclo/tourmaline.htm).

Οι κρύσταλλοι του τουρμαλίνης εμφανίζονται μακροπρισματικοί με κατακόρυφες ραβδώσεις, χονδροστηλοειδείς με ακτινωτά διατεταγμένους κρυστάλλους ή σε συμπαγή συσσωματώματα. Η υφή του χαρακτηρίζεται στηλοειδής, ακτινωτή και συμπαγής.

Εμφανίζει ισχυρό πιεζοηλεκτρισμό και πυροηλεκτρισμό. Σήμερα χρησιμοποιείται και ως μετρητής πιέσεων αλλά περισσότερο ως πολύτιμος λίθος (<https://armonissimo.com/el/stones/gems>).

4. ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ

Ο γενικός χημικός τύπος του τουρμαλίνης είναι ο εξής (Hawthorne and Henry, 1999):



όπου:

X=Na, Ca, K

Y=Al, Fe³⁺, Mg, Fe²⁺, Mn²⁺, Li

Z=Al, Fe³⁺, Cr³⁺, V³⁺

T=Si, Al, B

B=B

V(O₃) = OH, O

W(O₁) = OH, F, O

(Μιχαηλίδης κ.α., 2012)

TOURMALINE

$XY_3Z_6[Si_6O_{18}][BO_3]V_3W$

The letters X, Y, Z, V, and W refer to specific sites in tourmaline crystalline structure. The main ions that can occupy those sites are:

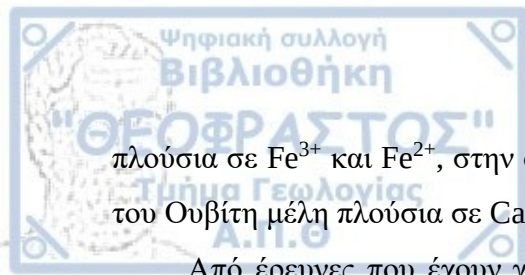
X = Na, Ca, K
Y = Al, Fe, Mg, Li, Mn, Cr, V
Z = Al, Fe, Mg, Cr, V
V = OH, O
W = OH, O, F

When these ions substitute for each other into a specific site in the mineral structure it is called solid solution.



Εικόνα 3: Χημικός τύπος τουρμαλίνης (<https://fredmhaynes.com/2014/04/01/tourmalines>).

Ο τουρμαλίνης αποτελείται από 13 μέλη εκ των οποίων τα τέσσερα είναι τα πιο γνωστά. Τα κυριότερα μέλη είναι ο Σορλίτης, ο Ουβίτης, ο Δραβίτης και ο Ελβαΐτης (Hawthorne and Henry, 1999). Σε μεγαλύτερο βαθμό τα χημικά στοιχεία που συμμετέχουν είναι Mg, Fe, Li. Στην ομάδα του Δραβίτη ανήκουν κυρίως μέλη πλούσια σε Mg, στην ομάδα του Σορλίτη μέλη



πλούσια σε Fe^{3+} και Fe^{2+} , στην ομάδα Ελβαίτη ανήκουν μέλη πλούσια σε Li και στην ομάδα του Ουβίτη μέλη πλούσια σε Ca.

Από έρευνες που έχουν γίνει (Black, 1971) ο τουρμαλίνης αποκτά την σύσταση του πετρώματος που το φιλοξενεί, με αποτέλεσμα να εμφανίζει μεγαλύτερο λόγο Fe/Mg σε ρυόλιθους και πηγματίτες και μικρότερο λόγο Fe/Mg σε μεταϊζήματα.

5. ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ ΤΟΥΡΜΑΛΙΝΗ

5.1. Σορλίτης

Σιδηρούχο βοριοπυριτικό υδροξείδιο της ομάδας του τουρμαλίνη με μαύρο χρώμα. Έχει χημικό τύπο $\text{NaFe}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$. Είναι ο πιο συνηθισμένος από την ομάδα του τουρμαλίνη και το όνομά του προέρχεται από ένα παλιό γερμανικό μεταλλευτικό όρο. Schorl (16ος αιώνας) ονόμαζαν τα μικρά μαύρα πρισματικά ορυκτά που απομάκρυναν κατά την επεξεργασία των μεταλλευμάτων χρυσού και κασσιτέρου. Ο Romé de l' Isle απέδωσε τελικά την ονομασία στον τουρμαλίνη.

Ο σορλίτης είναι γνωστός ως μαύρος τουρμαλίνης. Άλλες μορφές τουρμαλίνη μπορεί να είναι μαύρες, ο σορλίτης είναι αποκλειστικά μαύρος, ποτέ διαφανής ή ακόμα και ημιδιαφανής. Είναι εξαιρετικά λαμπερός και εμφανίζεται ως έγκλεισμα μέσα σε άλλους κρυστάλλους όπως ο χαλαζίας (Εικόνα 4 και 5) και σε μερικές σπάνιες περιπτώσεις βρίσκεται με ελβαΐτη. Τέλος, ο σορλίτης σχετίζεται με την ανάπτυξη των σωματικών ικανοτήτων, είναι φυσικός καθαριστής που καθαρίζει την αύρα από δυσάρεστες σκέψεις και δίνει ανανεωμένη ατμόσφαιρα γεμάτη ζωντάνια και όρεξη για ζωή (https://www.spiritofisis.org/knowledge/crystal_files/tourmaline_schorl.htm).



Εικόνα 4: Σορλίτης υπό μορφή εγκλείσματος σε χαλαζία

(http://www.geo.auth.gr/106/8_silicates/cyclo/tourmaline.htm).



Εικόνα 5: Σορλίτης υπό μορφή μακροπρισματικών κρυστάλλων.
(<https://www.minerals.net/mineral/schorl.aspx>)

5.2. Δραβίτης

Είναι μαγνησιούχος τουρμαλίνης με καστανό χρώμα και χημικό τύπο $\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$. Γνωστός ως "brown tourmaline", εμφανίζεται σε ακατέργαστους κρυστάλλους με ακανόνιστη μορφή και ορισμένοι κρύσταλλοι από συγκεκριμένες τοποθεσίες είναι εξαιρετικά λαμπεροί και όμορφα κρυσταλλωμένοι. Ο δραβίτης είναι παρόμοιος με τον ουβίτη και μπορούν να εμφανιστούν μαζί σε ένα μόνο κρύσταλλο. Τις περισσότερες φορές είναι πολύ δύσκολο να γίνει ακριβής διάκριση μεταξύ δραβίτη και ουβίτη. Η ονομασία του προέρχεται από το Dravograd στη Σλοβενία, όπου περιγράφηκε για πρώτη φορά. Ο δραβίτης μπορεί να αναπτυχθεί με σορλίτη και έτσι σε ένα δείγμα το ένα μέρος κρυστάλλου να είναι δραβίτης και το άλλο σορλίτης.



Εικόνα 6: Κρύσταλλοι δραβίτη σε χλωριτικό σχιστόλιθο
(http://www.geo.auth.gr/106/8_silicates/cyclo/tourmaline.htm).

Επιπρόσθετα μοιάζει πολύ με τον ουβίτη και τον φθορο-ουβίτη όπου σε αρκετές περιπτώσεις είναι εξαιρετικά δύσκολο να γίνει μια ακριβής διάκριση μεταξύ δραβίτη ουβίτη/φθορο-ουβίτη. Τέλος συνυπάρχει με χλωριτικό σχιστόλιθο όπως φαίνεται στην εικόνα 6 (<https://www.minerals.net/mineral/dravite.aspx>).

5.3. Ελβαΐτης

Ο ελβαΐτης είναι λιθιούχος τουρμαλίνης. Είναι ανοιχτόχρωμος με διάφορες αποχρώσεις και χημικό τύπο $\text{Na}(\text{Li}, \text{Al})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$. Οι περισσότερες πολύχρωμες ποικιλίες τουρμαλίνη και σχεδόν όλοι οι πολύτιμοι λίθοι του τουρμαλίνη ανήκουν στην ποικιλία του ελβαΐτη. Ο ελβαΐτης είναι ίσως το πιο πολύχρωμο ορυκτό που απαντάται σε κάθε χρώμα του φάσματος.



Εικόνα 7: Πρισματικοί κρύσταλλοι ελβαΐτη
(http://www.geo.auth.gr/106/8_silicates/cyclo/tourmaline.htm).



Εικόνα 8: Επιμηκυσμένοι κρύσταλλοι ελβαΐτη υπό την μορφή βελονών
(http://www.geo.auth.gr/106/8_silicates/cyclo/tourmaline.htm).

Οι κρύσταλλοί του είναι επιμήκεις πρισματικοί κρύσταλλοι (Εικόνα 7) και συνήθως έχουν μια στρογγυλεμένη τριγωνική διατομή. Σπάνια εμφανίζονται με μορφή βοτρυοειδών συσσωματωμάτων σε συμπαγή μάζα ή ακόμη και με μορφή επιμηκυσμένων βελονών (Εικόνα 8). Ο ελβαΐτης πήρε την ονομασία του από το νησί Elba, Τοσκάνη (Ιταλία) όπου βρέθηκε.

5.3.1. Ρουβελλίτης:

Ρόδινη ή κόκκινη ποικιλία του ελβαΐτη, εξ ου και το όνομα του που προέρχεται από τη λατινική λέξη rubeus = κόκκινο λόγω του κόκκινου χρώματός του. Έχει χημικό τύπο $\text{Na}(\text{Li},\text{Al})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$. Το χρώμα του ρουβελλίτη κυμαίνεται από βαθύ μωβ- ροζ έως κόκκινο και είναι γνωστό για τη διατήρηση του χρώματος του υπό διαφορετικό φωτισμό. Μόνο τα κορεσμένα και ζωντανά χρώματα ροζ- μωβ τουρμαλίνη μπορούν να πάρουν το όνομα ρουβελλίτης. Η τιμή και η αξία του ρουβελλίτη ποικίλει ανάλογα με το μέγεθος και την ποιότητά του, καθώς το κύριο κριτήριο για την αξία του είναι το χρώμα του. Συνήθως οι ρουβελλίτες πάνω από 10 καράτια είναι περιζήτητα από τους συλλέκτες και τους επενδυτές. Τέλος, ο ρουβελλίτης συνυπάρχει με αλβίτη και χαλαζία (Εικόνα 9) (<https://www.ajsgem.com/gemstone-information/rubellite-tourmaline-52.html>).



Εικόνα 9: Ρουβελλίτης με αλβίτη και χαλαζία

(http://www.geo.auth.gr/106/8_silicates/cyclo/tourmaline.htm).

5.3.2. Βερντελίτης:

Πράσινη ποικιλία του ελβαΐτη η οποία εξορύσσεται στην Τανζανία (Αφρική). Ο βερντελίτης είναι ένα σύνθετο λίθο-βοριοαργιλικό πυριτικό υδροξείδιο της ομάδας του τουρμαλίνη που βρέθηκε σε γρανίτες και γρανιτικούς πηγματίτες, υδροθερμικές φλέβες υψηλής θερμοκρασίας και σε μεταμορφωμένα πετρώματα (Εικόνα 10 και 11). Έχει χημικό τύπο:



(https://www.spiritofisis.org/knowledge/crystal_files/tourmaline_verdelite.htm).



Εικόνα 10: Μακροπρισματικοί κρύσταλλοι βερντελίτη
(http://www.geo.auth.gr/106/8_silicates/cyclo/tourmaline.htm).



Εικόνα 11: Βερντελίτης με ασβεσίτη (http://www.geo.auth.gr/106/8_silicates/cyclo/tourmaline.htm).

5.3.3. Ινδικόλιθος (ή Ινδικολίτης):

Κυανή ποικιλία του ελβαΐτη. Είναι σπάνιο και σύνθετο σιδηρομαγνησιούχο βοριοαργλικό πυριτικό υδροξείδιο της ομάδας του τουρμαλίνη με χημικό τύπο $\text{Na}(\text{Li}_{1.5}, \text{Al}_{1.5})\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3(\text{OH})$. Αυτή η ποικιλία τουρμαλίνη παίρνει το χρώμα της από μικροσκοπικές προσμείξεις σιδήρου και έχει λίγες μόνο γνωστές τοποθεσίες εξόρυξης σε όλο τον κόσμο. Τα σημαντικότερα ενεργά κοιτάσματα ινδικόλιθου είναι η Βραζιλία, η Νιγηρία και το Αφγανιστάν. Μπορεί όμως να βρεθεί στη Σρι Λάνκα, στη Τανζανία, στην Κένυα, στις Ηνωμένες Πολιτείες και στη Μαδαγασκάρη.

Σε κάποια χρονική περίοδο η μόνη διαθέσιμη μπλε ποικιλία τουρμαλίνη βρισκόταν στην Paraiba της Βραζιλίας και λόγω αυτής της σπανιότητας επήλθε αύξηση στην τιμή της και της φήμης της που οδήγησε στον όρο 'Paraiba Indicolite'. Πιστεύεται ότι οι κρύσταλλοι ινδικολίτη βοηθούν το μυαλό και τις σκέψεις να είναι πιο καθαρές όπως και στην ομαλή διαδικασία λήψης αποφάσεων (<https://thecrystalcouncil.com/crystals/indicolite>).



Εικόνα 12: Ινδικολίτης υπό μορφή βελόνων
(http://www.geo.auth.gr/106/8_silicates/cyclo/tourmaline.htm).

5.3.4. Αχροΐτης:

Μέλος της ομάδας του ελβαΐτη, είναι εξαιρετικά σπάνια ποικιλία, χρησιμοποιείται στα κοσμήματα αλλά δεν υπάρχει μεγάλη ζήτηση, καθώς είναι και η φθηνότερη ποικιλία τουρμαλίνη. Το όνομα αχροΐτης προέρχεται από την ελληνική λέξη άχρως που σημαίνει χωρίς χρώμα. Για τους συλλέκτες, ο αχροΐτης είναι εξαιρετικά ενδιαφέρον κρύσταλλος καθώς είναι πολύ ασυνήθιστο για ένα τουρμαλίνη να μην έχει χρώμα. Είναι ινώδης ποικιλία (Εικόνα 13). Κάποιες φορές μπορεί να βρεθεί ένα έγκλεισμα σαν μια μικρή κηλίδα μέσα στον κρύσταλλο και αυτό να τον καθιστά πολύτιμο και όμορφο αν κοπεί με τον σωστό τρόπο. Είναι διαυγής και δεν εμφανίζει ισχυρό διχροϊσμό όπως οι άλλες ποικιλίες και έτσι μπορεί να κοπεί προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Ο αχροΐτης, όπως και άλλες ποικιλίες του τουρμαλίνη, είναι ορυκτό υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας, εύθραυστο, σκληρό (7 με 7,5 στην κλίμακα Mohs) με υαλώδη λάμψη. Παρουσιάζει και αυτός πιεζοηλεκτρισμό, δηλαδή όταν δεχτεί πίεση δημιουργείται ηλεκτρικό φορτίο στα άκρα του κρυστάλλου και αντιπροσωπεύει τη σεμνότητα.

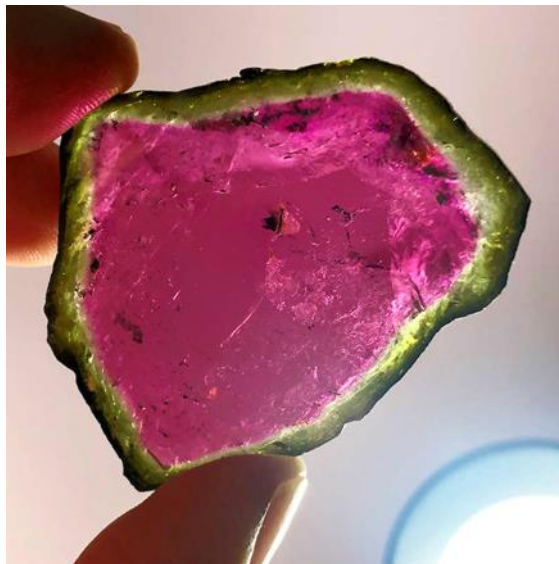
Βρίσκεται σε γρανίτες, πηγματίτες (Μαδαγασκάρη, Καλιφόρνια) και γρανίτες που έχουν υποστεί μετασώματωση από ρευστά που περιέχουν βόριο. Μπορεί να βρεθεί ακόμη και σε ιζήματα κοντά σε μετασωματικούς γρανίτες. Η κύρια πηγή του είναι στη νοτιοδυτική Αγγλία (https://www.jewelsforme.com/gem_and_jewelry_library/achroite).



Εικόνα 13: Ινώδης κρύσταλλος αχροΐτη (<https://www.mindat.org/min-454.html>).

5.3.5. Watermelon Tourmaline:

Η ποικιλία του ελβαΐτη που ονομάζεται τουρμαλίνης-καρπούζι έχει ροζ-κόκκινο χρώμα στον πυρήνα και πράσινο στην περιφέρεια που το κάνει να μοιάζει με καρπούζι (Εικόνα 14). Πιστεύεται ότι η ποικιλία αυτή δημιουργήθηκε από τη ροζ ποικιλία τουρμαλίνη, η οποία καθώς σχηματιζόταν, με την έκθεσή της σε διάφορα μέταλλα, όπως το μαγγάνιο και το λίθιο, προκλήθηκε η αλλαγή αυτή στο χρώμα η οποία, με την πάροδο του χρόνου, γινόταν πιο εμφανής.



Εικόνα 14: Κρύσταλλος ποικιλίας watermelon tourmaline (<https://www.geologyin.com/2021/07/watermelon-tourmaline-what-is.html>).

Το είδος αυτό ανακαλύφθηκε σε ένα ορυχείο στο Newry του Maine το 1902. Συναντάται ακόμη στη Νιγηρία, στη Βραζιλία, στη Σρι Λάνκα, στο Αφγανιστάν και στην Αυστραλία. Η Βραζιλία φημίζεται ότι έχει την καλύτερη ποικιλία watermelon tourmaline που έχει ανακαλυφθεί ποτέ.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 είχε βρεθεί υψηλής ποιότητας δείγμα πολύ κοντά στο ορυχείο που είχε ανακαλυφθεί για πρώτη φορά. Έτσι, μόλις 5 μίλια μακριά από το Newry, στο Plumbago Gem Pit εξορύσσονταν τα εκπληκτικά δείγματα watermelon tourmaline της εποχής εκείνης. Ο κρύσταλλος της ποικιλίας αυτής είναι πολύ ισχυρός για να ηρεμήσει και να καταπραΰνει συναισθήματα που προκαλούν θλίψη ή κατάθλιψη. Θεραπεύει και καθαρίζει τις συναισθηματικές πληγές και βοηθά πλήρως στο άγχος, προσφέρει φως, αγάπη και αναζωογόνηση, διατηρεί την καρδιά και το μυαλό με αγάπη, ευτυχία και ενέργεια. Οι λάτρεις αυτής της πέτρας φοράνε ένα κολιέ ή μενταγιόν ακριβώς πάνω από την καρδιά τους για να βοηθήσουν στην καταπολέμηση της καθημερινής δυσφορίας (<https://thecrystalcouncil.com/crystals/watermelon-tourmaline>).

5.4. Ουβίτης:

Σκουρόχρωμος τουρμαλίνης με χημικό τύπο $(Ca,Na)(Mg,Fe)_3Al_5Mg(BO_3)_3(Si_6O_{18})(OH,F)_4$. Ο ουβίτης είναι ένα ασυνήθιστο ασβέστιο-μαγνησιούχο σιδηροαργλικό βοριοπυριτιούχο ορυκτό της ομάδας του τουρμαλίνης. Κρυσταλλώνεται με μορφή πρισματικών ραβδωτών κρυστάλλων και το χρώμα του συνήθως είναι σκούρο κοκκινωπό έως καφέ. Μερικές φορές συναντάται και με μαύρο, πράσινο ή κόκκινο χρώμα. Βρέθηκε για πρώτη φορά το 1929 από τον W. Kunitz στην Ύνα της Σρι Λάνκα, εξ ου και το όνομά του. Υπάρχουν όμως και κάποιες αμφιβολίες για το αν αυτή ήταν η πραγματικά πρώτη ανακάλυψη, λόγω των πολλών κοινών που έχει ο ουβίτης με τον καφέ-τουρμαλίνη (δραβίτη). Μετέπειτα, ο ουβίτης βρέθηκε εκτός από τη Σρι Λάνκα, στη Βραζιλία, στις ΗΠΑ και στη Σλοβακία.

Σύμφωνα με το Crystal Council, υπήρχε σύγχυση ως προς τη διαφορά του Ουβίτη και του Φθορο-Ουβίτη. Στο φθορο-ουβίτη το μέλος του υδροξυλίου αντικαθίσταται από φθόριο. Το 2010 η International Mineralogical Association (IMA) ταξινόμησε τον φθορο-ουβίτη ως ξεχωριστό ορυκτό (<https://thecrystalcouncil.com/crystals/uvite>).



Εικόνα 15: Ουβίτης με μαγνησίτη (<https://gr.pinterest.com/pin/861594972430923915>).

6. ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΤΟΥΡΜΑΛΙΝΗ

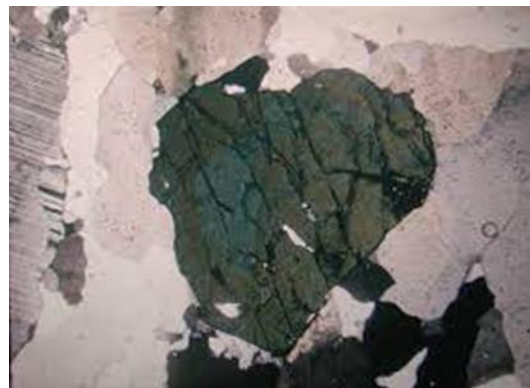
Ο τουρμαλίνης στο μικροσκόπιο εμφανίζει μέτριο έως υψηλό θετικό ανάγλυφο και έντονο πλεοχροϊσμό με χαμηλά χρώματα πόλωσης. Είναι μονάξονας αρνητικός. Οι κρύσταλλοι τουρμαλίνης είναι μακροπρισματικοί και το μήκος τους κυμαίνεται από 0,2- 9 mm. Έχει δείκτη διάθλασης 1,71.

Οι κρύσταλλοι του τουρμαλίνης εμφανίζουν διαφορετική εικόνα ζώνωσης, κάποιες φορές έντονη οπτική ζώνωση και κάποιες άλλες όχι. Μικροσκοπικά έχουν παρατηρηθεί πολλοί ζωνώδεις κρύσταλλοι, οι οποίοι σε παρατήρηση μόνο με πολωτή εμφανίζουν καστανωπό έως καστανότεφρο χρώμα στην περιφέρεια και ένα πρασινωπό έως πρασινότεφρο χρώμα στον πυρήνα. Συχνά εμφανίζεται χρωματισμένος κατά ζώνες παράλληλες ή κάθετες στον άξονα c. Η ζώνωση στους κρυστάλλους πολλές φορές εμφανίζεται συγκεντρική (Εικόνα 16 και 17). (Πέτικα, 2014)

Τέλος, οι κρύσταλλοι του τουρμαλίνης εμφανίζουν σπασίματα και ρωγμώσεις, οι οποίες πληρώνονται από χαλαζία (Εικόνα 18) και φλέβες, οι οποίες πληρώνονται από άστριο ή χαλαζία. Αλλοιώνεται σε βιοτίτη, μοσχοβίτη και χλωρίτη.



(α)

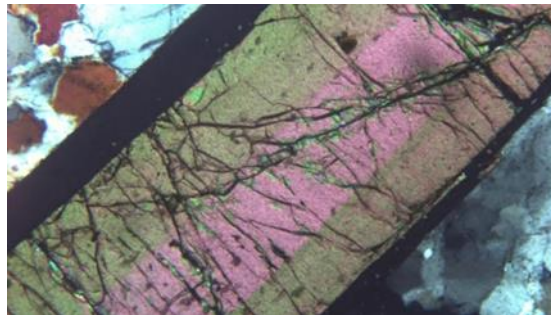


(β)

Εικόνα 16: Παρατήρηση με α) παράλληλα Nicols και β) διασταυρωμένα Nicols (Πέτικα, 2014).



Εικόνα 18: Ρωγμές σε κρύσταλλο τουρμαλίνη, οι οποίες γεμίζουν με χαλαζία (Πέτικα, 2014).



Εικόνα 19: Κρύσταλλος τουρμαλίνη με πολωτή και αναλυτή.

6.1. ΠΟΛΥΤΙΜΕΣ ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ

Λόγω της πολύπλοκης χημικής του σύστασης, ο τουρμαλίνης παρουσιάζει πολλές ποικιλίες για αυτό και θεωρείται πολύτιμος λίθος. Σύμφωνα με πηγές, είναι το μόνο ορυκτό στη Γη που έχει σταθερό ηλεκτρικό πεδίο. Οι Γάλλοι φυσικοί Pierre και Marie Curie διαπίστωσαν ότι οι κρύσταλλοι τουρμαλίνης έχουν την ικανότητα να παράγουν μικρορεύματα, πανομοιότυπα με τις ηλεκτρικές ώσεις που παράγονται από τα κύτταρα του ανθρώπινου σώματος και για τον λόγο αυτό το ονόμασαν 'ηλεκτρικό' ορυκτό.

Η μεγάλη ποικιλία χρωμάτων του ορυκτού είναι και ο λόγος που συγχέεται με πολύτιμους λίθους παρόμοιου χρώματος.

Οι πιο γνωστές πολύτιμες ποικιλίες του τουρμαλίνης είναι:

6.1.1. Ινδικόλιθος

Σπάνιος και ακριβός τύπος τουρμαλίνη με μεγάλη ζήτηση. Οι προσμίξεις σιδήρου δίνουν στο ορυκτό ένα βαθύ μπλε χρώμα (Εικόνα 20). Εξαιρετικά σπάνια δείγματα σκούρων μπλε κρυστάλλων χρησιμοποιούνται για κατασκευή πολυτελών κοσμημάτων. Αυτή η σπανιότητα έκανε την τιμή και τη φήμη να εκτοξευθεί στα ύψη, δημιουργώντας τον όρο 'Paraiba Indicolite'. Πολλά κοιτάσματα έχουν βρεθεί στη Νιγηρία και στο Αφγανιστάν (<https://armonissimo.com/el/stones/gems>).



Εικόνα 20: Paraiba Indicolite.

6.1.2. Σορλίτης

Οι Γερμανοί ανθρακωρύχοι του έδωσαν αυτό το όνομα που σημαίνει μαύρο. Το σκούρο μαύρο χρώμα οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο (Εικόνα 21). Χρησιμοποιείται ως διακοσμητική πέτρα και σε ορισμένες περιπτώσεις στην κατασκευή νεκρικών κοσμημάτων (<https://armonissimo.com/el/stones/gems>).



Εικόνα 21: Ο σορλίτης σε κόσμημα

6.1.3. Βερντελίτης

Σημαίνει πράσινο και προέρχεται από το πράσινο χρώμα του πολύτιμου λίθου (Εικόνα 22). Οι πιο όμορφοι και ακριβοί βερντελίτες που έχουν πράσινο σμαραγδένιο χρώμα ονομάζονται "Σμαράγδια της Βραζιλίας" (<https://armonissimo.com/el/stones/gems>).



Εικόνα 22. Πράσινος βερντελίτης.

6.1.4. Ρουβελλίτης

Διαθέτει φωτεινό ροζ χρώμα που οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητά του σε μαγγάνιο (Εικόνα 23). Κρύσταλλοι με μεγάλη αξία έχουν ροδοκόκκινο -ρουμπινί χρώμα (<https://www.ajsgem.com/gemstone-information/rubellite-tourmaline-52.html>).



Εικόνα 23: Ο ρουβελλίτης με ρουμπινί χρώμα.

6.1.5. Δραβίτης

Πήρε το όνομά του από τον ποταμό Δράβα, στις όχθες του οποίου βρέθηκε για πρώτη φορά. Πρόκειται για καστανοκίτρινο τουρμαλίνη (Εικόνα 24) που χρησιμοποιείται



περιστασιακά ως πολύτιμος λίθος (<https://www.minerals.net/mineral/dravite.aspx>, <https://armonissimo.com/el/stones/gems>).



Εικόνα 24: Ο δραβίτης ως πολύτιμος λίθος.

7. ΧΡΗΣΕΙΣ

Ο τουρμαλίνης όπως και πολλοί άλλοι πολύτιμοι λίθοι έχουν γίνει θέμα συζήτησης και μελέτης για πολλούς επιστήμονες του κλάδου της γεωλογίας. Στόχος της γεωλογίας, είναι ο προσδιορισμός ακατέργαστων ορυκτών και πετρωμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πολύτιμοι λίθοι και σε δεύτερη φάση, ο προσδιορισμός και η αξιολόγηση των κατεργασμένων πολύτιμων λίθων που κυκλοφορούν στο εμπόριο. Σε πρώτο επίπεδο η αξιολόγηση αφορά την αυθεντικότητα και τα φυσικά χαρακτηριστικά των πολύτιμων λίθων και σε δεύτερο επίπεδο την αξιολόγηση τους με βάση εμπορικά πρότυπα (βάρος σε καράτια, χρώμα, καθαρότητα, κοπή) και τελικά την εμπορική τους αξία.

Η χρήση όμως των ορυκτών και των πολύτιμων λίθων λαμβάνει χώρα από τα προϊστορικά ακόμη χρόνια. Οι άνθρωποι εκείνης της εποχής είχαν γοητευτεί από ορυκτά και πετρώματα με ασυνήθιστα χαρακτηριστικά όπως η λάμψη, η σκληρότητα και τα έντονα χρώματα σε σύγκριση με άλλα υλικά. Προσπάθησαν από την αρχή της ανθρώπινης ιστορίας να τα χρησιμοποιήσουν ως πρώτη ύλη για τη δημιουργία εργαλείων, όπλων, διακοσμητικών αντικειμένων, οικιακών σκευών, γυάλινων αντικειμένων και κοσμημάτων. Η μελέτη των πολύτιμων λίθων, όπως και η χρήση τους, είχαν κάποτε θρησκευτικούς, αστρολογικούς και θεραπευτικούς σκοπούς.

Το ορυκτό τουρμαλίνης είναι ιοντικός κρύσταλλος και έχει την ιδιότητα να φορτίζεται ηλεκτρικά, δηλαδή να μετατρέπει τα άκρα του σε θετικούς και αρνητικούς πόλους εάν δεχτεί πίεση ή θερμανθεί. Με τον τρόπο αυτό δύναται να προστατεύει από την ακτινοβολία πολλών συσκευών. Ιδίως για το μαύρο τουρμαλίνη πολλοί επιστήμονες πιστεύουν ότι αποτρέπει κάθε είδους αρνητική/ μπλοκαρισμένη ενέργεια και δημιουργεί προστατευτική ασπίδα κατά των αρνητικών επιδράσεων (οργή, ζήλια, μνησικακία). Ενισχύει την αυτοπεποίθηση και την ικανότητα συγκέντρωσης, γι' αυτό δίνεται σε όσους πάσχουν από αδυναμία συγκέντρωσης.

Σύμφωνα με πηγές, ο πράσινος τουρμαλίνης, δηλαδή ο βερντελίτης συντονίζει την καρδιά με την ενέργεια της Γης προάγοντας τη δύναμη, τη ζωτικότητα και την αντοχή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την τόνωση της όρασης. Συνδέεται με τη φύση, τη δύναμη και τη διαρκή αλλαγή του χαρακτήρα.

7.1. ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ-ΠΥΡΟΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΣΤΟΝ ΤΟΥΡΜΑΛΙΝΗ

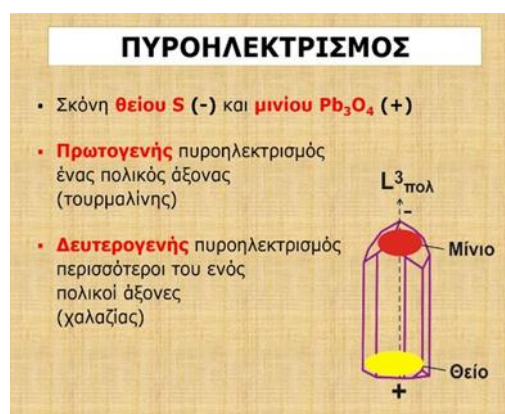
Ο ηλεκτρισμός που παράγεται από το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο ονομάζεται πιεζοηλεκτρισμός. Το 1880 στην Γαλλία ανακαλύφθηκε από τους J. Curie και P. Curie σε κρύσταλλο τουρμαλίνη το φαινόμενο της διηλεκτρικής πόλωσης, που εμφανίζεται στους ιοντικούς κρυστάλλους, ως αποτέλεσμα της εφαρμογής εξωτερικής πίεσης (πρωτογενές πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο). Αργότερα μελέτες έδειξαν ότι υπάρχει και το αντίστροφο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο (δευτερογενές πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο). Κατά το φαινόμενο αυτό, το ηλεκτρικό πεδίο που υπάρχει σε ένα κρυσταλλικό σώμα προκαλεί ηλεκτρική καταπόνηση (ηλεκτροσυστολή), κάτι το οποίο πρόβλεψε στη θερμοδυναμική ο G. Lippmann. Ο πιεζοηλεκτρισμός συμβαίνει λόγω της αλλαγής των θέσεων στα ιόντα που προκύπτει από την καταπόνηση ενός κρυστάλλου.

Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο χρησιμοποιείται για τη μετατροπή μεταξύ ηλεκτρικής και μηχανικής ταλάντωσης. Ο W.G Cady στις ΗΠΑ σταθεροποίησε τη συχνότητα ταλάντωσης ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος χρησιμοποιώντας το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο ενός κρυστάλλου χαλαζία.

Ο πυροηλεκτρισμός είναι χαρακτηριστικό στοιχείο ορισμένων πολικών κρυστάλλων υψηλής τάσης που έχουν φορτίο πόλωσης όταν οι κρύσταλλοι διαστέλλονται ή συστέλλονται με θέρμανση ή ψύξη αντίστοιχα. Σύμφωνα με τον Kepler, τα πυροηλεκτρικά φαινόμενα παρατηρούνται σε εξαιρετικά πιεζοηλεκτρικούς κρυστάλλους που έχουν μόνιμη διπολική ροπή, όπως ο τουρμαλίνης (<https://www.sciencedirect.com/topics/biochemistry-genetics-and-molecular-biology/tourmaline>).



(α)



(β)

Εικόνα 25α και β: Ο πυροηλεκτρισμός στον τουρμαλίνη.

8. ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Οι εμφανίσεις τουρμαλίνη στον ελλαδικό χώρο έχουν κατανεμηθεί γεωγραφικά στις εξής περιοχές:

- Στη νήσο Εύβοια, όπου οι τουρμαλίνες φιλοξενούνται σε κρυσταλλικούς σχιστολίθους (Wieser, 1971),
- Στις περιοχές Ριζιανά και Κολχικό, όπου οι τουρμαλίνες φιλοξενούνται σε μιγματικά μεταϊζηματογενή πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας (Michailidis K. and Kassoli – Fournaraki A., 1994)
- Στα Νέα Ρόδα Χαλκιδικής και στη νήσο Θάσο, με τουρμαλίνες μέσα σε χαλαζιακές φλέβες που διαπερνούν κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα (Kassoli – Fournaraki A. and Michailidis K. 1994)
- Στη Τήνο, με τουρμαλίνες στον Αερόλιθο της Τήνου της Αττικο-κυκλαδικής ζώνης, στους οποίους έγιναν γεωθερμομετρήσεις για τον προσδιορισμό της μεταμόρφωσης των πετρωμάτων (Bröcker and Franz, 2000),
- Στη Σάμο, με πλούσιους σε Νί τουρμαλίνες σε μαρμαρυγιακά εγκλείσματα εντός μαρμάρου (Henry and Dutrow, 2001).

Τουρμαλίνες εμφανίζονται και στο οφιολιθικό σύμπλεγμα του Βάβδου της Βόρειας Ελλάδας. Οι δουνίτες και οι σερπεντινίτες του οφειολιθικού συμπλέγματος διακόπτονται από πηγματιτικές φλέβες. Οι φλέβες πηγματίτη αποτελούνται κυρίως από κρυστάλλους χαλαζία, μικροκλινή, αλβίτη και περθιτωμένα πλαγιόκλαστα. Υπάρχουν επίσης ορυκτά σπάνιων γαιών, όπως μοναζίτης, ξενότιμο και ανόργανα άλατα της ομάδας του βαστανίου (επιγενετικά προϊόντα του μοναζίτη). Οι πηγματιτικές φλέβες φιλοξενούν λεπτόκοκκο τουρμαλίνη, ο οποίος δείχνει προσανατολισμό παράλληλο προς τη σχιστότητα του πετρώματος.

Γενικά στις περισσότερες εμφανίσεις στον ελλαδικό χώρο ο τουρμαλίνης είναι πλούσιος σε Ca και είναι εμφανίσεις σίδηρο-ουβίτη και σορλίτη (Μιχαηλίδης κ.α., 2012) και φιλοξενούνται σε μεταϊζηματογενή -μεταμορφωμένα πετρώματα και σπανιότερα χσε αλαζιακές-πηγματιτικές φλέβες.

Εκτενέστερες μελέτες έχουν γίνει στις εμφανίσεις ζωνωδών ασβεστούχων τουρμαλινών στα κοιτάσματα σμύριδας της Νήσου Νάξου. Οι κρύσταλλοι της περιοχής εμφανίζουν οπτική ζώνωση με φωτεινόχρωμους κυανοπράσινους πυρήνες και σκοτεινόχρωμες περιφέρειες. Οι πυρήνες έχουν σύσταση στερεού διαλύματος ντραβίτη-σορλίτη και οι περιφέρειες έχουν σύσταση σιδηρο-ουβίτη. Η χαρακτηριστική αυτή ζώνωση του ορυκτού είναι το αποτέλεσμα των φυσικών και χημικών μεταβολών του περιβάλλοντος κατά το χρόνο της κρυστάλλωσής

του. Η γένεση των πιο πάνω τουρμαλινών συνδέεται με την βοριούχο μετασωμάτωση των πλούσιων σε Al, Fe και Ca συστατικών του ήδη προϋπάρχοντος καρστικού βωξίτη που κατά την μεταμόρφωση έδωσε γένεση στη σμύριδα. (Μιχαηλίδης κ.α., 2012)

Μια άλλη περίπτωση εμφάνισης τουρμαλίνη στην περιοχή της Ελλάδας, είναι η εμφάνιση στην Γερακινή Χαλκιδικής. Στην περίπτωση αυτή οι τουρμαλίνες φιλοξενούνται σε πηγματιτικές φλέβες πλούσιες σε χαλαζία και αλβίτη, όπου οι πηγματιτικές φλέβες διεισδύουν στο οφιολιθικό σύμπλεγμα Γερακινής- Ορμύλιας. Οι τουρμαλίνες της Γερακινής εμφανίζονται πολύ πλούσιοι σε Fe και Mg, στοιχεία τα οποία δεν είναι κύρια στη σύσταση ενός μαγματικού πηγματίτη (Πέτικα, 2014).

Όσον αφορά την ύπαρξη του τουρμαλίνη στο εξωτερικό, ο τουρμαλίνης εξορύσσεται στη Βραζιλία και σε πολλά μέρη της Αφρικής, όπως η Τανζανία, η Νιγηρία, η Κένυα, η Μαδαγασκάρη, η Μοζαμβίκη. Επίσης εξορύσσεται στην Ασία, ιδίως στο Πακιστάν, στο Αφγανιστάν, στην Ινδονησία και στη Σρι Λάνκα, όπου υπάρχουν ποικιλίες τουρμαλίνη που μπορούν να χαρακτηριστούν ως πολύτιμοι λίθοι (<https://en.wikipedia.org/wiki/Tourmaline>).

Σημαντικές εμφανίσεις υπάρχουν στην Τσεχία (Buriánek & Novák 2007) και στην Ισπανία (Roda et. al. 1995), ωστόσο αφορούν πλούσιους σε Mg και φτωχούς σε Ca τουρμαλίνες. Με βάση τους Neiva (1974) και Manning (1982), οι τουρμαλίνες που συνδέονται με τα αρχικά στάδια διαφοροποίησης του μάγματος είναι πλούσιοι σε Mg, συγκριτικά με αυτούς που προκύπτουν στα τελευταία στάδια διαφοροποίησης. Αυτός είναι και ο λόγος που εμφανίζουν υψηλό ποσοστό Mg και Fe και χαμηλό ποσοστό Al και Ca (Πέτικα, 2014).



- Black P. (1971): Tourmalines from Cuvier island, New Zealand. *Min. Mag.*, 38, 374-376
- Bröcker M. and Franz L. (2000): The contact aureole on Tinos (Cyclades, Greece): tourmaline – biotite geothermometry and Rb – Sr geochronology. *Mineralogy and Petrology* 70, 257-283.
- Buriánek D. and Novák M. (2007): Compositional evolution and substitutions in disseminated and nodular tourmaline from leucocratic granites: examples from the Bohemian Massif, Czech Republic. *Lithos* 95, 148-164.
- Henry D. and Dutrow B. (2001): Compositional zoning and element partitioning in nickeloan tourmaline from metamorphosed kartbauxite from Samos, Greece. *American Mineralogist*.
- Kassoli – Fournaraki A. and Michailidis K. (1994): Chemical composition of tourmaline in quartz veins from Nea Roda and Thasos areas in Macedonia, northern Greece. *The Canadian Mineralogist*, vol. 32, 607-615.
- Manning D. (1982): Chemical and morphological variation in tourmalines from the Hub Kapong batholiths of peninsular Thailand. *Mineral. MAg.* 45, 139-147.
- Michailidis K. and Kassoli – Fournaraki A. (1994): Tourmaline concentrations in migmatitic metasedimentary rocks of the Riziana and Kolchiko areas in Macedonia, Northern Greece. *Eur. J. Mineral.* 6, 557-609.
- Neiva A. (1974): Geochemistry of tourmaline (schorlite) from granites, aplites and pegmatites from northern Portugal. *Geochim. Cosmochim Acta* 38, 1307-1317.
- Nickel E.H. (1995). International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names: Definition of a mineral. *Mineralogy and Petrology*, 55 (4). 323-326
- Roda E., Pesquera A. and Velasco F. (1995): Tourmaline in granitic pegmatites and their country rocks, Fregeneda area, Salamanca, Spain. *The Canadian Mineralogist*, vol. 33, 835-848. Hawthorne, F., & Henry, D. (1999). Classification of the minerals of the tourmaline group. *European Journal of Mineralogy*, 11(2), 201-215.
- Wieser (1971): Tourmaline from piemontite – tourmalin – ferriphengite segregation in epizonal crystalline schists.
- Μιχαηλίδης Κ., Σοφιάνσκα Ε., Σολδάτος Τ. (2012). Ζωνώδεις Ca-ούχοι τουρμαλίνες στα κοιτάσματα σμύριδας της νήσου Νάξου, ΝΑ Ελλάδα. *Επιστημονική Επετηρίδα, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τιμητική έκδοση στη μνήμη του ομότιμου καθηγητή Κ. Σολδάτου, Ειδικός τόμος* 101, 71-77.
- Πέτικα, Ε. (2014). Μελέτη της σύστασης του τουρμαλίνη σε πηγματιτικές φλέβες στη Γερακινή Χαλκιδικής. *Διπλωματική εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., σελ.39.*



Ιστοχώροι

https://www.jewelsforme.com/gem_and_jewelry_library/achroite
<https://thecrystalcouncil.com/crystals/indicolite>
<https://www.ajsgem.com/gemstone-information/rubellite-tourmaline-52.html>
https://www.spiritofisis.org/knowledge/crystal_files/tourmaline_schorl.htm
<https://www.minerals.net/mineral/dravite.aspx>
<https://www.sciencedirect.com/topics/biochemistry-genetics-and-molecular-biology/tourmaline>
<https://en.wikipedia.org/wiki/Tourmaline>
<https://thecrystalcouncil.com/crystals/uvite>
https://www.spiritofisis.org/knowledge/crystal_files/tourmaline_verdelite.htm
<https://thecrystalcouncil.com/crystals/watermelon-tourmaline>
<https://armonissimo.com/el/stones/gems>
http://www.geo.auth.gr/106/8_silicates/cyclo/tourmaline.htm
<https://www.mindat.org/min-454.html>
<https://www.geologyin.com/2021/07/watermelon-tourmaline-what-is.html>
<https://gr.pinterest.com/pin/861594972430923915>