



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



ΔΡΑΓΩΓΙΑ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΜΑΡΙΑ

ΟΜΑΔΑ ΣΠΙΝΕΛΛΙΩΝ: ΔΟΜΗ, ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ, ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2022



[λευκή σελίδα]



ΔΡΑΓΩΓΙΑ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΜΑΡΙΑ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5763

ΟΜΑΔΑ ΣΠΙΝΕΛΛΙΩΝ: ΔΟΜΗ, ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ, ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,
Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας

Επιβλέπουσα

Παπαδοπούλου Λαμπρινή, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Α.Π.Θ



© Αναστασία Μαρία Δραγώγια, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, 2022
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
ΟΜΑΔΑ ΣΠΙΝΕΛΛΙΩΝ: ΔΟΜΗ, ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ, ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ– *Πτυχιακή Εργασία*

© Anastasia Maria Dragogia, School of Geology, Dept. of Mineralogy-Petrology-Economic Geology, 2022
All rights reserved.
SPINEL GROUP: STRUCTURE, MINERAL CHEMISTRY, OCCURRENCES. - *Bachelor Thesis*

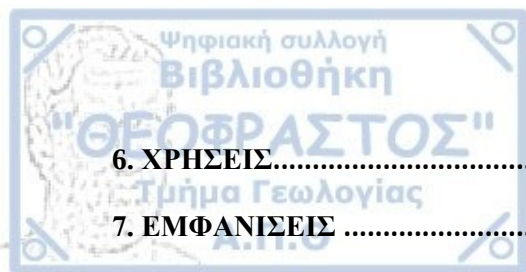
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται 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: Κρύσταλλος σπινελλίου σε ασβεσίτη (<https://www.wikiwand.com>)



ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ABSTRACT	2
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
2. ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΔΟΜΗ.....	4
3. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ.....	8
4. ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	11
5. ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΛΗ	15
5.1. ΣΕΙΡΑ ΤΟΥ ΑΡΓΙΛΙΟΥ	15
5.1.1. Σπινέλλιος ($MgAl_2O_4$).....	15
5.1.2. Ερκυνίτης ($Fe^{2+}Al_2O_4$)	17
5.1.3. Γκανίτης ($ZnAl_2O_4$).....	18
5.1.4. Γαλαξίτης ($MnAl_2O_4$)	18
5.1.5. Πλεόναστο (Mg,Fe) Al_2O_4).....	19
5.2. ΣΕΙΡΑ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ	20
5.2.1 Μαγνησιοφερρίτης ($MgFe_2^{3+}O_4$)	20
5.2.2 Μαγνητίτης ($Fe^{2+}Fe_2^{3+}O_4$).....	20
5.2.3. Φρανκλινίτης ($ZnFe_2^{3+}O_4$)	23
5.2.4. Ιακοβσίτης ($MnFe_2^{3+}O_4$)	24
5.2.5. Τρεβορίτης ($NiFe_2^{3+}O_4$).....	25
5.3. ΣΕΙΡΑ ΤΟΥ ΧΡΩΜΙΟΥ	25
5.3.1. Χρωμίτης ($FeCr_2O_4$)	25
5.3.2. Μαγνησιοχρωμίτης ($MgCr_2O_4$)	30
5.4. Μαγκεμίτης(γ - $Fe^{3+}O_4$)	30
5.5. Ουλβοσπινέλλιος ($Fe^{2+}TiO_4$).....	31



6. ΧΡΗΣΕΙΣ.....	32
7. ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ	33
7.1. Σπινέλλιοι στη Σρι Λάνκα	33
7.2. Σπινέλλιοι στη Μιανμάρ.....	35
7.3. Μπλε Σπινέλλιοι στο Βιετνάμ.....	36
7.4. Κοιτάσματα χρωμίτη στο εξωτερικό.....	38
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	39



Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η περιγραφή της δομής, της ορυκτοχημείας και των εμφανίσεων της ομάδας των σπινελλίων. Η ομάδα αυτή έχει χαρακτηριστικό χημικό τύπο AB_2O_4 . Τα στοιχεία A είναι δισθενή κατιόντα (όπως Fe^{2+} και Mg^{2+}) ενώ τα στοιχεία B είναι τρισθενή κατιόντα (όπως Fe, Cr, Al). Κρυσταλλώνονται στο κυβικό σύστημα, ενώ η ομάδα συμμετρίας χώρου είναι $Fd3m$. Η σκληρότητα τους στην κλίμακα Mohs είναι 8, η λάμψη τους είναι υαλώδης και τα χρώματα τους ποικίλλουν ανάλογα με την αναλογία των στοιχείων που περιέχονται σε αυτά.

Με βάση το στοιχείο στην θέση B οι σπινέλλιοι διακρίνονται σε 3 ομάδες:

- Σειρά του αργιλίου (σπινελλίου), όπου στη θέση B υπάρχει το αργίλιο
- Σειρά του σιδήρου (μαγνητίτη), όπου στη θέση B υπάρχει ο σίδηρος
- Σειρά του χρωμίου (χρωμίτη), όπου στη θέση B υπάρχει το χρώμιο

Μικροσκοπικά οι σπινέλλιοι είναι ισότροποι. Γίνεται ανάλυση των μελών των σειρών των σπινελλίων, καθώς και οι χρήσεις τους. Τέλος, αναφέρονται οι κυριότερες εμφανίσεις τους ανά τον κόσμο καθώς και τα κυριότερα χαρακτηριστικά που εμφανίζουν σε διάφορες περιοχές.



ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is the description of the structure, the mineral chemistry and the occurrences of the spinel group. This mineral group has the characteristic chemical formula AB_2O_4 . Elements A are divalent cations (such as Fe and Mg) while elements B are trivalent cations (such as Fe, Cr, Al). Spinel crystals crystallize in the cubic system and their space symmetry group is $Fd\bar{3}m$. Members of the spinel group have a hardness of 8 on the Mohs scale, their luster is vitreous and their colors vary depending on their chemical composition.

Based on the element in position B spinels are subdivided into three series:

- Aluminum (spinel) series, when Al occupies position B
- Iron (magnetite) series, when Fe^{3+} occupies position B
- Chromium (chromite) series, when Cr occupies position B

Under the polarizing microscope, spinels are isotropic. Afterwards, the members of the three series are described, as well as their uses. Finally, their main occurrences around the world are mentioned as well as the main features they display in different areas.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η περιγραφή της δομής και της ορυκτοχημείας της ομάδας των Σπινελίων, καθώς και τα πετρώματα στα οποία εμφανίζονται. Πρόκειται για μία ομάδα ορυκτών με χημικό τύπο AB_2O_4 . Τα Α είναι δισθενή κατιόντα (όπως Fe^{2+} και Mg^{2+}) ενώ τα Β είναι τρισθενή κατιόντα (όπως Fe^{3+} , Cr^{3+} , Al^{3+}).

Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά για τα κρυσταλλογραφικά στοιχεία και τη δομή των Σπινελίων. Περιγράφεται το σύστημα κρυστάλλωσης, ομάδα συμμετρίας, κρυσταλλική μορφή, καθώς και οι φυσικές τους ιδιότητες όπως λάμψη, χρώμα και σκληρότητα.

Στη συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της χημικής σύστασης των Σπινελίων. Αναφέρεται η αναλογία τους σε οξείδια και παρατίθενται διάφορα σχήματα για την ταξινόμησή τους ανάλογα με τα μέλη της ομάδας.

Επιπρόσθετα, στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται οι φυσικές και οπτικές ιδιότητες των μελών της ομάδας. Περιγράφονται οι ιδιότητες τους κάτω από τα διάφορα μικροσκόπια και πως παρατηρούνται φυσικά.

Στο τέταρτο κεφάλαιο καταγράφονται τα βασικά μέλη της ομάδας. Η κάθε ομάδα απαρτίζεται από διάφορα μέλη ανάλογα με το δισθενές κατιόν.

Ακόμη, επισημαίνονται οι χρήσεις τους στην καθημερινή ζωή και που έχουμε εμφανίσεις τους ανά τον κόσμο.

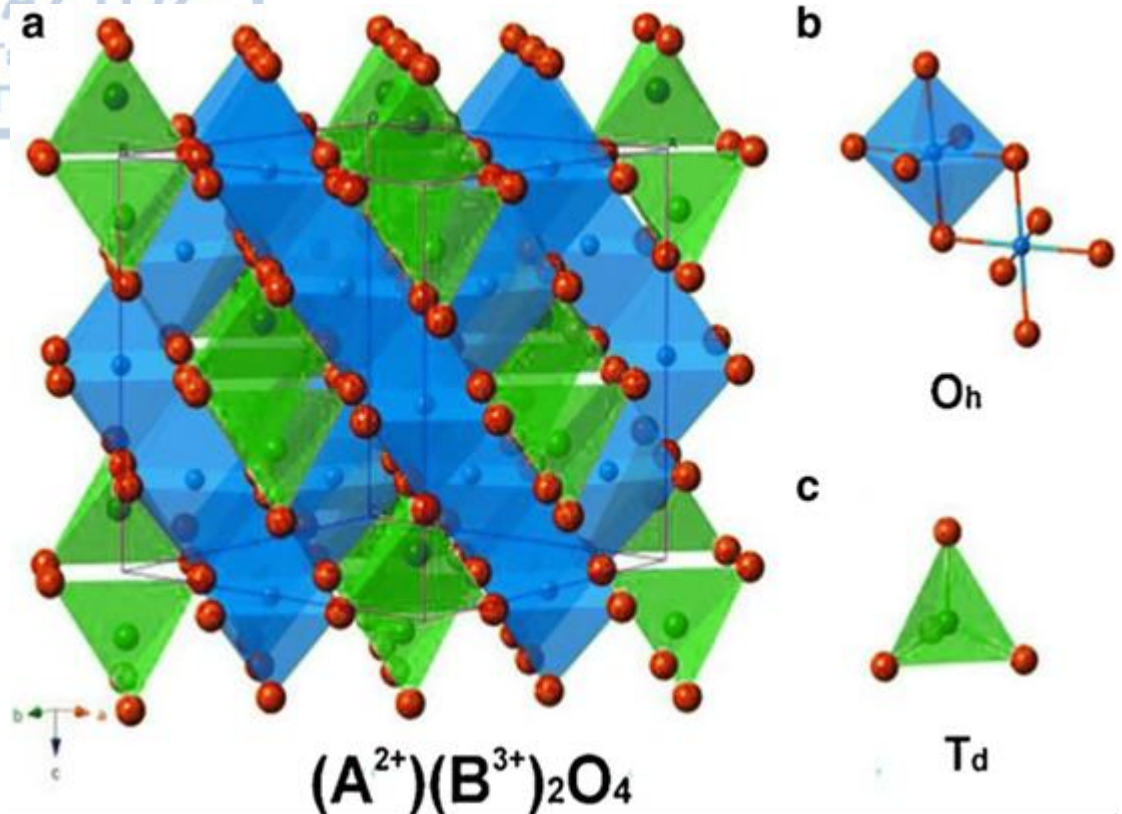
Το όνομα της ομάδας προέρχεται από τη Λ. Αμερική, από τη λέξη spinella που σημαίνει μικρό αγκάθι, λόγω του σχήματος των κρυστάλλων.

2. ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΔΟΜΗ

Ο Σπινέλλιος κρυσταλλώνεται στο κυβικό σύστημα και ανήκει στην ομάδα συμμετρίας χώρου $Fd3m$. Πρόκειται για μία ομάδα ορυκτών με χημικό τύπο AB_2O_4 . Τα A είναι δισθενή κατιόντα (όπως δισθενής σίδηρος και δισθενές μαγγάνιο) ενώ τα B είναι τρισθενή κατιόντα (όπως τρισθενής σίδηρος, τρισθενές χρώμιο, τρισθενές αργίλιο). Η κρυσταλλική του μορφή είναι οκτάεδρο (Εικ. 2.1) και ρομβικό δωδεκάεδρο. Εμφανίζει διδυμία κατά (111). Η σκληρότητα του είναι 8 στην κλίμακα Mohs, ενώ η πυκνότητά του είναι $3,55 \text{ gr/m}^3$. Η λάμψη του είναι υαλώδης και το χρώμα λευκό, κόκκινο, κυανό, πράσινο, καστανό και μαύρο.



Εικόνα. 2.1. Σπινέλιος με οκταεδρικό σχήμα κρυστάλλων (πηγή: www.diamondlab.org)

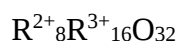


Σχήμα. 2.1 Κρυσταλλική δομή ανάστροφου Σπινέλλιου (https://www.researchgate.net/figure/The-crystal-structure-on-inverse-spinel_fig2_350620777)

Η κυψελίδα των ορυκτών της ομάδας των σπινελίων αποτελείται από 32 ιόντα οξυγόνου και 24 κατιόντα. Οκτώ από τα κατιόντα βρίσκονται σε τετραεδρική διάταξη (θέσεις A) και δεκαέξι σε οκταεδρική διάταξη (θέσεις B). Οι τετραεδρικοί χώροι είναι μικρότεροι από τους οκταεδρικούς χώρους.

Υπάρχουν δύο είδη κρυσταλλογραφικών δομών: οι κανονικοί και οι ανάστροφοι σπινέλλιοι ανάλογα με την κατανομή των ιόντων στις θέσεις A και B. Έτσι, στους κανονικούς σπινέλλιους η οκταεδρική θέση B καταλαμβάνεται από 16 δισθενή ιόντα, ενώ στους ανάστροφους η ίδια θέση καταλαμβάνεται από 8 δισθενή και 8 τρισθενή ιόντα (Σχ. 2.1).

Ο γενικός χημικός τύπος των σπινελίων είναι:



Και οι 2 κατανομές των κατιόντων είναι:

Κανονική: $8R^{2+}$ στη θέση A και $16R^{3+}$ στη θέση B

Ανάστροφη: $8R^{2+}$ στη θέση A και $8R^{2+} + 8R^{3+}$ στη θέση B

Ο γενικός τύπος που δίνει την παράμετρο a της κυψελίδας σε σχέση με την ιοντική ακτίνα των δισθενών και τρισθενών ιόντων είναι:

$$a(\text{\AA}) = 5.790 + 0.95R^{2+} + 2.79R^{3+}.$$

Νόμος των Σπινελίων: Σύμφωνα με αυτόν το επίπεδο διδυμίας είναι παράλληλο με μια από τις παράπλευρες έδρες του οκταεδρικού κρυστάλλου. Το επίπεδο διδυμίας δρα ως καθρέπτης, δημιουργώντας ένα κρύσταλλο στα αριστερά και ένα στα δεξιά του, που είναι κατοπτρικοί ο ένας ως προς τον άλλο. Η διδυμία αυτή έχει την ιδιαιτερότητα ότι το επίπεδό της δεν είναι παράλληλο με κανένα άλλο κατοπτρικό επίπεδο του κρυστάλλου. Η διδυμία αυτή, αν και υποβαθμίζει την τελική συμμετρία του (δίδυμου) κρυστάλλου, δημιουργεί πολύ όμορφα συμπλέγματα, γι' αυτό και θεωρούνται περιζήτητα (Εικ. 2.2).

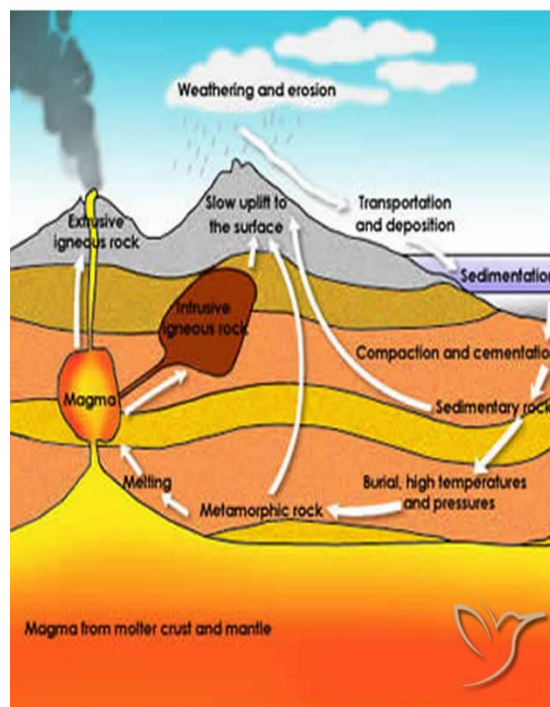


Εικόνα. 2.2. Σπινέλλιος με διδυμία κατά (111), σύμφωνα με το νόμο των Σπινελίων
(πηγή: www.geomrockauctions.com)

Είναι ένα ορυκτό υψηλής θερμοκρασίας και παρατηρείται σε μεταμορφωμένους από επαφή ασβεστόλιθους και μεταμορφωμένα αργιλικά πετρώματα φτωχά σε διοξείδιο του πυριτίου. Οι Σπινέλλιοι συναντώνται σε περιοχές και συνθήκες παρόμοιες με αυτές των

ρουμπινιών και των ζαφειριών μέσα σε πυριγενή πετρώματα ως αποτέλεσμα μεταμόρφωσης επαφής. (Θεοδωρίκας 2017).

Η διαδικασία σχηματισμού έχει ως εξής: Μάγμα αναδύεται προς την επιφάνεια της γης και έρχεται σε επαφή με ιζηματογενή πετρώματα. Η θερμότητα από το λιωμένο μάγμα ψήνει και λιώνει αυτά τα πετρώματα και μερικές φορές ατμός και αέρια πλούσια σε διάφορα συστατικά εγχέονται στο μίγμα. Με την πάροδο του χρόνου το νέο μείγμα ψύχεται, σκληραίνει και σχηματίζονται κρύσταλλοι σε κενά και σχισμές, συμπεριλαμβανομένου και του σπινελλίου. Ο Σπινέλλιος σχηματίζεται από ένα μείγμα μαγνησίου, αλουμινίου και οξυγόνου, αν και δεν είναι σχεδόν ποτέ καθαρό, με άλλες χημικές ουσίες που προστίθενται κατά τη διάρκεια γέννησης και ανάπτυξης του. (Σχ. 2.2)



Σχήμα. 2.2. Συνθήκες δημιουργίας σπινελλίων (www.gemselect.com/gem-info/spinel/spinel-info.php)

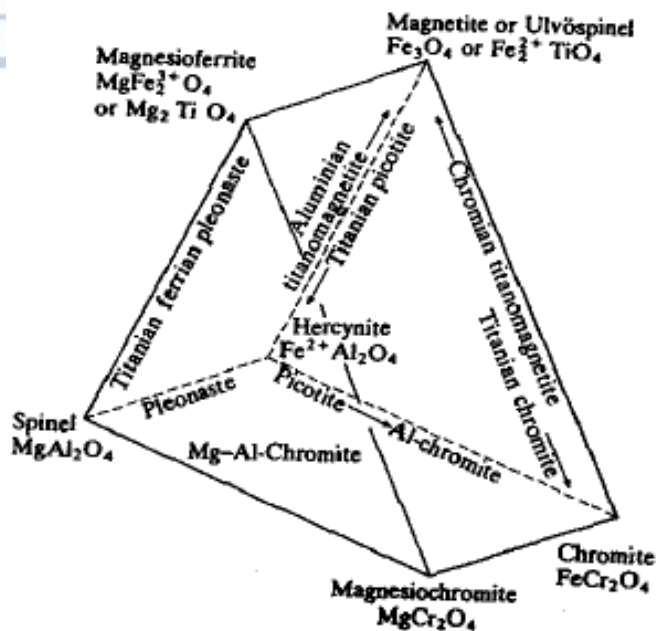
Η δομή των σπινελλίων σε σχέση με την δομή άλλων ορυκτών του κυβικού συστήματος διαφέρει, όπως για παράδειγμα από το γρανάτη. Οι γρανάτες έχουν συχνά καλά ανεπτυγμένη οκταεδρική μορφή και δίδυμους κρυστάλλους κατά (111). Όταν λείπουν αυτά τα χαρακτηριστικά, οι ροζ, κόκκινοι ή καφέ σπινέλλιοι μπορούν να διακριθούν από τα μέλη της σειράς των γρανατών από τους χαμηλότερους δείκτες διάθλασης και το ειδικό βάρος τους. Όμως, υπάρχουν και μέλη που μπορεί να έχουν χαρακτηριστικές διαφορές σε σχέση με τους περισσότερους σπινέλλιους. Το περικόλαστο, για παράδειγμα, διαφέρει από τους άλλους σπινέλλιους στο ότι έχει τέλεια διάσπαση κατά 001.

3. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ

Η χημική σύσταση του σπινελλίου είναι MgO 28,2% και Al_2O_3 71,8%. Ο γενικός χημικός τύπος της ομάδας των σπινελίων είναι XY_2O_4 . Τα X αφορούν ένα ή περισσότερα δισθενή στοιχεία όπως ο σίδηρος, το μαγγάνιο, ο ψευδάργυρος, το μαγνήσιο και το νικέλιο. Τα Y συνδέονται με ένα ή περισσότερα τρισθενή στοιχεία όπως το αργίλιο, ο σίδηρος, το χρώμιο, το μαγγάνιο. Με βάση τα στοιχεία που βρίσκονται στην θέση Y, έχουμε τρεις διαφορετικές σειρές στην ομάδα των σπινελίων οι οποίες είναι:

- Σειρά του αργιλίου (σπινελίου), όπου στη θέση Y υπάρχει το αργίλιο
- Σειρά του σιδήρου (μαγνητίτη), όπου στη θέση Y υπάρχει ο σίδηρος
- Σειρά του χρωμίου (χρωμίτη), όπου στη θέση Y υπάρχει το χρώμιο

Με βάση τις διάφορες αντικαταστάσεις στη θέση X προκύπτουν τα διάφορα ορυκτά της ομάδας αυτής. Στη σειρά του αργιλίου ανήκουν τα ορυκτά Σπινέλλιος ($MgAl_2O_4$), Ερκυνίτης($Fe^{2+}Al_2O_4$), Γκανίτης ($ZnAl_2O_4$), Γαλαξίτης ($MgAl_2O_4$), Πλέοναστο ($(Mg,Fe)Al_2O_4$). Στη σειρά του σιδήρου ανήκουν τα ορυκτά Μαγνησιοφερρίτης ($MgFe_2^{3+}O_4$), Μαγνητίτης ($Fe^{2+}Fe_2^{3+}O_4$), Φρανκλινίτης ($ZnFe_2^{3+}O_4$), Ιακοβσίτης ($MnFe_2^{3+}O_4$) και ο Τρεβορίτης ($NiFe_2^{3+}O_4$). Στη σειρά του χρωμίου ανήκουν τα ορυκτά Χρωμίτης ($FeCr_2O_4$) και Μαγνησιοχρωμίτης ($MgCr_2O_4$). Επίσης, ο Μαγκεμίτης ($\gamma-Fe^{3+}O_4$) και ο Ουλβοσπινέλλιος ($Fe^{2+}TiO_4$) έχουν δομή σπινέλλιου. Ο Μαγκεμίτης έχει ανεπάρκεια κατιόντων στη δομή του ενώ στον Ουλβεσπινέλλιο υπάρχει η αντικατάσταση $2Fe^{3+}$ με Fe^{2+} και Ti^{4+} (Θεοδωρίκας, 2017, Deer et al., 1992, 1996)). Τα αυτόχθονα ακραία μέλη σπάνια βρίσκονται ως φυσικά ορυκτά (Σχ. 3.1.)



Σχήμα. 3.1. Ονοματολογία των μελών της ομάδας των σπινελίων με βάση τη χημική τους σύσταση (Deer et al., 1992, 1996)

Στο παρακάτω σχήμα (Σχ.3.2.) παρατίθενται χημικές αναλύσεις διάφορων ορυκτών της ομάδας των σπινελίων. Στην ανάλυση 1 παρατηρείται σπινέλλιος σε πυροξενίτη που συλλέχθηκε στην Κεντρική Αυστραλία. Το ποσοστό σε οξείδιο του αργιλίου είναι αρκετά υψηλό (64,85%), πράγμα που φανερώνει και την σειρά στην οποία ανήκει. Στην ανάλυση 2 παρατηρείται ερκυνίτης που συλλέχθηκε στην Βαυαρία. Και εδώ, το ποσοστό σε οξείδιο του αργιλίου είναι αρκετά υψηλό (60,7%), πράγμα που φανερώνει και την σειρά την οποία ανήκει. Στην ανάλυση 3 παρατηρείται γκανίτης που συλλέχθηκε στην Γροιλανδία. Επίσης, το ποσοστό σε οξείδιο του αργιλίου είναι αρκετά υψηλό (58,18%), πράγμα που φανερώνει και την σειρά στην οποία ανήκει. Στην ανάλυση 4 παρατηρείται μαγνητίτης που συλλέχθηκε στην Νέα Υόρκη. Τα ποσοστά σε οξείδια του δισθενούς και τρισθενούς σιδήρου είναι αρκετά υψηλά, (68,85% και 30,78%, αντίστοιχα), πράγμα που φανερώνει και την σειρά στην οποία ανήκει. Στην ανάλυση 5 παρατηρείται Ουλβεσπινέλλιος σε περοβσκίτη στη Νέα Χαμσαίρ. Τα ποσοστά σε οξείδια του δισθενούς και τρισθενούς σιδήρου είναι αρκετά υψηλά, (33,2% και 43,2% αντίστοιχα), πράγμα που φανερώνει και την σειρά στην οποία ανήκει. Στην ανάλυση 6 παρατηρείται μαγνησιοφερρίτης που συλλέχθηκε στην Κολομβία. Τα ποσοστά σε οξείδιο του χρωμίου είναι αρκετά υψηλό (43,8%), πράγμα που φανερώνει και την σειρά στην οποία ανήκει.

	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	0.28	—	—	0.27	—	0.09
TiO ₂	0.02	—	—	tr.	19.0	0.32
Al ₂ O ₃	64.85	60.7	58.18	0.21	4.3	21.6
Cr ₂ O ₃	0.03	—	—	—	—	43.8
Fe ₂ O ₃	2.21	—	—	68.85	33.2	6.86
FeO	13.70	34.7	10.50	30.78	43.2	9.26
MnO	0.01	0.2	0.08	—	—	0.30
MgO	18.74	4.3	3.30	tr.	0.2	17.2
ZnO	—	—	27.71	—	—	—
CaO	—	0.1	—	tr.	—	—
Total	99.84	100.0	99.77	100.11	99.9	99.6
Numbers of ions on the basis of 32 O						
Si	0.057	—	—	0.083	—	0.022
Al	15.564	16.01	16.01	0.077	1.473	6.159
Cr	0.005	—	—	—	—	8.373
Fe ³⁺	0.337	—	—	15.886	7.263	1.248
Ti	0.003	—	—	—	4.154	0.058
Mg	5.678	1.434	1.148	—	0.087	6.199
Fe ²⁺	2.332	6.492	2.049	7.896	10.502	1.873
Zn	—	—	4.775	—	—	—
Mn	0.002	0.038	0.015	—	—	0.061
Ca	—	0.024	—	—	—	—

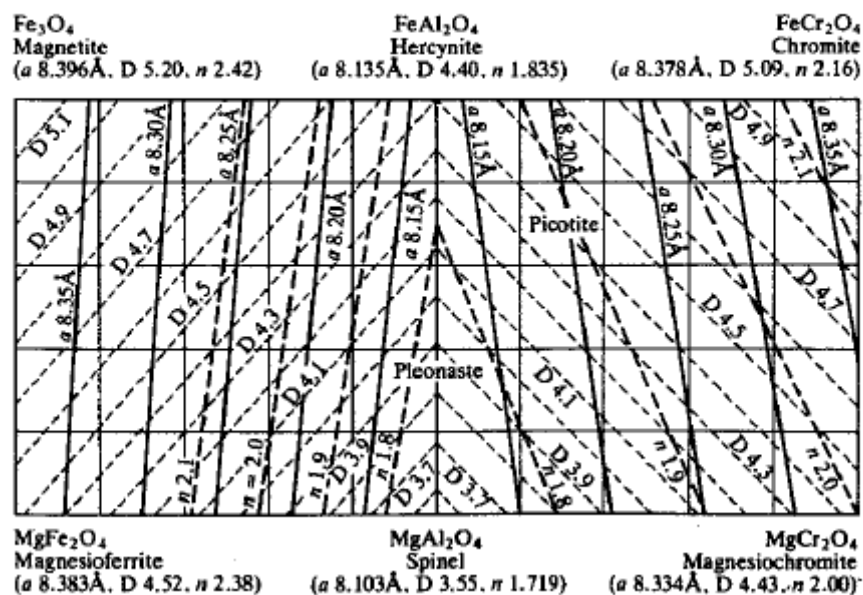
Σχ. 3.2 Χημικές αναλύσεις σε διάφορα ορυκτά της ομάδας των Σπινελλίων. 1. Σπινέλλιος σε πυροξενίτη από την Κεντρική Αυστραλία, 2. Ερκυνίτης από την Βαυαρία, 3. Γκανίτης από την Γροιλανδία, 4. Μαγνητίτης από την Νέα Υόρκη, 5. Ουλβεσπινέλλιος σε περοβσκίτη στο Νέο Χαμσαίρ, 6. Μαγνησιοφερρίτης από την Κολομβία (Deer et al. 1992, 1996)

4. ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Στη σειρά σπινελίων οι μικρότεροι δείκτες διάθλασης και τα μικρότερα ειδικά βάρη εμφανίζονται στη σειρά του Al.

Η σειρά του Cr έχει ενδιάμεσες τιμές για τους δείκτες διάθλασης και τα ειδικά βάρη ενώ οι υψηλότεροι δείκτες διάθλασης και ειδικά βάρη εμφανίζονται στη σειρά του μαγνητίτη. Τα ορυκτά της σειράς μαγνητίτη είναι συνήθως αδιαφανή και οι δείκτες διάθλασής τους (>2,3) δεν καθορίζονται συνήθως. Τα μέλη της σειράς του αργιλίου είναι τα πιο διαφανή, ακόμη και ο ερκυνίτης εμφανίζεται γενικά διαφανής με σκούρο πράσινο χρώμα σε λεπτή τομή, και είναι επίσης τα πιο διαθλαστικά μέλη της ομάδας.

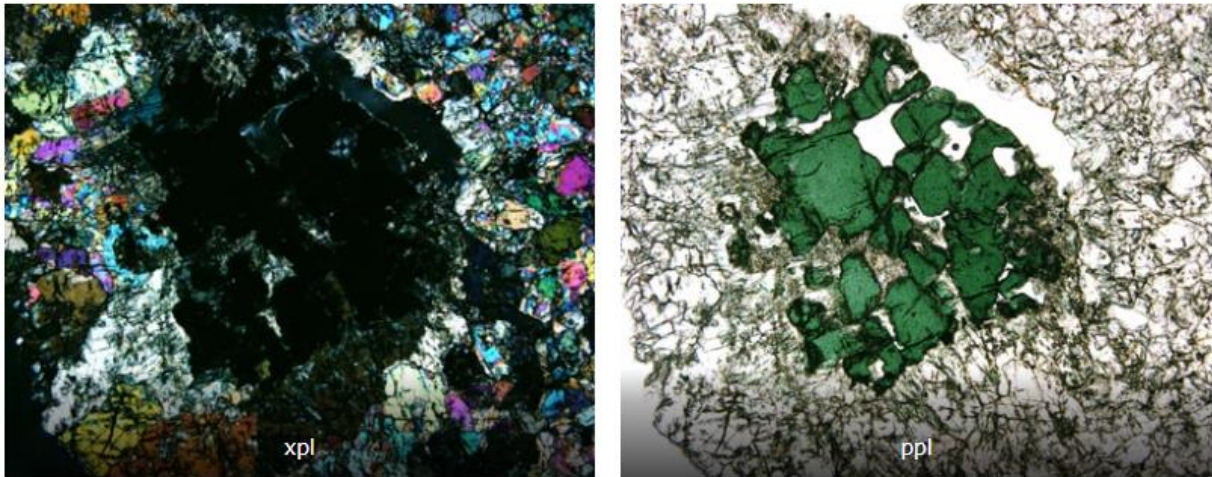
Υποθέτοντας ότι οι φυσικές ιδιότητες των σπινελίων είναι αθροιστικές συναρτήσεις των μοριακών αναλογιών των ακραίων μελών και ότι άλλα συστατικά από αυτά που απεικονίζονται δεν υπάρχουν σε σημαντικές ποσότητες, είναι εφικτό να κατασκευαστούν διαγράμματα που να σχετίζουν τα n , α , D (δείκτης διάθλασης, παράμετρος κυψελίδας, ειδικό βάρος) με τη σύσταση διαφόρων μελών της ομάδας των σπινελίων. (Σχ.4.1)



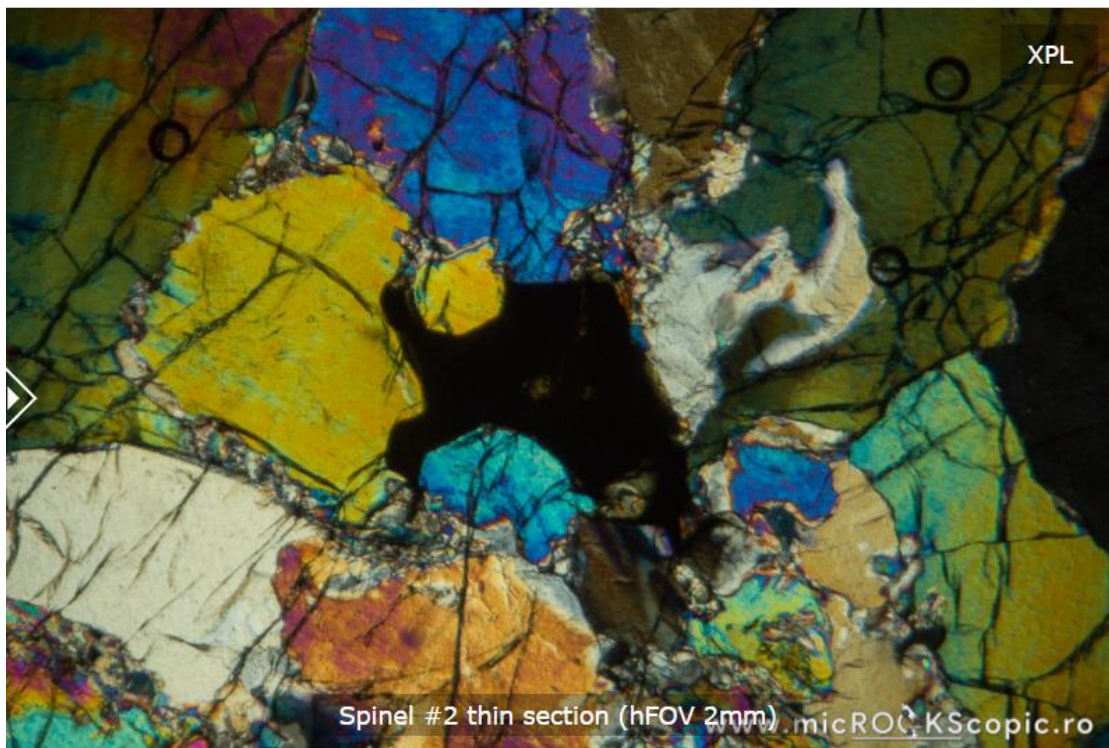
Σχήμα. 4.1 Συσχέτιση των n , D , α για διάφορα ορυκτά της ομάδας των σπινελίων (Deer et al. 1992, 1996)

Τα ορυκτά της ομάδας των σπινελίων εμφανίζονται μαύρα λόγω της ισότροπης φύσης τους κάτω από το πολωτικό μικροσκόπιο, διαθέτουν έντονο ανάγλυφο και έχουν ασθενή πλεοχροισμό (Εικ.4.1-4.5). Στο σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) οι

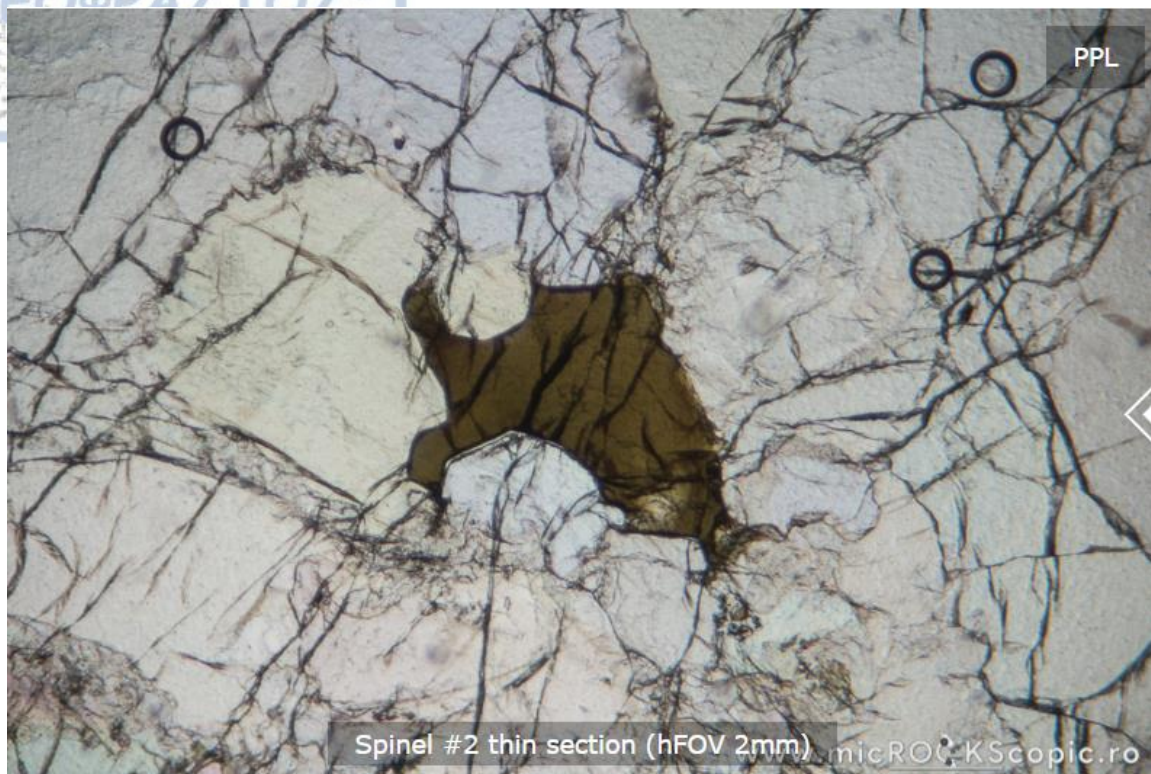
σπινέλλιοι εμφανίζονται μαύροι σε σύμφυση με άλλα ορυκτά, όπως για παράδειγμα με τον γρανάτη. (Εικ. 4.6).



Εικόνα 4.1. Σπινέλλιος στο πολωτικό μικροσκόπιο με πολωτή (αριστερά) και με πολωτή και αναλυτή. (https://geologyscience.com/minerals/spinel/#Spinel_Physical_Properties)

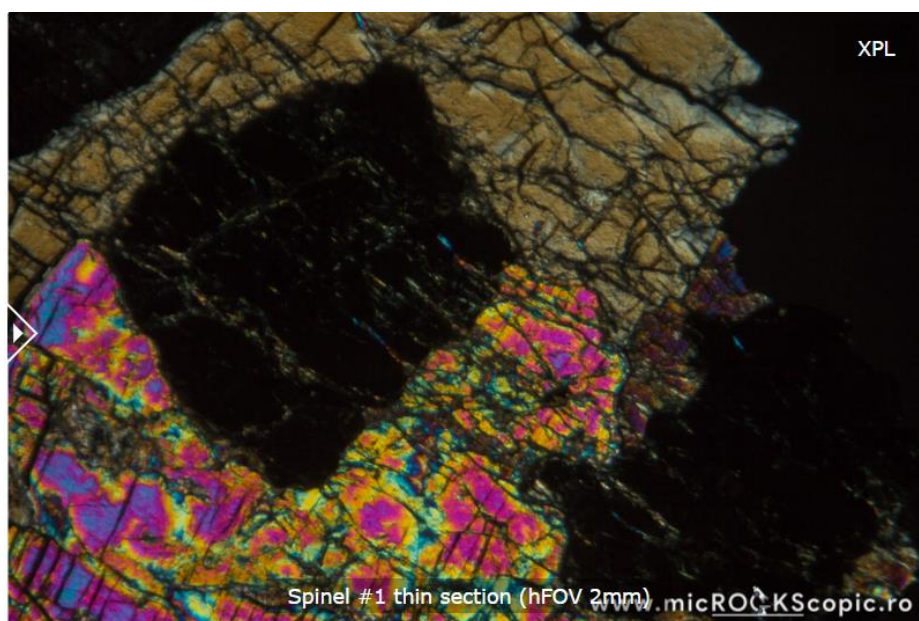


Εικόνα 4.2. Σπινέλλιος μαζί με ανισότροπα ορυκτά σε πολωτικό μικροσκόπιο με πολωτή και αναλυτή. (<http://microckscopic.ro/minerals/non-silicates/spinel-thin-section/>)

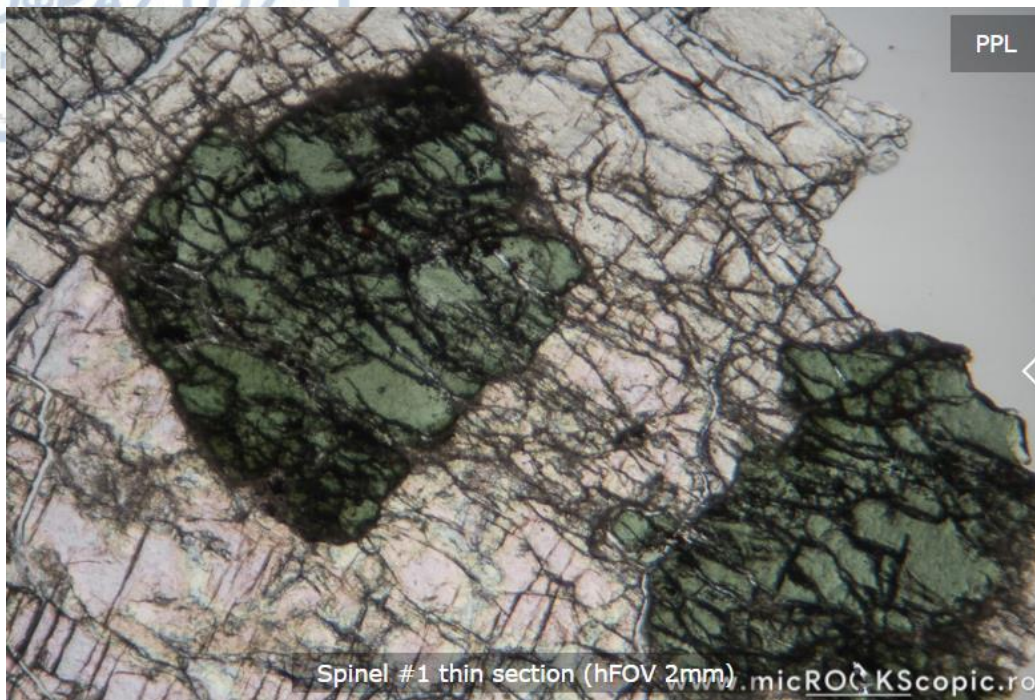


Εικόνα 4.3. Σπινέλλιος με ανισότροπα ορυκτά σε πολωτικό μικροσκόπιο μόνο με πολωτή.

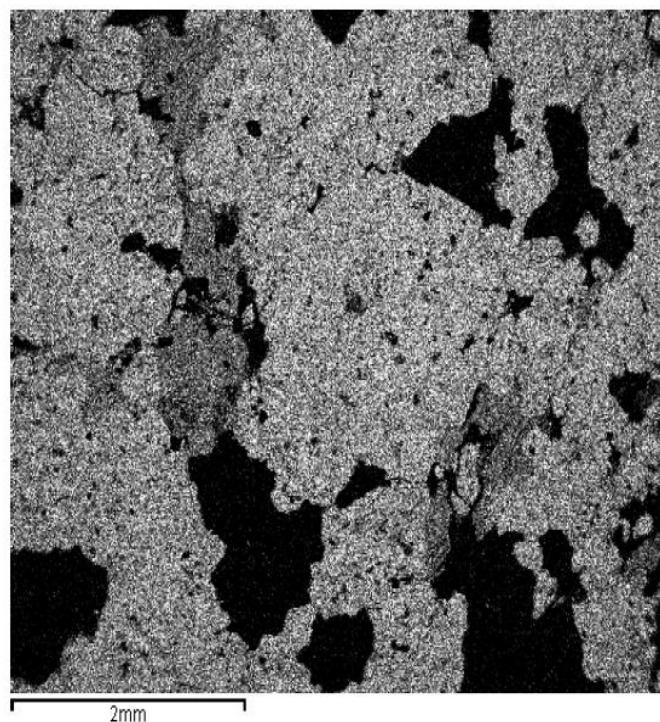
(<http://microckscopic.ro/minerals/non-silicates/spinel-thin-section/>)



Εικόνα 4.4. Σπινέλλιος μαζί με ανισότροπα ορυκτά σε πολωτικό μικροσκόπιο με πολωτή και αναλυτή. (<http://microckscopic.ro/minerals/non-silicates/spinel-thin-section/>)



Εικόνα 4.5. Σπινέλλιος με ανισότροπα ορυκτά σε πολωτικό μικροσκόπιο μόνο με πολωτή.
(<http://microrockscopicro/minerals/non-silicates/spinel-thin-section/>)



Εικόνα 4.6. Κόκκοι σπινέλλιου (μαύρο) σε σύμφυση με γρανάτη από σαρωτικό ηλεκτρικό μικροσκόπιο (Σκούπρας, 2015)

5. ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΛΗ

Τα βασικά μέλη της ομάδας των σπινελλίων διαχωρίζονται με αν το τρισθενές ανιόν είναι το αργίλιο, ο σίδηρος ή το χρώμιο.

5.1. ΣΕΙΡΑ ΤΟΥ ΑΡΓΙΛΙΟΥ

5.1.1. Σπινέλλιος ($MgAl_2O_4$). Ο σπινέλλιος είναι το μαγνησιούχο μέλος της σειράς του αργιλίου της ομάδας των σπινελλίων. Το σημείο τήξης του είναι 2135 βαθμοί Κελσίου. Το χρώμα του επηρεάζεται από τα υπόλοιπα στοιχεία τα οποία υπάρχουν σε μεγάλο ποσοστό στο πλέγμα του. Αν περιλαμβάνει σε μεγάλο ποσοστό το στοιχείο Cr το χρώμα είναι κόκκινο (Εικ.5.1.1.1). Όταν το ποσοστό του Fe^{2+} είναι αρκετά μεγάλο το χρώμα είναι μπλε (Εικ.5.1.1.2), ενώ αν περιέχει σημαντικά ποσοστά Fe^{3+} το χρώμα είναι καφέ (Εικ.5.1.1.3).

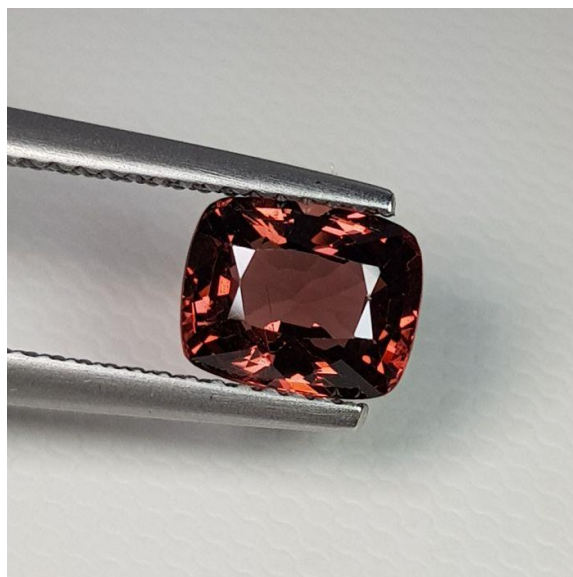
Πολλές φορές αποτελεί απομίμηση του ρουμπινιού λόγω της μεγάλης ομοιότητάς του στην σκληρότητα και στο χρώμα, όπως συνέβη και με το Βασιλικό Στέμμα της Αγγλίας (Εικ.5.1.1.4). Στο κέντρο του στέμματος ο κόκκινος κρύσταλλος που θεωρούνταν ρουμπίνι ήταν στην πραγματικότητα σπινέλλιος (Deer et al. 1992, 1996)



Εικόνα 5.1.1.1. Κόκκινη ποικιλία σπινέλλιου από την Τανζανία (<https://www.ssef.ch/spinel-from-mahenge-from-mahenge-tanzania-and-its-heat-treatment>)



Εικόνα 5.1.1.2. Μπλε ποικιλία σπινέλλιου (πηγή: www.gia.edu)



Εικόνα 5.1.1.3. Καφέ ποικιλία σπινέλλιου (<https://www.catawiki.com/en/l/17024059-pink-brown-spinel-2-01-ct>)



Εικονα 5.1.1.4. Το Βασιλικό Στέμμα της Αγγλίας με τον κρύσταλλο σπινέλλιου.
(www.siamgempalace.wordpress.com)

5.1.2. Ερκυνίτης ($Fe^{2+}Al_2O_4$). Περιγράφηκε για πρώτη φορά το 1847 και το όνομα του προέρχεται από την τοποθεσία Silva Hercynia, το μέρος που βρέθηκε για πρώτη φορά. Το χρώμα του είναι από σκούρο πράσινο μέχρι μαύρο (Εικ. 5.1.2.1). Αποτελεί το σιδηρούχο μέλος της σειράς του αργιλίου της ομάδας των σπινελλίων.



Εικόνα 5.1.2.1. Ερκυνίτης (www.wikipedia.com)

5.1.3. Γκανίτης ($ZnAl_2O_4$). Περιγράφηκε για πρώτη φορά το 1807 όταν βρέθηκε στο ορυχείο Falu από τον Σουηδό χημικό Jahan Gottied Gahn, από όπου πήρε και το όνομα του. Είναι σπάνιο ορυκτό της ομάδας των σπινελλίων. Συνήθως βρίσκεται σε μεικτά θειούχα κοιτάσματα ως προϊόν αλλοίωσης του σφαλερίτη. Μερικές φορές ονομάζεται σπινέλλιος του ψευδαργύρου, γιατί αποτελεί το ψευδαργυρούχο μέλος της αργλικής σειράς της ομάδας των σπινελλίων. Το χρώμα του μπορεί να είναι πράσινο, καστανό, κυανό, κίτρινο και γκρι. Συχνά εμφανίζεται μαζί με κρυστάλλους ασβεστίτη (Εικ. 5.1.3.1).



Εικόνα. 5.1.3.1. Γκανίτης σε κρυστάλλους ασβεστίτη (www.mindat.org)

5.1.4. Γαλαζίτης ($MnAl_2O_4$). Αποτελεί το τελικό μαγγανιούχο μέλος της αργλικής σειράς της ομάδας των σπινελλίων. Εμφανίζεται με μικρούς καστανούς και κόκκινους κόκκους. (εικόνα 5.1.4.1). Πρώτη φορά βρέθηκε το 1932 κοντά στην πόλη Galax της Βιρτζίνιας από όπου πήρε και το όνομα του. Εμφανίζει ασθενώς έως μέτρια μαγνήτιση. Βρίσκεται συνήθως σε ανθρακικούς σχηματισμούς.

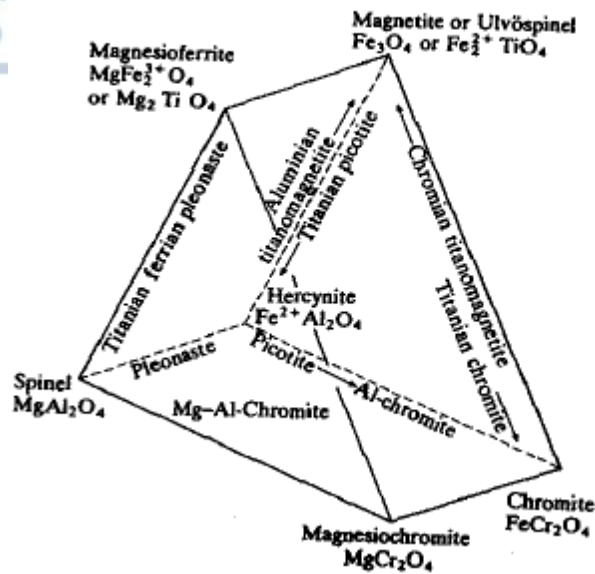


Εικόνα 5.1.4.1. Γαλαξίτης από το ορυχείο Kaso στην Ιαπωνία (www.wikipedia.com)

5.1.5. Πλεόναστο (Mg,Fe) Al_2O_4). Πήρε το όνομά του από την ελληνική λέξη «άφθονο» που δηλώνει τις πολυάριθμες κρυσταλλικές μορφές του. Μπορεί να εμφανιστεί ως αδιαφανές, σκούρο κυανό, πράσινο έως μαύρο (Εικ. 5.1.5.1). Το πλεόναστο είναι η ενδιάμεση ποικιλία από το σπινέλλιο και τον ερκυνίτη.(Σχ. 5.1.5.1)



Εικόνα 5.1.5.1. Πλεόναστο (www.wikipedia.com)



Σχ. 5.1.5.1. Το πλεόναστο αποτελεί ενδιάμεση ποικιλία μεταξύ του σπινέλλιου και του ερκυνίτη.
(Deer et al. 1992, 1996)

5.2. ΣΕΙΡΑ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ

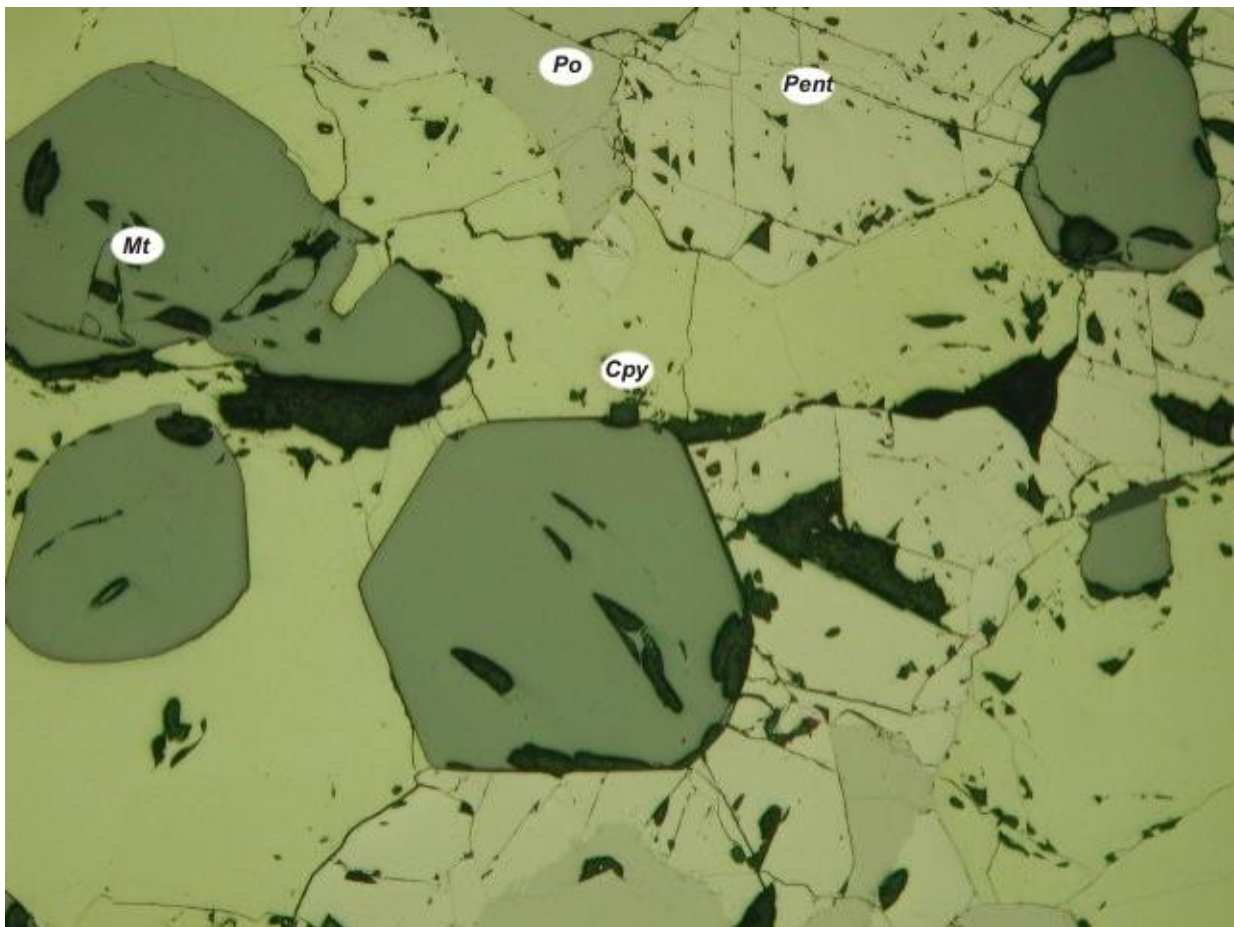
5.2.1 Μαγνησιοφερρίτης ($MgFe^{2+}O_4$). Αποτελεί μαγνησιούχο μέλος της σειράς του σιδήρου της ομάδας των σπινελίων. Οι κρύσταλλοί του συναντώνται συνήθως καλοσχηματισμένοι με το μέγεθός τους να ποικίλλει: από λεπτούς, ογκώδεις και κοκκώδεις (Εικ. 5.2.1.1). Βρίσκεται μαζί με κιμπερλίτες και ανθρακίτες.



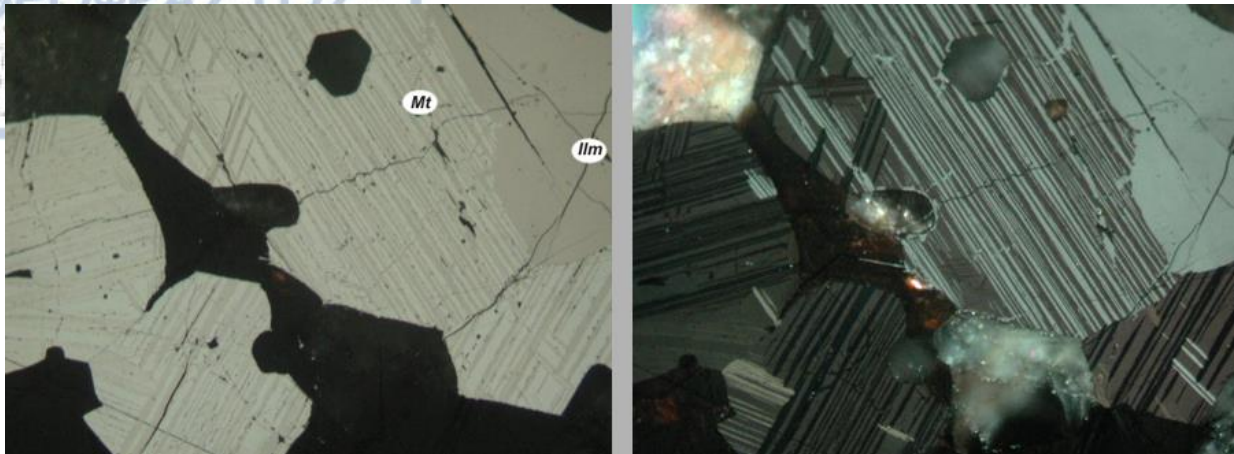
Εικόνα 5.2.1.1. Κρύσταλλος μαγνησιοφερρίτη από τη Γερμανία (www.wikipedia.com).

5.2.2 Μαγνητίτης ($Fe^{2+}Fe^{3+}O_4$). Αποτελεί σιδηρούχο μέλος της σειράς του σιδήρου της ομάδας των σπινελίων. Η σκληρότητά του είναι 6 στην κλίμακα Mohs και η

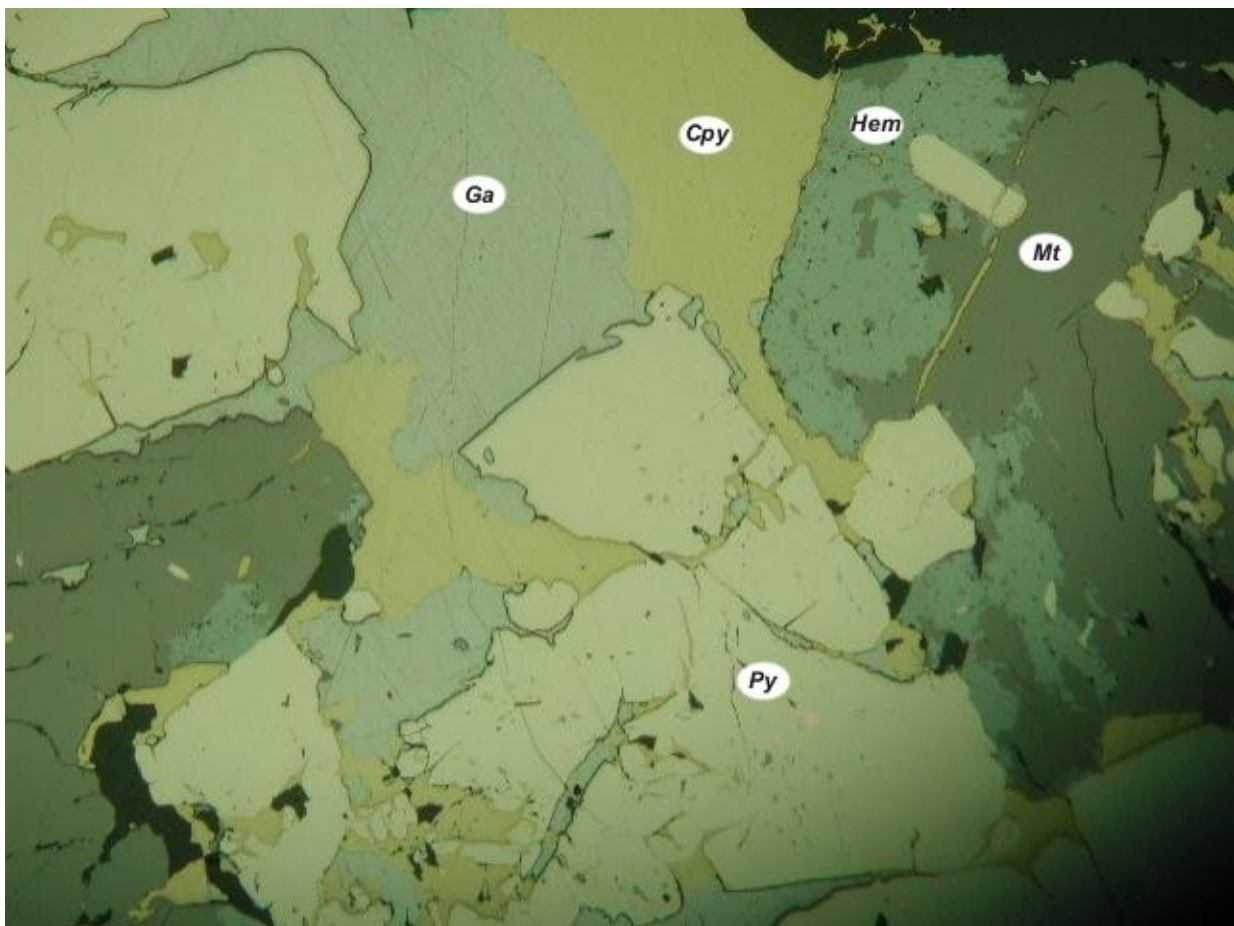
πυκνότητά του είναι $5,20 \text{ gr/m}^3$. Η χημική σύστασή του είναι 72,4% σίδηρο και 27,6% οξυγόνο. Συναντάται σε πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα σαν επουσιώδες ορυκτό. Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 600 βαθμούς Κελσίου παρατηρήθηκε πλήρης σειρά στερεών διαλυμάτων μεταξύ του μαγνητίτη και του ουβλεσπινέλλιου. Στην Ελλάδα συναντάται σε σημαντικά κοιτάσματα όπως στην Σέριφο, την Τήνο, την Εύβοια κ.α. (Θεοδωρίκας, 2017). Παρατηρείται σε παραγένεση με τα ορυκτά χαλκοπυρίτης, μαγνητοπυρίτης, πεντλανδίτης, γαληνίτης, ιλμενίτης (Εικ. 5.2.2.1-5.2.2.3). Η απόμειξη του μαγνητίτη και του ιλμενίτη αποτελεί γεωλογικό θερμόμετρο και λαμβάνει χώρα μεταξύ 600 και 650 βαθμών Κελσίου.(Εικ. 5.2.2.2). Η μετατροπή του σε αιματίτη είναι γνωστή ως μαρτιτίωση και αποτελεί σημαντική παραγένεση (Εικ. 5.2.2.3 και Εικ. 5.2.2.4).



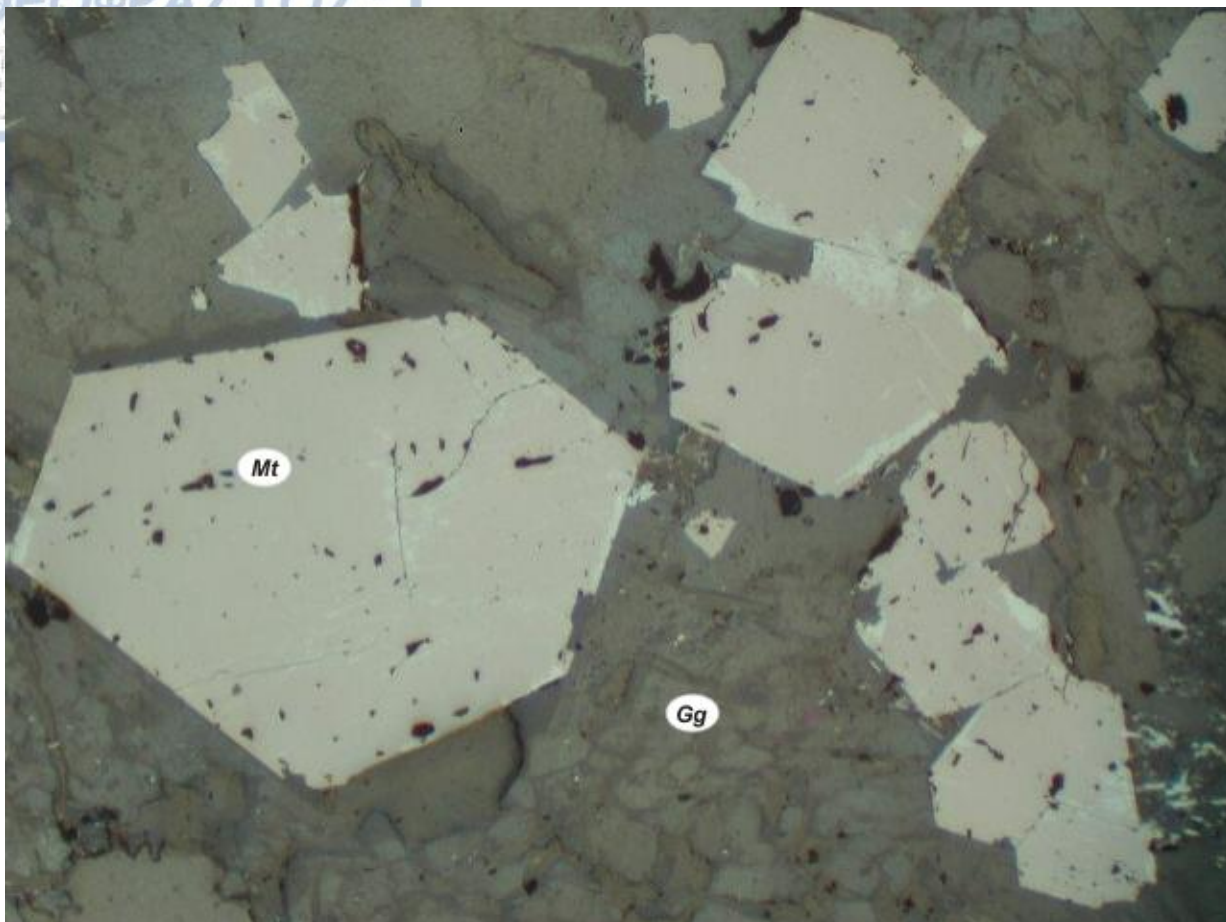
Εικόνα 5.2.2.1. Χαρακτηριστική μορφή κρυστάλλων μαγνητίτη (Mt) σε παραγένεση με χαλκοπυρίτη (Cpy), μαγνητοπυρίτη (Po) και πεντλανδίτη (Pent) (www.geo.auth.gr).



Εικόνα 5.2.2.2. Απομεικτικά σώματα ιλμενίτη (Ilm) με μορφή βελονών εντός μαγνητίτη (Mt). Παρατήρηση σε ελαιοκατάδυση μόνο με πολωτή (αριστερά) και με πολωτή και αναλυτή (δεξιά) (www.geo.auth.gr).



Εικόνα 5.2.2.3. Παραγένεση σιδηροπυρίτη (Py), χαλκοπυρίτη (Cpy), γαληνίτη (Ga) και μαγνητίτη (Mt) που μετατρέπεται σε αιματίτη (μαρτιτίωση) (www.geo.auth.gr).



Εικ. 5.2.2.4. Μαγνητίτης (Mt), που αρχίζει να μετατρέπεται σε αιματίτη (κυανόλευκο), με σύνδρομα (Gg). Η παρουσία του αιματίτη εντείνει την καστανωπή χροιά του μαγνητίτη (www.geo.auth.gr).

5.2.3. Φρανκλινίτης ($\text{ZnFe}_2^{3+}\text{O}_4$). Αποτελεί ψευδαργυρούχο μέλος της σειράς του σιδήρου της ομάδας των σπινελίων. Συναντάται με διάφορα ορυκτά, πολλά από τα οποία είναι φθορίζοντα. Συχνότερα συναντάται με ασβεσίτη και κόκκινο ψευδαργυρίτη. (Εικ. 5.2.3.1). Οι κρύσταλλοί του σχηματίζουν μορφή οκταέδρου. Είναι δευτερεύον μετάλλευμα σε κοιτάσματα θείου, ουρανίου και ψευδαργύρου. Πήρε το όνομα του από το ορυχείο Franklin στο Νιου Τζέρσεϊ.



Εικόνα 5.2.3.1. Φρανκλινίτης (μαύρο) μαζί με κόκκινο ψευδαργυρίτη (www.wikipedia.com).

5.2.4. Ιακοβσίτης ($MnFe_2^{3+}O_4$). Αποτελεί μαγγανιούχο μέλος της σειράς του σιδήρου της ομάδας των σπινελίων. Υπάρχει σαν πρωτογενής φάση ή ως αλλοίωση άλλων ορυκτών σε κοιτάσματα μαγγανίου. Έχει ασθενή μαγνητική επιδεικτικότητα. Συχνά οι κρύσταλλοι του μοιάζουν με αυτούς του μαγνητίτη (Εικ. 5.2.4.1).



Εικόνα 5.2.4.1 Ιακοβσίτης (www.wikepedia.com).

5.2.5. Τρεβορίτης ($\text{NiFe}_2^{3+}\text{O}_4$). Αποτελεί νικελιούχο μέλος της σειράς του σιδήρου της ομάδας των σπινελίων. Είναι ένα μαύρο ορυκτό με μαύρες ραβδώσεις και αδιάλυτο στα περισσότερα οξέα. Εμφανίζεται σε θειούχα κοιτάσματα μέσα σε γάββρους και περιδοτίτες (Εικ. 5.2.5.1).



Εικόνα 5.2.5.1. Τρεβορίτης (www.mindat.org).

5.3. ΣΕΙΡΑ ΤΟΥ ΧΡΩΜΙΟΥ

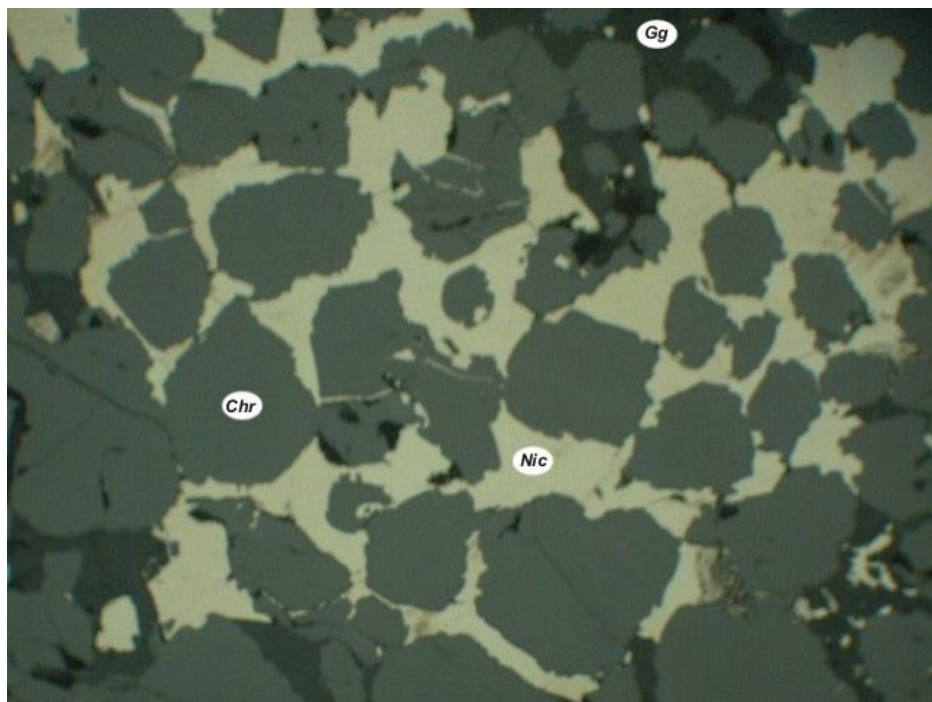
5.3.1. Χρωμίτης (FeCr_2O_4). Θεωρείται το σιδηρούχο μέλος της σειράς του χρωμίου της ομάδας των σπινελίων. Η σκληρότητά είναι 5,5 στην κλίμακα Mohs και η πυκνότητά του $5,09 \text{ gr/m}^3$. Η χημική σύσταση του χρωμίτη είναι 32% σίδηρος και 68% οξυγόνο. Απαντάται ως πρωτογενές ορυκτό σε περιδοτίτες και γενικά σε υπερβασικά πετρώματα. Θεωρείται πως είναι από τα πρώτα ορυκτά που κρυσταλλώνονται από το μάγμα. Στην Ελλάδα απαντάται στην Κοζάνη στην περιοχή του Βούρινου, στην Χαλκιδική κ.ά. (Θεοδωρίκας, 2017). Μακροσκοπικά έχει διάφορες μορφές, όπως η ταινιοειδής (Εικ. 5.3.1.1) και η καμηλοπαρδάλεως ή διάσπαρτη (Εικ. 5.3.1.2). Βρίσκεται σε παραγένεση με νικελίνη (Εικ. 5.3.1.3), μαγνητοπυρίτη, χαλκοπυρίτη (Εικ. 5.3.1.4) και σιδηροχρωμίτη (Εικ. 5.3.1.5). Ο χρωμίτης μπορεί να εμφανίζει έντονη κατακλαστική υφή η οποία διακρίνεται και κάτω από το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (Εικ. 5.3.1.6), αναπτύσσει σχισμό κατά 111 (Εικ. 5.3.1.7) και μπορεί να σχηματίζει ζωνώδεις κρυστάλλους (Εικ. 5.3.1.8). Εμφανίζει μυλωνιτίωση (Εικ. 5.3.1.6) και γύρω του μπορεί να αναπτυχθεί επιταξικά μαγνητίτης (Εικ. 5.3.1.9).



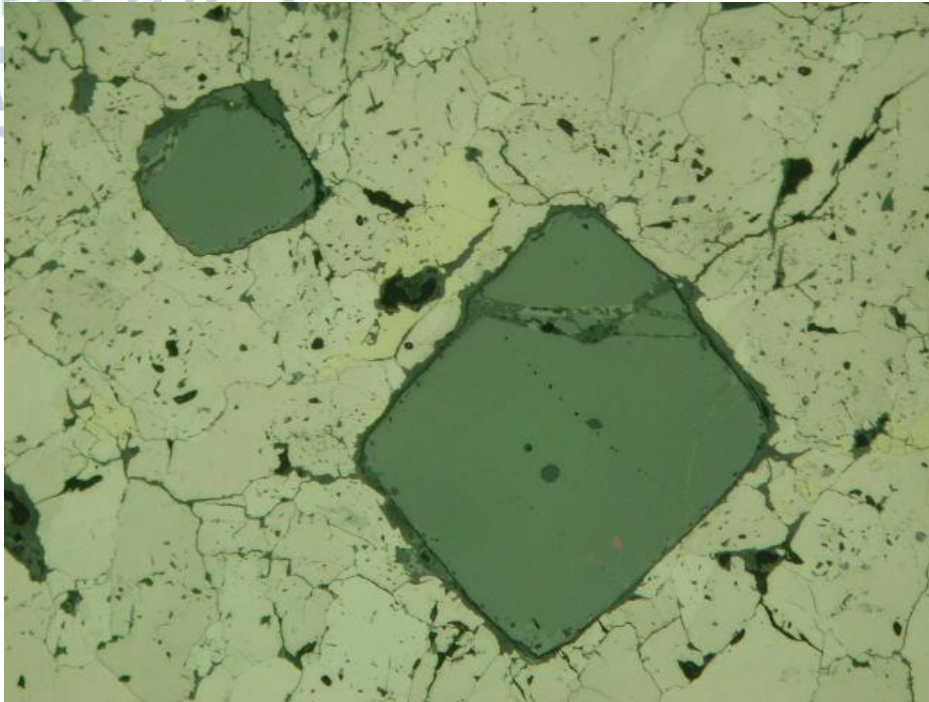
Εικόνα 5.3.1.1. Ταινιοειδής μορφή χρωμίτη (www.geo.auth.gr).



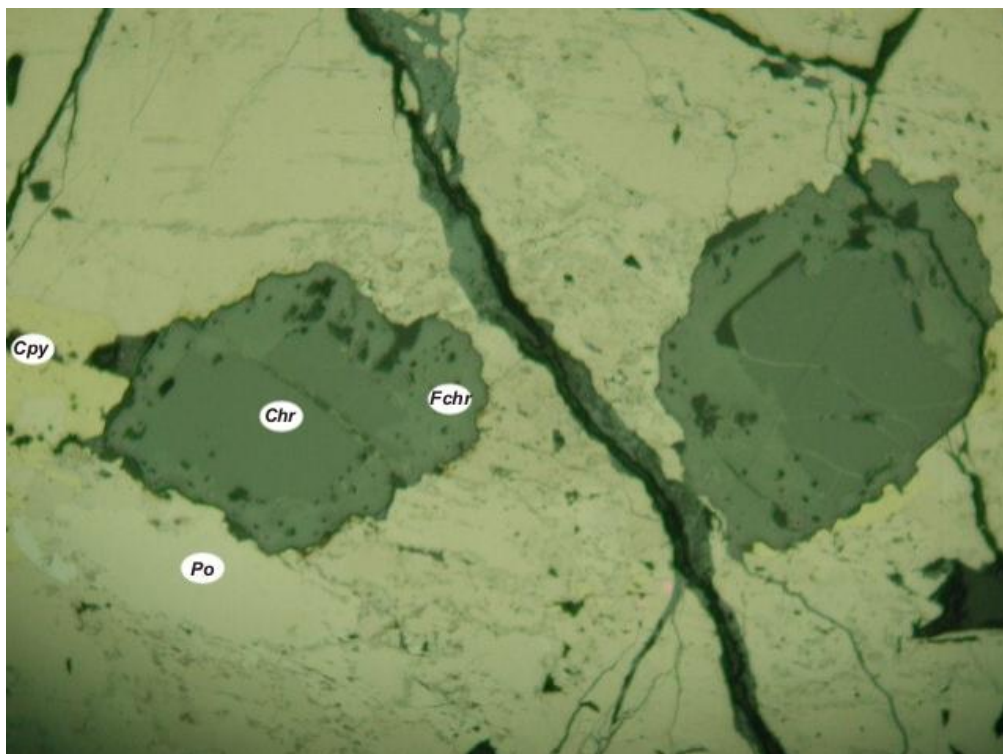
Εικόνα 5.3.1.2. Διάσπαρτη μορφή χρωμίτη (www.geo.auth.gr).



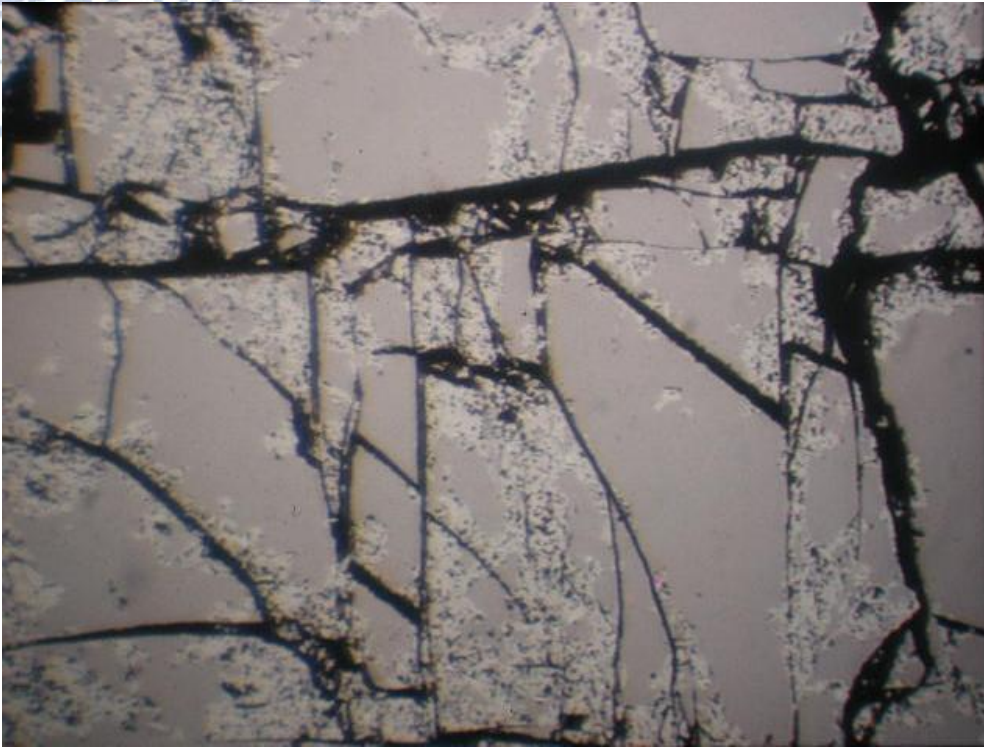
Εικόνα 5.3.1.3. Χρωμίτης (Chr) σε παραγένεση με νικελίνη (Nic) και σύνδρομο (Gg). (www.geo.auth.gr)



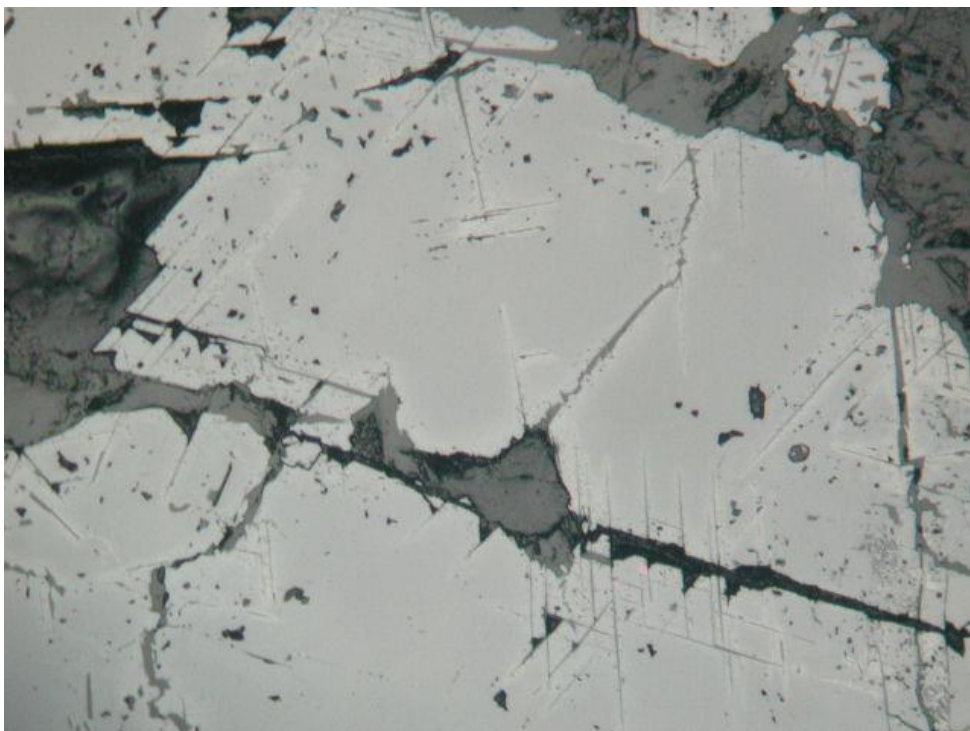
Εικόνα 5.3.1.4. Παραγένεση χρωμίτη (τεφρό) με μαγνητοπυρίτη (κιτρινορόδινο) και χαλκοπυρίτη (κίτρινο) (www.geo.auth.gr).



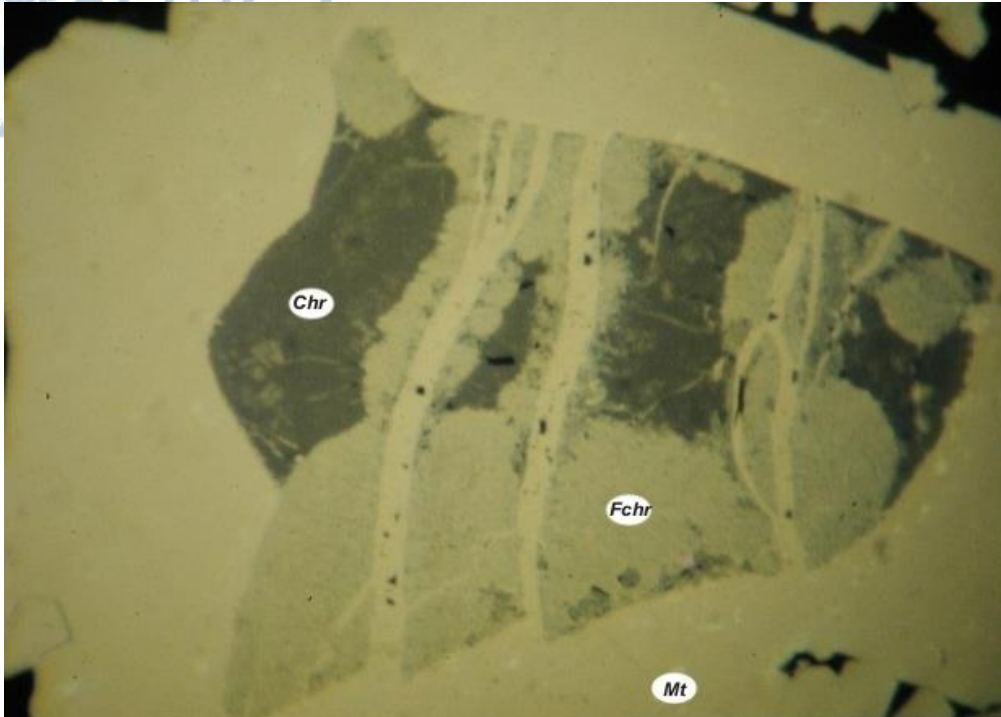
Εικόνα 5.3.1.5. Ζωνώδεις κρύσταλλοι σπινελίων (Chr: χρωμίτης, Fchr: σιδηροχρωμίτης) σε παραγένεση με μαγνητοπυρίτη (Po) και χαλκοπυρίτη (Cpy) (www.geo.auth.gr).



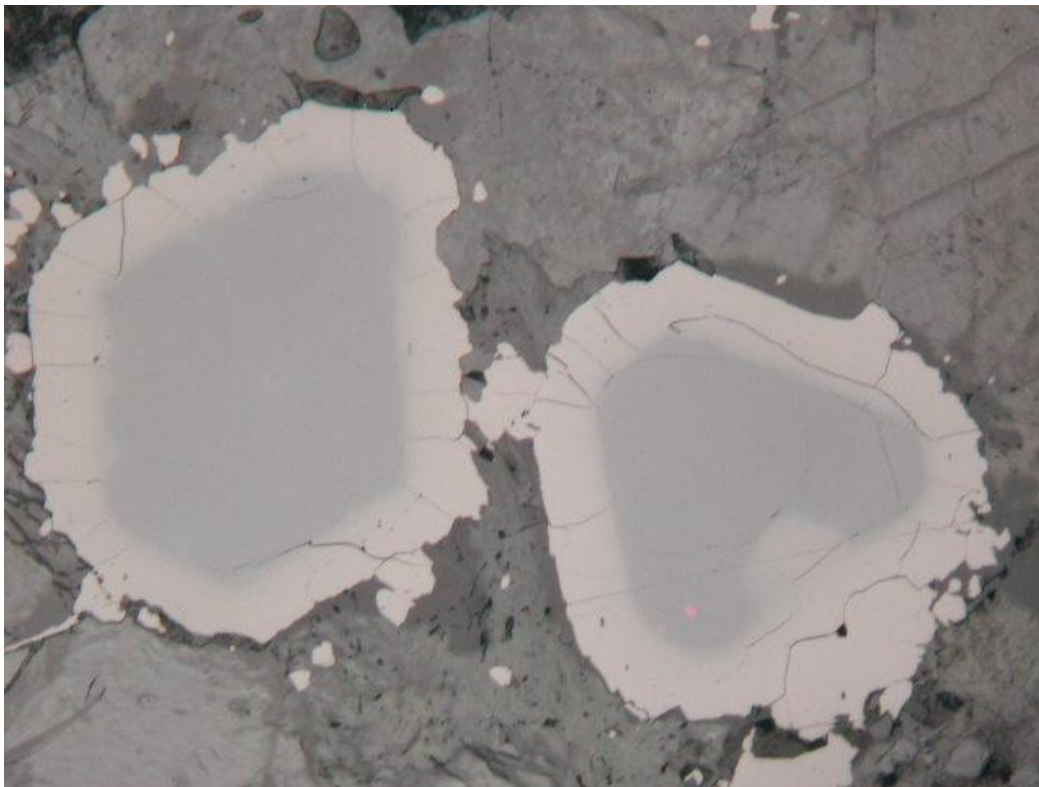
Εικόνα 5.3.1.6. Χρωμίτης με έντονη κατακλαστική υφή και μετατροπή σε σιδηροχρωμίτη (φωτεινότερες θέσεις) (www.geo.auth.gr).



Εικόνα 5.3.1.7. Ανάπτυξη σχισμού παράλληλα στην (111) στο χρωμίτη (φωτεινό) λόγω εγκλεισμού συνδρόμων (σκοτεινό) (www.geo.auth.gr).



Εικόνα 5.3.1.8. Ζωνώδεις κρύσταλλοι σπινελίων που αποτελούνται από χρωμίτη (Chr), που μετατρέπεται σε σιδηροχρωμίτη (Fchr) και μαγνητίτη (Mt). Παρατήρηση σε ελαιοκατάδυση με μόνο τον πολωτή (www.geo.auth.gr).



Εικ. 5.3.1.9. Επιταξική ανάπτυξη μαγνητίτη (φωτεινότερο) σε αποχρωματισμένο χρωμίτη μέσα σε σερπεντινίτη (www.geo.auth.gr).

5.3.2. Μαγνησιοχρωμίτης ($MgCr_2O_4$). Αποτελεί το μαγγανιούχο μέλος της σειράς του χρωμίου της ομάδας των σπινελίων. Πολλά από τα ορυκτά που αναφέρονται ως χρωμίτης σε γεωλογικές και πετρολογικές εργασίες είναι μαγνησιοχρωμίτης. Λόγω της ομοιότητάς τους αυτής πολλές φορές είναι πολύ δύσκολο να διακρίνουμε τη διαφορά μεταξύ αυτών των δύο ορυκτών. Μόνο από τη χημική ανάλυση βγάζουμε κάποιο σαφές συμπέρασμα. Στον μαγνησιοχρωμίτη κυριαρχεί το μαγνήσιο ενώ στο χρωμίτη ο σίδηρος (Εικ. 5.3.2.1).



Εικόνα 5.3.2.1. Μαγνησιοχρωμίτης (www.minerals.net).

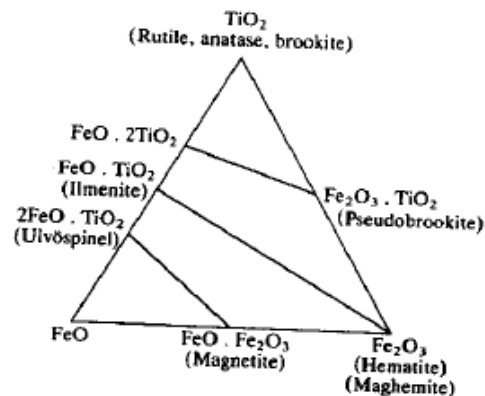
Ακόμη, θα αναφερθούν ο **Μαγκεμίτης** ($\gamma\text{-Fe}^{3+}\text{O}_4$) και ο **Ουλβοσπινέλλιος** ($\text{Fe}^{2+}\text{TiO}_4$) τα οποία έχουν και αυτά δομή σπινελίου.

5.4. Μαγκεμίτης ($\gamma\text{-Fe}^{3+}\text{O}_4$). Έχει ίδια δομή με το μαγνητίτη και σχετίζεται με αυτόν διότι σχηματίζεται με τη διάβρωση ή την οξείδωσή του σε χαμηλές θερμοκρασίες. Μπορεί να σχηματιστεί ως προϊόν αφυδάτωσης ορισμένων ορυκτών του σιδήρου, όπως ο λεπιδοκροκίτης. Λόγω της μεγάλης χημικής του σταθερότητας και του χαμηλού κόστους χρησιμοποιείται ως χρωστική ουσία (Εικ. 5.4.1). Με αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να μετατραπεί σε αιματίτη.



Εικόνα 4.4.1. Σκόνη μαγκεμίτη (www.assignmentpoint.com).

5.5. Ουλβοσπινέλλιος ($Fe^{2+}TiO_4$). Τυπικό ορυκτό σε δολερίτες στην τοποθεσία Södra Ulvön στη Σουηδία από όπου πήρε και το όνομα του. Δεν υπάρχει καθαρή χημική ανάλυση του καθώς θεωρείται μίγμα μαγνητίτη και περοβσκίτη (Σχ. 5.5.1) (Deer et al. 1992, 1996)



Σχήμα 5.5.1. Σχηματική αναπαράσταση του συστήματος $FeO-Fe_2O_3-TiO_2$ (Deer et al. 1992, 1996)

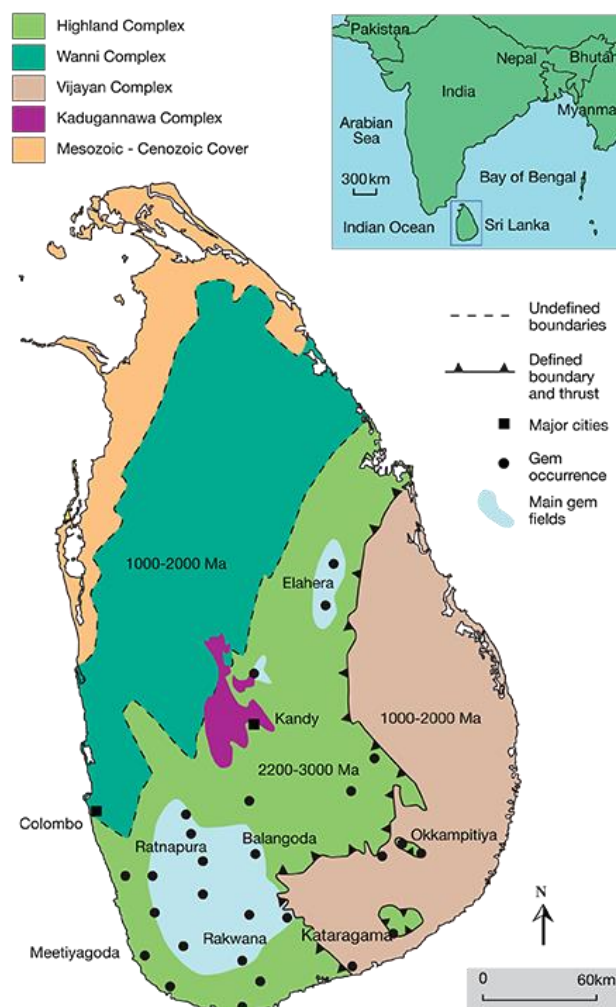
Η πιο σημαντική από τις χρήσεις των σπινελίων είναι η χρήση τους στην κοσμηματοποιία. Ο σπινέλλιος θεωρείται πολύτιμος λίθος όμως είναι αρκετά υποτιμημένος αν λάβουμε υπόψη την πραγματική του αξία. Η επιστήμη της Γεωλογίας έχει θέσει πολύ υψηλά την αξία του μιας και η ομοιότητα με τα ρουμπίνια το κάνει υποδεέστερο. Είναι ένας πολύτιμος λίθος που χρησιμοποιείται στην κοσμηματοποιία και κοσμεί στέμματα της Ευρώπης (εικ. 5.1.1.4) και της Ασίας με έντονα κόκκινα και μπλε χρώματα. Σε τιμή τείνει να φτάσει την τιμή των ρουμπινιών.

Επίσης, ο χρωμίτης (ορυκτό της ομάδας των σπινελίων) λόγω του χρωμίου που περιέχει παίζει ρόλο στην κατασκευή μεταλλουργικών και πυρίμαχων υλικών. Η ποιότητα πώλησης εξαρτάται από την περιεκτικότητά του σε οξείδιο του χρωμίου. Για μεταλλουργική χρήση το ποσοστό του οξειδίου του χρωμίου πρέπει να βρίσκεται πάνω από 48%. Τα στοιχεία που ανεβάζουν την αξία του χρωμίτη είναι η αναλογία του χρωμίου προς τον σίδηρο που πρέπει να είναι πάνω από 2,8, καθώς και η ύπαρξη μετάλλων της ομάδας των πλατινοειδών, όπως ο λευκόχρυσος, το ιρίδιο, το παλλάδιο, το ρόδιο, το ρουθένιο και το όσμιο. Αν το ποσοστό του διοξειδίου του πυριτίου είναι πάνω από 6%, ο φώσφορος είναι πάνω από 0,07% και το θείο πάνω από 0,05% θεωρείται επιβλαβές για μεταλλουργική χρήση. Για πυρίμαχη χρήση το ποσοστό του οξειδίου του χρωμίου πρέπει να βρίσκεται πάνω από 31% και το άθροισμα των οξειδίων του χρωμίου και του αργιλίου να είναι περίπου 60%. Η ύπαρξη πάνω από 6% διοξειδίου του πυριτίου, κάτω από 20% διοξειδίου του αργιλίου και κάτω από 15% διοξειδίου του μαγγανίου θεωρείται επιβλαβές για πυρίμαχη χρήση. Οι βασικές χρήσεις είναι στην μεταλλουργία σε ποσοστό 60-65% με παραγωγή σιδηροχρωμίου, χρωμιοχάλυβα και κραμάτων σιδήρου-νικελίου. Ο χρωμίτης χρησιμοποιείται στη χημική βιομηχανία σε ποσοστό 11-15% για τη δημιουργία χρωμιούχων αλάτων, στις επιχρωμιώσεις, στη χρωματογραφία και στην υφαντουργία. Στα πυρίμαχα υλικά ο χρωμίτης χρησιμοποιείται σε ποσοστό 11-15% για πυρίμαχα τούβλα. Χρησιμοποιείται επίσης σε άμμους χυτηρίων σε ποσοστό 3% αντί για ζirkόνιο.

7.1. Σπινέλλιοι στη Σρι Λάνκα.

Η Σρι Λάνκα είναι μία χώρα στη Νότια Ασία. Θεωρείται Μέκκα της Γεωλογίας, καθώς αποτελεί τη βασική πηγή εξόρυξης πολύτιμων λίθων, εμπορίας και κοπής τους. Λόγω του ότι βρίσκεται κατά μήκος εμπορικών δρόμων στον Ινδικό, θεωρείται από τις πιο σημαντικές χώρες στο κόσμο των κοσμημάτων. Από το συνολικό εργατικό δυναμικό της, το 42,4% ασχολείται στον τομέα των υπηρεσιών, το 31,8% στον τομέα της γεωργίας και το 25,8% στη βιομηχανία, η οποία περιλαμβάνει την εξόρυξη και την κατασκευή (CIA World Fact Book, 2014).

Η γεωλογία της περιοχής σε συνδυασμό με τις τεκτονικές διεργασίες δημιούργησαν αυτόν τον σημαντικό πλούτο(Σχ .7.1).



Σχήμα. 7. 1. Γεωλογικός χάρτης της Σρι Λάνκα (www.geodifys.com).

Πριν από τη Παγγαία, υπήρξαν αρκετές υπερήπειροι στην πρώιμη ιστορία της Γης. Οι κύκλοι σύγκρουσης και διάσπασης αυτών των υπερηπείρων ήταν οι κινητήριες δυνάμεις που δημιούργησαν τα περισσότερα από τα πλούσια κοιτάσματα του νησιού και μερικά από αυτά τα γεγονότα συνδέονται στενά με το σχηματισμό της ίδιας της Σρι Λάνκα. Σχεδόν τα 9/10 της Σρι Λάνκα έχουν μεταμορφωμένα πετρώματα Προκάμβριας ηλικίας. Χρονολόγηση νεοδυμίου και ρουβιδίου-στροντίου δείχνουν μια ηλικία μεταξύ 1-3 δις. χρόνια. Η Ροδίνια (Εικ. 7.1) αποτελεί την υπερήπειρο που υπήρχε μεταξύ 1,1 δις και 750 εκατομμύρια χρόνια πριν. Οι πρωτόλιθοι που προέρχονται από την υπερήπειρο αυτή αποτελούν τα σημερινά μεταμορφωμένα πετρώματα που φιλοξενούν τα κοιτάσματα του νησιού.



Εικόνα 7.1. Η Ροδίνια Υπερήπειρος (<https://science.fandom.com>).

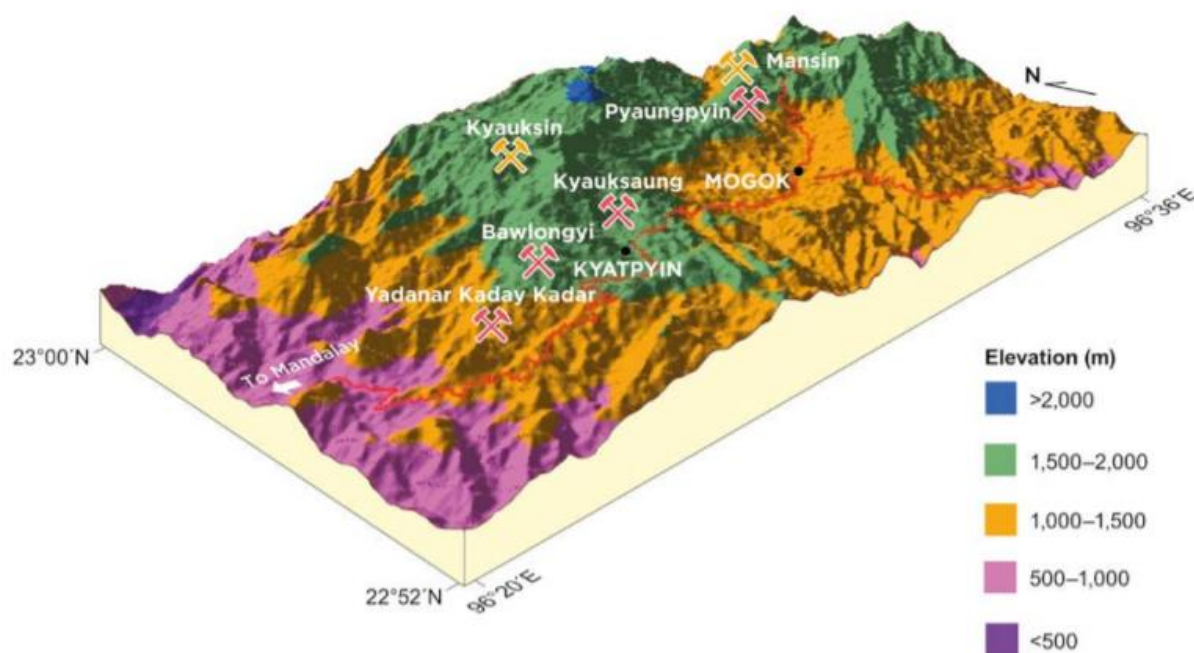
Το σύνολο των πηγών των πολύτιμων λίθων της Σρι Λάνκα είναι προσχωσιγενείς και περιέχονται σε συγκεντρώσεις από χαλίκια που ονομάζονται illam. Εκτός από το σπινέλλιο (Εικ. 7.2), άλλοι πολύτιμοι λίθοι που προέρχονται από το illam είναι η χρυσοβήρυλλος, το μάτι της γάτας και άλλα.



Εικόνα 7.2. Κρύσταλλος σπινέλλιου από τη Σρι Λάνκα (<https://danugroup.lk>).

7.2. Σπινέλλιοι στη Μιανμάρ.

Η Μιανμάρ, παλαιότερα γνωστή ως Βιρμανία, είναι μία από τις κορυφαίες πηγές πολύτιμων λίθων στον κόσμο. Τα κοιτάσματα σπινελλίων εκεί έχουν τον χαρακτηριστικό κόκκινο σπινέλιο με αξιοσημείωτο χρώμα, διαύγεια και εμφάνιση. Ένας κόκκινος σπινέλλιος 1.507 ct που συλλέχθηκε από την περιοχή εξόρυξης Thit Saint Kone στο Mogok αποτελεί μέρος της ερευνητικής συλλογής της GIA. Οι τοποθεσίες ορυχείων εμφανίζονται στον τρισδιάστατο χάρτη της περιοχής Mogok. Οι περισσότεροι από αυτούς βρίσκονται σε υψόμετρα που κυμαίνονται από 1.500 έως 2.000 m. (Σχ. 7.2).



Σχήμα 7.2. Τρισδιάστατη αναπαράσταση της Μιανμάρ σε συνάρτηση με τα υψόμετρα . (Phyo et al., 2019)

Οι σπινέλλιοι της Μιανμάρ βρίσκονται είτε σε αρχικό μάρμαρο είτε σε δευτερογενείς προσχωσιγενείς αποθέσεις (Εικ. 7.3). Τα εγκλείσματα αυτών των σπινελλίων έχουν μελετηθεί με σκοπό να διαχωριστούν οι συνθετικοί σπινέλλιοι από τους φυσικούς. Από τη μελέτη των σπινελλίων και των συνοδών ορυκτών τους, όπως ρουμπίνι, διαψίδιος, ολιβίνη, χονδροδίτης και κλινοχουμίτης διαπιστώνεται ότι οι συνθήκες μεταμόρφωσης στη Μεταμορφική ζώνη Mogok ήταν γρανουλιτικής φάσης. Η παρουσία θείου και εγκλεισμάτων

γραφίτη δηλώνουν υψηλές αναγωγικές συνθήκες κατά το σχηματισμό αυτών των σπινελλίων. Η παρουσία συγκεκριμένων εγκλεισμάτων στους σπινέλλιους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το διαχωρισμό τους από σπινέλλιους άλλων περιοχών του κόσμου (Phyo et al., 2019).



Εικόνα 7.3. Κόκκινοι Σπινέλλιοι από τη Μιανμάρ στις διάφορες φάσεις κατεργασίας. (Phyo et al., 2019)

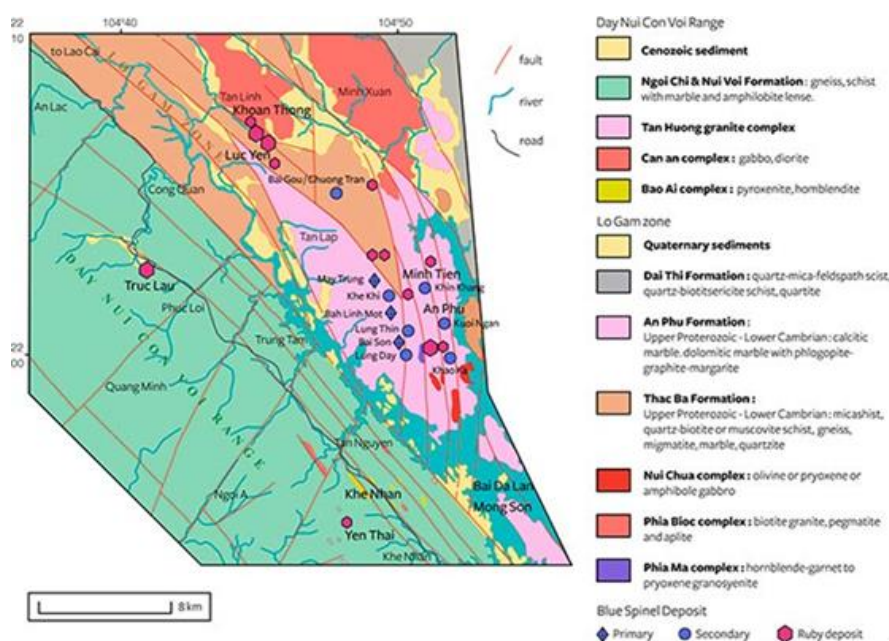
7.3. Μπλε Σπινέλλιοι στο Βιετνάμ.

Στο Βόρειο Βιετνάμ έχει βρεθεί μεγάλο κοίτασμα μπλε σπινελλίων (Εικ. 7.4).



Εικόνα 7.4. Μπλε σπινέλλιος από το Βιετνάμ (Boris Chauviré, 2015).

Κατά τη διάρκεια του Ολιγοκαίνου-Μειοκαίνου (από 35 έως 17 Ma), δημιουργήθηκε η ζώνη διάτμησης του Κόκκινου Ποταμού που εκτείνεται από τα οροπέδια του Θιβέτ έως τη Θάλασσα της Κίνας. Η επαρχία Γιεν Μπάι σχηματίζεται από δύο διαφορετικές γεωλογικές ενότητες που χωρίζονται από ένα ρήγμα που αποτελεί μέρος της ζώνης διάτμησης του Κόκκινου Ποταμού. Στα βορειοανατολικά βρίσκεται η ζώνη Lo Gam και στα νοτιοδυτικά η σειρά Day Nui Con Voi (Σχ. 7.3). Όλα τα κοιτάσματα πολύτιμων λίθων του Luc Yen βρίσκονται στη ζώνη Lo Gam.



Σχήμα. 7.3. Γεωλογικός Χάρτης Βιετνάμ (Garnier et al., 2002 and Long et al., 2004).

Η δομή προκύπτει από την παραμόρφωση της ορογένεσης των Ιμαλαΐων. Ο σχηματισμός Lo Gam αποτελείται από μια ιζηματογενή σειρά που μεταμορφώνεται σε μάρμαρο, γνεύσιο, ασβεστοπυριτικά πετρώματα, μαρμαρυγικό σχιστόλιθο και αμφιβολίτη. Τα μάρμαρα είναι κυρίως ασβεστιτικά και διαστρωματωμένα με αμφιβολίτες. Ο μπλε σπινέλλιος (Εικ. 7.5) βρίσκεται σε ένα στρώμα μαρμάρου πάχους άνω των 500 μέτρων (Garnier et al., 2002).



Εικόνα 7.5. Μπλε σπινέλλιος μέσα σε μάρμαρο. (Chauviré et al., 2015)

7.4. Κοιτάσματα χρωμίτη στο εξωτερικό.

Τα μεγαλύτερα κοιτάσματα χρωμίτη στο εξωτερικό βρίσκονται στη Ζιμπάμπουε (98% των παγκόσμιων αποθεμάτων), στη Ρωσία, στην Τουρκία, στο Τατζικιστάν και στην Ινδία.

Το κοιτάσμα χρωμίτη στη Ζιμπάμπουε έχει εντοπιστεί και στην περιοχή Γκρέιτ Ντάικ (Great Dyke) της Ζιμπάμπουε (Zimbabwe). Στην περιοχή λειτουργούν τρία ορυχεία: το παλαιότερο ορυχείο με την ονομασία «Mimosa» άρχισε να λειτουργεί από τη δεκαετία του 1960, το ορυχείο «Hartley Platinum» άρχισε να λειτουργεί στα τέλη της δεκαετίας του 1990 και από το 2008 λειτουργεί το ορυχείο «Anglo American's Unki». Ο γεωλογικός σχηματισμός Great Dyke (εικ. 7.6) έχει ηλικία 2,5 δις χρόνων, πλάτος που κυμαίνεται από 4 έως 11 χλμ. και είναι μακρόστενος διασχίζοντας τη χώρα με κατεύθυνση ΒΑ - ΝΔ σε μήκος 550 χλμ. (Σημειώσεις Κοιτασματολογίας, 2013).



Εικόνα 7.6. Σχηματισμός Great Dyke από δορυφόρο (www.wikipedia.com)



Ξενόγλωσση

- Chauviré B., Rondeau B., Fritsch E., Ressigeac P. and Devidal J.-L. (2015). Blue spinel from the Luc Yen district of Vietnam, *Gems and Gemology*, pp.1-5
- Garnier V., Giuliani G., Maluski H., Ohnenstetter D., Phan Trong T., Hoàng Quang V., Pham Van L., Vu Van T., Schwarz D. (2002), Ar-Ar ages in phlogopites from marble-hosted ruby deposits in northern Vietnam: evidence for Cenozoic ruby formation. *Chemical Geology*, Vol. 188, pp. 33–49
- Deer W. A., Howie R.A. and Zussman J. (1992). *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*, pp.558-588
- Deer W. A., Howie R.A. and Zussman J. (1996). *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*, pp.558-588
- Myint Myat Phy, Bieler E., Franz L., Balmer W. and Krzemnicki M. (2019) «Spinel from Mogok, Myanmar Spinel from Mogok, Myanmar—A Detailed Inclusion Study by Raman Microspectroscopy and Scanning Electron Microscopy, *Journal of Gemmology*, Τόμος 36, No. 5, pp. 423

Ελληνική

- Θεοδωρίκας Σ.(2017). ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑ. Εκδόσεις ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΤΕΧΝΕΣ < ΜΕΛΙΣΣΑ>, Θεσσαλονίκη, σελ 581-585
- Σημειώσεις Κοιτασματολογίας. 2013. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας. σελίδες 110–136
- Σκούπρας Ε.(2015). Ορυκτολογική και ορυκτοχημική μελέτη των εμφανίσεων σπινελίων στη ζώνη scarn της Μαρώνας, Θράκη, Θεσσαλονίκη σελ 33,35

Ιστοχόροι

<https://www.americangemsociety.org/everything-you-need-to-know-spinel-gem/>

<https://www.gemselect.com/gem-info/spinel/spinel-info.php>

<https://www.geodifhs.com/gammaalphabetalpha/srilanka>

www.el.wikipedia.com

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%80%CE%B9%CE%BD%CE%AD%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CF%82>



<https://www.gemdat.org/gem-6684.html>

www.geodifys.com

www.geo.auth.gr